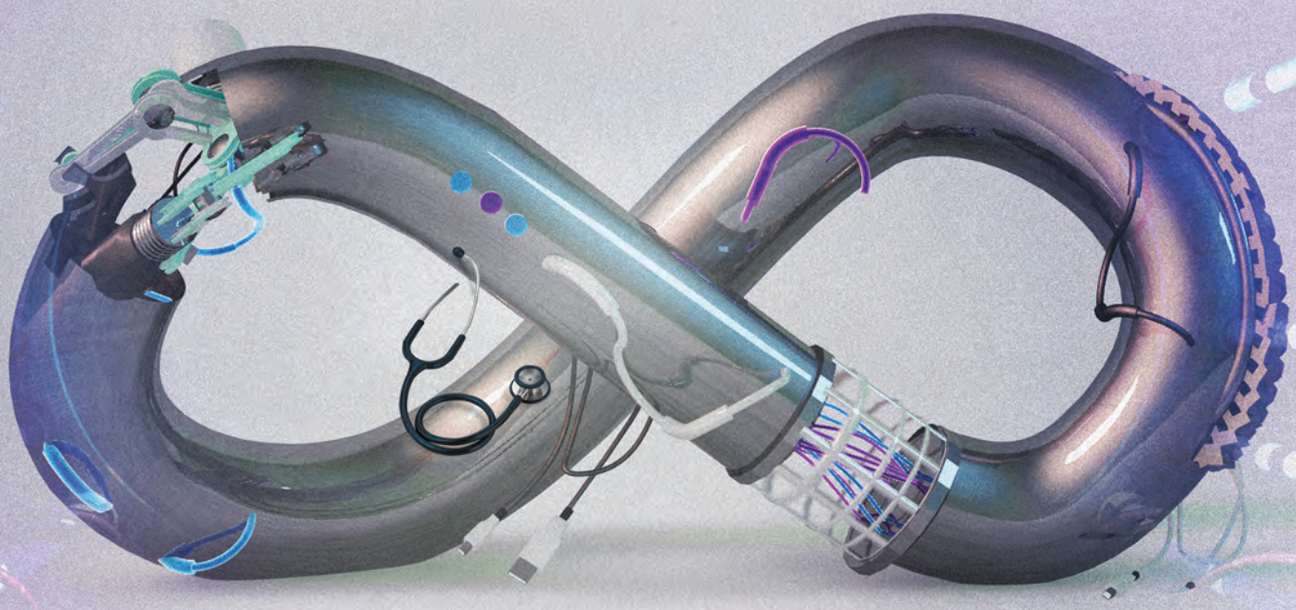
Anais do Congresso de Iniciação Científica do Inatel - 06 a 08 de Maio de 2013

REALIZE

CONHECIMENTO É INFINITO



Incitel
Congresso de Iniciação Científica do Inatel

Apoio:

FAPEMIG

PE-ET

CNPq
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

Realização:

Inatel

(35)3471-9200 ramal 405 | incitel@inatel.br | www.inatel.br/incitel

Ficha elaborada pela Biblioteca Ministro Olavo Bilac Pinto – Inatel

I373

Incitel 2013 – Congresso de Iniciação Científica do Inatel (2013: Santa Rita do Sapucaí)

Anais do Congresso de Iniciação Científica do Inatel – Incitel, 6-8 Maio 2013, Santa Rita do Sapucaí, Minas Gerais, Brasil. Publicado por Carlos Alberto Ynoguti. – Santa Rita do Sapucaí: INATEL, 2013.

422 p. il.

1. Engenharia – I. Título. II. YNOGUTI, Carlos Alberto.

CDU – 621

Catálogo sistemático

Engenharia Biomédica	CDU – 57.089
Engenharia de Computação	CDU – 62
Engenharia de Telecomunicações	CDU – 621.39
Automação Industrial Engenharia	CDU – 681.5
Empreendedorismo	CDU – 658.3

SESSÕES

Sessão Técnica I – EMPREENDEDORISMO

Uma Breve Análise Econômica das Características do Desemprego no Brasil
Luiz Carlos Carrasco, Tais Barbone Teixeira Mendes e Helena Barbone Teixeira Mendes.

Os bastidores das Novas Tecnologias
Celso Luiz Ogliari e Araci Hack Catapan.

Gestão de ativos, dificuldades de implantação de cultura de obsolescência de ativos em uma fábrica de papel
Luciana Vieira, Wellington Lima, Samir Lobo, Simei Campos e Romildo Camelo.

A matemática como aspecto único do pensamento humano sua Historia nas civilizações seus avanços e aplicações na Engenharia
Renan Sthel Duque, Luiz Felipe Simões Godoy e Fábio Augusto de Souza.

O uso de ferramentas computacionais no ensino e aprendizagem do Cálculo
Luiz Felipe Simões Godoy, Pedro Henrique Fialho Santos e Tayla Simões Santos.

O Engenheiro e a Sociedade
Elias Kallás e Lucas Paduan Folchito.

Sessão Técnica II – TELECOMUNICAÇÕES

Aplicação da Placa WaveRunner em uma Plataforma de Teste para Sensoriamento Espectral Cooperativo Centralizado
Dayan Adionel Guimarães e Danielle de Carvalho Marchetti.

Procedimentos para predição de transmissão do sinal de televisão digital
Carlos Augusto Rocha, Anderson Fagiani Fraga e Maria Emília Gomes Pereira.

Estudo, projeto e simulação de circuitos passivos na faixa de radiofreqüência
Antônio Alves Ferreira Junior, Ana Paula Teles Ribeiro da Silva e Ana Maria Pereira Lima.

Implementação em FPGA de Bloco para Inserção de Tempo de Guarda
Luciano Leonel Mendes e Luan Antônio da Paixão Claudino.

Novos Resultados sobre a Distribuição Empírica da Estatística de Teste para o Sensoriamento Espectral por sob a Hipótese H1
Rausley Adriano Amaral de Souza e Cissa Costa.

Desafios do Streaming de Vídeo pela Internet
Robson Noriaki Yamada e João Guilherme de Moraes Silva.

Sessão Técnica III – AUTOMAÇÃO

Solução em Automação Residencial com Gerenciamento via Página WEB
Carlos Alberto Ynoguti, Larissa de Souza Pereira Rosa, Alled Ghazale de Paiva, Rodrigo de Barros Vimieiro e Yan Real.

Automação Residencial: Protótipo de Varal Inteligente por meio de Sensores Eletrônicos
Ciro José Egoavil Montero, Camila Andrade de Almeida, Jéssica Vieira Hartmann, Ricardo Bussons da Silva e Thayná Baptista Moroso.

Construção de uma planta didática de baixo custo com dois graus de liberdade para aplicação de técnicas de controle
Jonathan Lopes Florêncio, Amanda Santina Rodrigues Beloli e Mariana Santos Matos Cavalca.

Pista para Estudos de Movimentos Retilíneos Utilizando Tecnologia Embarcada
Ciro José Egoavil Montero, Lígia Silvéria Vieira da Silva, Ricardo Bussons da Silva e Stephanie Santana Pinto.

Um modelo de Predição de Trincas em Dormente de Aço utilizando o Método de Quatro Pontas
Aline Almeida de Oliveira, Ricardo Adriano, Moacir de Souza Júnior, Carlos Henrique N. Resende Barbosa e Glauco Ferreira Gazel Yared.

Análise dos percentuais de potência ativa associados às principais estratégias de modulação utilizadas em inversores multiníveis em cascata
Wandry Rodrigues Faria e Sérgio Pires Pimentel.

Sessão Técnica IV – BIOMÉDICA

Sistema térmico para o monitoramento de vacinas
Marco Túlio Perlato, Wallacy Coelho Sá, Amanda de Souza Silva e Jéssica Amaro Ribeiro Maglioni.

Andador Micro Controlado
Marco Túlio Perlato e Alison Raí Ferreira Pereira.

Sistema de mensuração da Força Aplicada aos Membros Inferiores para o Treinamento de Marcha em Pessoas com Lesão Medular
Fabiano Valias de Carvalho, Cláudia Cristina Garcez, Eugênia Gonzales Lopes e Tassiany Domingos Albergaria.

Utilização de oximetria de pulso em ambientes de ressonância nuclear magnética
Fabiano Valias de Carvalho e Ellen Pereira Zambalde.

Desenvolvimento de um aplicativo para celulares das pessoas com deficiência auditiva para situações emergenciais
José Maria da Silva Souza, Cláudia Cristina Garcez, Bruna Tavares Leite, Alexandre Vieira Baldin Totti e Aline Aires Teixeira.

Impressoras de Órgãos
Karina Perez Mokarzel Carneiro, Allan Marcos Palma Bicov e Caroline Cristiane Pereira.

Sessão Técnica V – COMPUTAÇÃO

Construção do modelo do domínio em um Sistema Tutor Inteligente utilizando XML e Banco de Dados
Alexsandro Santos Soares, Eduardo Gonçalves Costa e Higor Ernandes Ramos Silva.

Proposta de comparação entre meta-heurísticas aplicadas em problemas de programação de horários em cursos universitários
Alexsandro Santos Soares e Laura Mundim de Souza Mendes.

Implementação de uma Biblioteca para a Construção de Algoritmos Genéticos em FPGAs
Mateus Gonçalves Silva, Frederico Gadelha Guimarães e Ricardo de Oliveira Duarte.

Proposta de comparação entre as redes bayesianas e a lógica difusa para a representação do conhecimento do estudante
Alexsandro Santos Soares e Ingrid Iplinsky de Oliveira.

Sistema de emulação de falhas do tipo Single Event Upset (SEU) para sistemas microcontrolados
Thalles Hermes Reis Gomes, Fernando Esquírio Torres e Ricardo de Oliveira Duarte.

Estudos sobre as aplicações de Realidade Aumentada dentro e fora da educação
Marcos Peres Mokarzel, Rafael Jóia e Wesley Aquino.

Sessão Técnica VI – TELECOMUNICAÇÕES

Avaliação experimental da transmissão de dados via rede elétrica
Rodrigo Romão França Soares, Yuri Gomes dos Santos, Karine Barbosa Carbonaro e Éder Alves de Moura.

Campo Geomagnético e a Ionosfera da Terra: suas influências nas Telecomunicações
José Wilson Aguiar Júnior e Weverson dos Santos Cirino.

Arranjo de antenas adaptativas para Sistemas 4G
Arismar Cerqueira Sodré Junior e Diogo Carvalho de Souza e Silva.

Estudo sistêmico das redes ASON e protocolos de roteamento e atribuição de comprimento de onda
Guilherme Pedro Aquino e Claudinei da Silva Rosa.

Antena de abertura gradual para microondas
José Antônio Justino Ribeiro, Gustavo Henrique Ribeiro e Indira Marília Antonio de Almeida.

Aparato experimental para análise de rádios no padrão 802.11
Leandro Silva de Souza e Renan Dotta Pereira Consoli.

Sessão Técnica VII – AUTOMAÇÃO

Reconfiguração de Redes de Distribuição de Energia através de Sistemas Multiagente
Bárbara Aburachid Rocha, Cidiney Silva, Frederico Gadelha Guimarães e Oriane Magela Neto.

Modelagem e Simulação de Veículo Elétrico
Paulo Roberto Ubaldo Guazzelli, Carlos Alberto de Francisco e Osmar Ogashawara.

Uso da lógica fuzzy no rastreamento do ponto de máxima potência de operação (MPPT) de um sistema fotovoltaico de geração de energia elétrica
Nélio Vaz Resende, Sérgio Pires Pimentel e Enes Gonçalves Marra.

Plataforma de Hardware e Software para Veículo Aéreo Não Tripulado do tipo Octorotor
Ricardo de Oliveira Duarte e Bruno Caetano de Oliveira Miranda.

Transformadores de Potência: Detecção de Descargas Parciais
Nicolas Kemerich de Moura, Cacilda de Jesus Ribeiro, Andre Pereira Marques e Claudio Henrique Bezerra Azevedo.

Controle gestual remoto de manipulador robótico
Herculano De Biasi, Nilton Suzuki, Thiago Molin e Rudinei dos Santos.

Sessão Técnica VIII – BIOMÉDICA

Estação de tratamento de água: uma solução automatizada de baixo custo
Leonardo Neves, Diego Ewerton de Souza, Denílson de Almeida Silva, Allan Almeida Maia e Wellington de Lima.

Tratamento de Doenças Cardiovasculares com a Utilização de Células-Tronco
Lilian de Oliveira Nunes e Larissa Mayra Silva Ribeiro.

Potencialidade de fungos filamentosos em degradar gasolina
Francisco Eduardo de Carvalho Costa, Gabriela Pereira Moreira e Itamar Soares de Melo.

Sistema de deambulação para pessoas com deficiências visuais
Fabiano Valias de Carvalho, Diego Souza, Isabel Francine Mendes e Leonardo Cesar Gontijo.

Cadeira de Rodas Motorizada de Baixo Custo
José Maria da Silva Souza, Cláudia Cristina Garcez, Filipe Loyola Lopes, Fábio Rodrigues da Silva e Luiz Custódio da Silva.

Estudo da Hemodiálise
Greice Kelle Viegas Saraiva, Jacqueline da Rosa Machado e Graziela Peçanha Costa da Silva.

Sessão Técnica IX – COMPUTAÇÃO

E-duca: um sistema tutor inteligente para o ensino de programação
Pablo Henrique Penha Silva, Eduardo Gonçalves Costa, Marcos Roberto Moresco e Alexsandro Santos Soares.

Desenvolvimento de um Sistema Operacional Linux para fins Acadêmicos e Científicos
Carlos Henrique Feichas, Ramon da Silva Pereira e Wercely Duarte de Sousa.

Uma Ferramenta Baseada em Jogos para Apoio ao Ensino de Algoritmos
Rosimara Beatriz Arci Salgado, Carlos Alberto Ynogutti, Caroline Tenório Ribeiro, Leandro Mendes Borelli Magalhães e Jonas Vilasbôas Moreira.

Aprendendo e Ensinando a linguagem de programação JAVA utilizando o Robocode
Vilmondes Ribeiro Silva e Laurence Rodrigues do Amaral.

The Freescale Cup Racing Car
Evandro Luís Brandão Gomes, Aline Cássia Bernardo, Audrei Silva e Luan Magalhães de Souza.

Características dos sons das vogais do português falado no Brasil
Daniela Barude Fernandes, Priscila Lemos Kallás, Joyce Alvarenga de Faria e Benjamin Pereira dos Santos Siqueira.

Sessão Técnica X – AUTOMAÇÃO

Estudo e desenvolvimento de um sistema para caracterização de motores de corrente contínua para aplicação em veículos elétricos
Letícia Oliveira de Deus e Carlos Alberto de Francisco.

Laboratório de automação, uma solução virtual utilizando controladores lógicos programáveis
Luciana de Azevedo Vieira, Wellington Lima, Djalma Farias, Willian Melo, Epaminondas Cantal e Leonardo Otávio.

Abordagem Comparativa entre Gerador AC de Turbina a Gás e Células a Combustível
Emerson Leão Brito do Nascimento, Raimundo Cláudio Souza Gomes, Thiago Silva Filgueiras e Luiz Felipe de Oliveira Vaz.

Automação de uma prensa pneumática para reciclar latas de alumínio e aço
Roger da Silva, Max Trindade, Thayrana Melo, Wanessa de Souza Pinheiro e Wilson da Luz Costa.

Estudo para Proposição do Sistema Elétrico de Distribuição em Corrente Contínua
Raphael Valle Santos, Saulo Monteiro e Raimundo Claudio Souza Gomes.

Captação de imagens aéreas da bacia hidrográfica do rio Marombas através de veículos aéreos não tripulados
Nilton Suzuki, Herculano De Biasi, Thiago Molin e Rudinei Santos.

Sessão Técnica XI – COMPUTAÇÃO

Reconhecimento de Locutor Usando Misturas de Gaussianas
Carlos Alberto Ynoguti e Alessandra Adami Pinto.

Levantamento de requisitos de software, uma análise comparativa
Paulo Rocha, Wellington Lima, Felipe Maia e Reinaldo Bronze.

Análise do Path Loss em redes de sensores sem fio locada em ambiente amazônico
Dângelo Wesley Oliveira Mendes e Dionne Cavalcante Monteiro.

PMBOK x Prince2
Guilherme A. Barucke Marcondes, Flávia David de Oliveira Gomes e Victor Hugo Rodrigues de Barros.

Utilização prática de ferramenta para análise de qualidade subjetiva de voz em redes de pacotes (VoIP)
Rinaldo Duarte Teixeira de Carvalho e Victor Ferreira Almeida Mota.

A Distributed Control to Industrial Ethernet Networks with Artificial Intelligent Techniques
Alexandre Baratella Lugli, Cassiano Domingos Albergaria e Murilo de Lima Vilela.

Sessão Técnica XII – AUTOMAÇÃO

Implementação de um Reservatório de tinta em Processo de Impressão de Jornal
Wellington José de Lima, Rildo César Dias Arrifano, Antonio Nazareno e Ricardo Ximendes.

Experimento na formação do Engenheiro Eletricista: Estratégia Pedagógica na Universidade Federal de Rondônia
Ana Paula da Silva Souza e Juliana Freire Veloso.

Análise da Viabilidade Técnica e Econômica das Baterias Lítio-Ar
Giovanni Henrique Faria Floriano, Luciana Maria e Renata de Oliveira.

Simulações com ambientes virtuais interativos
Nilton Suzuki, Herculano De Biasi, Thiago Molin e Rudinei Santos.

Desenvolvimento de um Manipulador Robótico
Nilton Suzuki, Herculano De Biasi, Rudinei Santos e Luis Fritsch.

Intelligent Car Racing – Equipe EngCar
Evandro Luís Brandão Gomes, Andros Vellenich Gomes, Caio Amado Florentino e Jéssica Maria Rodrigues.

Sessão Técnica XIII – BIOMÉDICA

Avaliação de amplificadores de instrumentação para sistemas de aquisição de sinais bioelétricos
Yvo Marcelo Chiaradia Masseli, Andrei Ferreira Garcia e Patrícia Tamires da Silva.

Matérias Piezoelétricos para Equipamentos de Ultrassonografia
Rinaldo Duarte Teixeira de Carvalho e Marlon Mendonça Pederdsoli de Oliveira.

Aplicação da Robótica nos Centros Cirúrgicos
João Bosco Assis Leite, Mariana Fraga Rosa e Michele Santos Moreira.

Estudo e propostas de melhoria para um Aquecedor Solar construído com materiais recicláveis objetivando aumento de qualidade de vida da comunidade – parceria Cas@Viva.
Carlos Alberto de Carvalho Vasques e Diana das Graças Brandão.

Hospital Autossutentável
Lílian de Oliveira Gangana, Pedro Henrique Ribeiro do Vale e Matheus Bentes Alves.

Estudo de Eletro Estimulação como Auxiliar na Marcha de Pessoas com Lesão Medular
Camila Mendonça de Moraes Lopes e Monique Daniele Silva do Monte.

Sessão Técnica XIV – TELECOMUNICAÇÕES

Absorção Ionosférica
José Wilson Aguiar Júnior e Weverson dos Santos Cirino.

Estimação de Parâmetros de Qualidade de Serviço em Redes Sem Fio Utilizando Cálculo de Rede
Klebber Ottoboni, Flávio Henrique Teles Vieira, Rosana de Paula Lucas e Luiz Henrique Dias Maia.

Alocação de Banda em Redes Sem Fio Baseada em Estimação Adaptativa do Parâmetro de Escala Global
Bruno Lopes de Abreu, Flávio Henrique Teles Vieira, Rosana de Paula Lucas e Diógenes Mesquita Coelho.

Estudo do material Molibdenita como sucessor do Silício
Silvio Bottrel Guimarães, Alan Henrique Inocêncio, Bruna Daniel Ferreira Gonçalves e Vênus Líria Silva Mendes.

Estudo Diagnóstico de Representação de Cálculo de Áreas e de Volumes por Integrais
Nivaldo Gonçalves de Faria, Natan Wender Brandão e Monique Paula Jardim Garcia.

Aplicações na Engenharia do Estudo de Funções Desenvolvido no Cálculo Diferencial e Integral I
Paulo Cesar Xavier Duarte, Flávio Antunes de Siqueira e Mateus de Faria Pereira.

Uma Breve Análise Econômica das Características do Desemprego no Brasil

Helena Barbone Teixeira Mendes

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
helenabarbone1@yahoo.com.br

Tais Barbone Teixeira Mendes

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
taisbarbone@hotmail.com

Luiz Carlos Carrasco

Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
carrasco@inatel.br

***Resumo*— A principal motivação deste documento é o estudo da historia do trabalho e suas influencias nos tipos de desemprego no Brasil, a fim de analisar a evolução dos níveis de desemprego e investigar uma possivel semelhança nos movimentos, tanto de curto como de longo prazo, das taxas de desemprego no Brasil.**

***Abstract*— The main motivation of this document is to study the history of work and its influences on the types of unemployment in Brazil in order to examine changes in levels of unemployment and investigate a possible similarity in the movements, both short-and long-term rates unemployment in Brazil.**

***Palavras chave*—Desemprego, Emprego, Trabalho, Economia.**

I. Introdução

Dsemprego é o estado dos indivíduos que se encontram numa situação involuntária de não-trabalho, por falta de oportunidade de trabalho, ou que exercem trabalhos irregulares com desejo de mudança. Mas para entender o conceito do desemprego é preciso entender primeiramente o conceito de emprego e trabalho.

II. História do trabalho

A história do trabalho é tão antiga quanto à do homem e em muitos momentos elas até se confundem. Teve sua origem na busca humana de formas de satisfazer suas necessidades biológicas de sobrevivência. À medida que essas necessidades foram sendo satisfeitas, outras foram surgindo, fazendo com que nascessem novas relações que determinaram a condição histórica do trabalho.

O trabalho é, então, a atividade desenvolvida pelo homem sob determinadas condições para sobreviver, evoluir e produzir riqueza. Ao longo da história, o trabalho assumiu múltiplas formas. Antes de tudo, é preciso entender que cada nova geração recebe os aprendizados, práticas e instrumentos de produção que foram criados por gerações anteriores e que ele usa, modifica e melhora. É uma acumulação gradativa de experiências produtivas, de hábitos de trabalho e de conhecimento dentro da própria comunidade.

A. A História do Trabalho no Mundo

O trabalho, ao mesmo tempo em que cria as sociedades, também é criado e modificado por elas. Assim, ao longo da história, o trabalho foi apropriado por diferentes formas de organização societária.

Dentre elas podemos comentar as 4 principais: *O Primitivismo*, modo de produção desenvolvido na pré-história, período que se estende desde o homem nomade que ainda não produzia seu próprio alimento à revolução urbana, formação das primeiras cidades e das propriedades privadas. *O Escravismo*, que surgiu da necessidade de se preencher a escassez de mão de obra no cultivo de terras e se tornou a base da economia da época. *O Feudalismo*, outra forma de exploração do trabalho humano, onde os servos trabalhavam na terra do senhor feudal e em retribuição recebiam um pequeno terreno. E, por fim, *O Capitalismo*, método de arrecadação de bens através do trabalho, fortificado na Revolução Industrial e responsável pela mudança da forma de trabalho, que criou as Classes Capitalistas e Proletárias.

B. A História do Trabalho no Brasil

O trabalho no Brasil sofreu significativas mudanças, ao lado das transformações políticas, econômicas e sociais que o país sofreu ao longo de sua história. Foram três as fases que foram marcadas por características específicas das relações de trabalho: a escravidão indigena e africana no período colonial, a transição do trabalho escravo para o trabalho livre e assalariado, que marcou o fim do regime escravista e o inicio da imigração estrangeira (colonato) e, finalmente, a nacionalização da força de trabalho na industrialização.

Já a industrialização no Brasil pode ser subdividida em quatro períodos principais: a Proibição, época de restrições das atividades industriais no Brasil; a Implantação, que concedeu alvará para abertura dos portos ao comercio exterior e ocasionou um surto industrial no número de estabelecimentos; a Revolução Industrial, que incentivou o desenvolvimento da indústria local, originou o trabalho formal

Manuscrito recebido em 15 de maio de 2013; revisado em 18 de novembro de 2005.

H. B. T. Mendes (helenabarbone1@yahoo.com.br) e T. B. T. Mendes (taisbarbone@hotmail.com) pertencem ao Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel. Av. João de Camargo, 510 - Santa Rita do Sapucaí - MG - Brasil - 37540-000.

e as primeiras classes trabalhadoras e a Internacionalização, onde o desenvolvimento industrial foi calcado em grande parte por capital estrangeiro através das multinacionais.

C. Trabalho no Brasil nos Dias de Hoje

No Brasil, basicamente, existem dois regimes de trabalho onde se enquadram boa parte dos trabalhadores. A CLT (Consolidação das Leis do Trabalho) é a que rege a maioria deles. Outros são regidos pelo Estatuto do Servidor Público, que pode ser estadual, federal ou municipal, mas que tem critérios semelhantes entre si.

O trabalho formal no Brasil hoje é regulamentado pela legislação trabalhista, que apresenta algumas diferenças conforme a categoria profissional. De um modo geral, o trabalho, no Brasil, é regulamentado por leis. Muitas profissões são reconhecidas, possuem seus conselhos, e boa parte delas possui sindicatos. Atualmente, o Brasil avança na área do trabalho, ampliando a capacidade produtiva dos profissionais.

III. O DESEMPREGO

Em se tratando de análises econômicas que tentam compreender a capacidade produtiva de determinada sociedade, o fator desemprego é um dos mais relevantes. Por este motivo, o desemprego tem sido um dos maiores problemas da sociedade contemporânea e, por esta razão, um dos temas mais debatidos e analisados. Grosso modo, altos índices de desemprego podem sinalizar um desaquecimento da economia, assim como indicar o agravamento de questões sociais ligadas à queda do padrão e da qualidade de vida dos indivíduos, isto é, do bem estar social das pessoas.

No Brasil, o desemprego é provocado por baixa qualificação, educação precária, trabalhos informais, precariedade na proteção social, migração de áreas rurais que são pouco desenvolvidas, desemprego causado pela incorporação de novas tecnologias, etc. Para sintetizar o texto anterior, a figura 1 ilustra da influência das políticas adotadas em períodos e governos diferentes sobre as taxas de desemprego:

Fig. 1. Taxa de desemprego de 1985-2010, relacionado com a política referente aos períodos ilustrados.

Além do mais, a condição de desemprego interfere na vida do desempregado como um todo, ou seja, também imsciui na vivência, dia a dia. A queda no padrão de consumo, a perda no poder de decisão sobre a condução das próprias vidas (já que a situação de desemprego gera uma dependência de outras pessoas), o distanciamento social, a efetivação de atos ilícitos, o planejamento da vida futura, o desespero, a perda da esperança, o desamparo, a tristeza, a revolta e a desorientação são sentimentos verbalizados e expressos de forma contundente pelos desempregados.

IV. TIPOS DE DESEMPREGO

É possível caracterizar os diferentes tipos de desemprego, contudo, suas causas podem variar. Na tabela abaixo, segue a relação dos tipos de trabalho:

TABELA I
TIPOS DE DESEMPREGO.

TIPOS DE DESEMPREGO	DESCRIÇÃO	OBSERVAÇÕES
Desemprego Estrutural	Desequilíbrio permanente entre a oferta e a procura de trabalhadores, ou seja, deve-se a desajustes entre a qualificação e/ou localização da força de trabalho e à qualificação e/ou localização requerida pelo empregador.	
Desemprego Tecnológico	Causado pelas novas tecnologias - como a robótica e a informática - o desemprego tecnológico não é resultado de uma crise econômica, e sim das novas formas de organização do trabalho e da produção.	Esse tipo de desemprego é mais comum em países desenvolvidos devido à grande mecanização das indústrias, reduzindo os postos de trabalho.
Desemprego Sazonal Ou Temporário	É causado por variações na demanda de trabalho em diferentes momentos no ano, relacionado com variações climáticas, padrões turísticos e outros fatores sazonais.	Na agricultura, o desemprego pode apresentar fortes variações sazonais em função das épocas do plantio e da colheita. O mesmo acontece com o Turismo e comércio no final de ano.
Desemprego Cíclico Ou Conjutural	Acontece quando os trabalhadores e, em geral, os fatores produtivos, ficam ociosos devido ao fato de o gasto da economia, durante certos períodos de tempo, ser insuficiente para dar emprego a todos os recursos. Assim, o desemprego cíclico ocorre nas épocas de expansão e nas épocas de recessão da economia.	Um exemplo é quando os bancos retraem os créditos, desestimulando os investimentos, e o poder de compra dos assalariados cai em consequência da elevação de preços.
Desemprego Friccional	É temporário, experimentado por pessoas que estão entre empregos ou que estão entrando pela primeira vez no mercado de trabalho ou voltando a ele após uma ausência. Por definição, ele é de curto prazo, consequentemente causa poucas dificuldades às pessoas que o enfrentam.	Um exemplo, é quando se atravessa um período de transição, de um trabalho para outro, dentro da mesma área, como acontece na construção civil.

V. A FALTA DE EMPREGO NO BRASIL

O desemprego brasileiro, longe de ser uma questão individual de adaptação às novas exigências do mercado de trabalho, é fruto tanto de mudanças estruturais na economia como de uma política de estabilização monetária que remunera generosamente o capital especulativo internacional. O desemprego no país existe, é grave e crescente. Grave, porque dobrou desde o início da década de 90 e está disperso pelas principais regiões metropolitanas do país. Crescente, pois que dependente tanto de uma política de estabilização monetária - o Plano Real - que remunera generosamente o capital especulativo internacional, diminuindo o incentivo para os investimentos produtivos e a geração de empregos, como de mudanças estruturais na economia, potencializadas pela sobrevalorização da moeda.

Por isso, a partir daqui iremos analisar as características do desempego do Brasil a partir da década de 90 permitindo um estudo mais detalhado e suas principais causas.

VI. DESEMPREGO, INFLAÇÃO E O PLANO REAL

Durante a segunda metade do século 20, o Brasil foi o país com a maior inflação[1] em todo o mundo. Essa difícil trajetória de profunda recessão, desemprego e insatisfação popular só foi interrompida em 1994, com a implantação do Plano Real que estabilizou a inflação e tornou estável a economia brasileira. A partir de então, muito tem se estudado sobre o comportamento da inflação com o desemprego.

Por isso, a nível estatístico e juntamente com a Teoria Macroeconômica[2], vamos ilustrar o comportamento da inflação x desemprego no curto e longo prazo[3]. A relação é estudada na Macroeconomia com a denominação de Curva de Phillips 2[4] onde é ilustrada a relação inversa entre a inflação e o desemprego.

A. Curto Prazo

Considere U0 a taxa natural de desemprego. Para ilustrar a teoria, graficamente abaixo a figura 2:

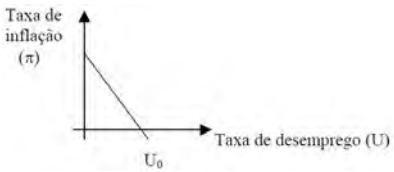


Fig. 2. Curva de Phillips de Curto Prazo.

[1] Em economia, inflação é a queda do valor de mercado ou poder de compra do dinheiro. Porém, é popularmente usada para se referir ao aumento geral dos preços.

[2] A Teoria Macroeconômica estuda as causas e as conseqüências do desemprego.

[3] Longo prazo é o período de tempo conceptual para o qual não temos fatores de produção fixos. Em contraste com o longo prazo, no curto prazo temos alguns fatores variáveis e outros fixos, relativamente ao nível de produção escolhido.

[4] A Curva de Phillips - um dos principais instrumentos na tomada de decisão de políticas macroeconômicas econômicas - mostra a relação inversa entre a variação da inflação e o nível de desemprego, acentuando a real relação entre crescimento econômico e variação do nível de preços.

Assim, para melhor compreender a Curva de Phillips, é necessário perceber que quanto mais tente a inflação a subir, menor será o desemprego, e vice-versa.

Para uma abordagem empírica, dados coletados no período de 1995 a 2000 (como por exemplo) estão representadas na figura 3:

Ano	Taxa de desemprego[1]	Taxa de Inflação[2]
1995	4,6 %	21,98 %
1996	5,4 %	9,12 %
1997	5,7 %	4,34 %
1998	7,6 %	2,49 %
1999	7,6 %	8,43 %
2000	7,1 %	5,27 %

Fonte: (1) Média anual de desemprego aberto (IBGE)
(2) INPC / IBGE

Fig. 3. Quadro de dados 1995-2000.

Colocando as amostras recolhidas na figura 2 num modelo econométrico, a fim de testar a Teoria Econômica (Curva de Phillips), o modelo proposto é o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ), ou seja, através de uma Análise de Regressão Linear Simples, onde o modelo matemático sugerido é o seguinte:

$$y = b0 - b1.\ x \qquad (1)$$

Sendo 'y' a taxa de inflação, e 'x', a taxa de desemprego, a função de primeiro grau permite o diagnóstico de um gráfico semelhante a figura 2. Assim, a equação básica do modelo econométrico encontrado foi:

$$\mathbf{y\hat{} = 33{,}3058 - 3{,}9001.\ x} \qquad (2)$$
$$(2{,}6495)\ \ (-1{,}998)$$

O coeficiente de determinação (R^2) é igual a 0,4994 o que indica (nesse caso) que 49,94% do mercado de trabalho é influenciado pela inflação no período considerado.

A análise do gráfico original (figura 4) mostra uma tendência a Curva de Phillips, porém um formato anormal no final, visto que em 1999 a taxa de inflação foi de 8,43% e esperava-se uma redução da taxa de desemprego e o que aconteceu foi à repetição da taxa de 1998, ou seja, 7,6%. Já em 2000, a inflação apresentou 5,27% que com sua queda em relação ao ano anterior, esperava-se aumentar a taxa de desemprego, e a mesma reduziu de 7,6% para 7,1%.

Fig. 4. Tendência a Curva de Phillips.

Por essa anomalidade, concluímos que, embora o modelo aproxima-se da Teoria de Phillips, R^2 de 0,4994 deixa uma lacuna muito grande, uma vez que os juros (que não são abordados aqui) também tem grande influência na relação desemprego x inflação.

B. Longo Prazo

O estudo da Curva de Phillips, embora em análise de curto prazo, estabelece uma relação decrescente entre inflação (π) e a taxa de desemprego (U), não fica estável, pois se movimenta à medida que as expectativas de inflação são anunciadas.

Em longo prazo, torna-se vertical, como na figura 5. A relação inflação e desemprego têm como inclinação da curva de forma positiva.

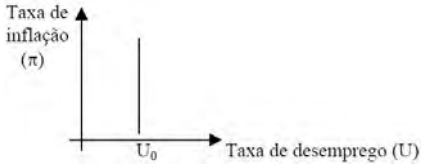


Fig. 5. Curva de Phillips de Longo Prazo.

A figura 6 fornece dados para uma análise a longo prazo:

Ano	Taxa de desemprego[1]	Taxa de Inflação[2]	Governo
1983	6,7	211,8	Figueiredo
1984	7,1	238,8	Figueiredo – III PND
1985	5,3	235,1	Figueiredo / Sarney
1986	3,6	65	Sarney – Plano Cruzado I e II
1987	3,7	415,8	Sarney –Plano Bresser
1988	3,9	1037,6	Sarney – Plano Bresser
1989	3,4	1782,9	Sarney – Plano Verão
1990	4,3	1476,6	Collor – Plano Collor I
1991	4,8	480,2	Collor – Plano Collor II
1992	5,8	1158	Collor / Itamar Franco
1993	5,3	2489,11	Itamar Franco - Plano PAI
1994	5,1	929,32	FHC – Plano Real
1995	4,6	21,98	FHC – Plano Real
1996	5,4	9,12	FHC – Plano Real
1997	5,7	4,34	FHC – Plano Real
1998	7,6	2,49	FHC – Plano Real
1999	7,6	8,43	Reeleição FHC – Plano Real
2000	7,1	5,27	FHC – Plano Real

Fonte: (1) Média anual de desemprego aberto (IBGE).
(2) De 1983 a 1994, Revista Conjuntura Econômica / FGV.
De 1995 a 2000, INPC / IBGE

Fig. 6. Economia Brasileira 1983-2000.

A figura 7 ilustra o gráfico da tabela acima.

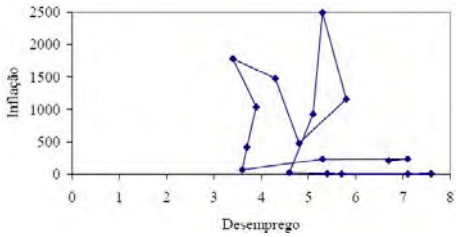


Fig. 7. Inflação e Desemprego 1983-2000.

Em resumo, Phillips comprovou através de coletas de dados mais especificas que há uma mesma relação que se ajusta a dados de períodos de determinados anos que se ajustam também a períodos de anos diferentes. Evidentemente (como foi mostrado aqui), o mesmo não seria de se esperar que acontecesse em todas as economias ou todos os períodos de tempo; a curva poderia deslocar-se, no decorrer do tempo, tanto para a direita com para a esquerda.

Para melhor ilustrar a citação acima, a figura 8 é um exemplo de que países diferentes – A e B – podem conter relações de desemprego x inflação diferentes (o mesmo é correto afirmar para períodos de tempo de um mesmo país):

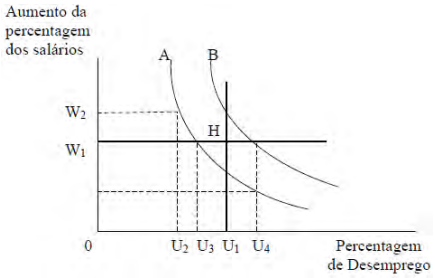


Fig. 8. Curvas A e B de Phillips.

Como a inflação refere-se diretamente ao aumento geral do preço, existe uma relação existente entre o nível de preços, o nível de preços antecipado e a taxa de desemprego:

$$P = f(Pe, u) \qquad (3)$$

Onde: P = nível de preços
Pe = nível de preços antecipados
u = taxa de desemprego

Pode-se deduzir uma nova função relacionando a taxa de inflação, a taxa de inflação antecipada e a taxa de desemprego, na forma:

$$p = f(pe, u) \qquad (4)$$

Onde: p = taxa de inflação
pe = taxa de inflação antecipada
u = taxa de desemprego

Assim, a taxa de inflação tenderá a variar positivamente com a inflação antecipada e negativamente com a taxa de desemprego. É válido lembrar que existem coeficientes que dá maior ou menor peso a esses fatores determinantes da taxa de inflação.

As previsões são de que a economia brasileira vai voltar a crescer em 2013, sustentada por uma série de fatores que vão de retomada dos investimentos públicos e privados em infraestrutura, pacotes de incentivo ao consumo, manutenção da taxa de juros nos níveis atuais (7,5%) e controle mais forte da inflação.

VII. REALIDADES VERDES E AMARELAS

Segundo os números divulgados pelo IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada) houve um crescimento de 43,5% no emprego formal nos últimos oito anos, referente aos trabalhadores com carteira assinada. O emprego informal, que também subiu 9,2% no mesmo período, ainda lidera o ranking de empregos, apesar do crescimento inferior.

A pesquisa do IPEA aponta mais de 41 milhões de brasileiros trabalhando formalmente, graças ao crescimento de trabalhadores com carteira assinada, funcionários públicos e trabalhadores domésticos formalizados. Já o trabalho informal, que atingiu a marca de 47,7 milhões de trabalhadores nos últimos oito anos, teve este número impulsionado principalmente por trabalhadores domésticos sem carteira, prestadores de serviço e empregados sem carteira assinada.

Porém, o elevado crescimento nas taxas de emprego formal e informal tem reflexos diretos nas taxas de desemprego brasileiro. Segundo dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), a taxa de desemprego alcançou 6,5% no mês de março de 2012, o menor número registrado desde 2002.

Apesar do crescimento dos números registrados nos últimos anos, o último mês do primeiro trimestre brasileiro parece registrar um leve desaquecimento na geração de empregos segundo registrou o Ministério do Trabalho. De acordo com dados do CAGED (Cadastro Geral de Empregados e Desempregados), o número de empregos gerados em março caiu de 280,7 mil para 92,6 mil postos.

A queda de empregos no último mês registra motivo de preocupação? Não para o Ministério do Trabalho. De acordo com comunicado emitido pelo governo brasileiro através de seu Ministério, a justificativa para a redução de empregos no último mês baseia-se na antecipação das contratações em fevereiro, além da redução de número de dias úteis no mês de março.

Somados os últimos três meses, o Brasil gerou cerca de 500 mil empregos, representando um cenário de bastante otimismo na área.

Para uma maior visualização, foi possível classificar e demonstrar o desemprego brasileiro dependente das regiões do país, das faixas etárias e classes sociais. Abaixo serão abordados alguns dos dados mais significativos para o estudo em questão.

A. Pobres e jovens em desvantagem

A taxa de desemprego entre a população pobre é em torno de cinco vezes maior que a verificada entre os não pobres. Como um exemplo, a taxa de desemprego em julho de 2009 entre os pobres foi de 23,1%, ou seja, 5,2 vezes maior que a taxa de desemprego para quem não se encontrava em situação de pobreza. Em contraste, para os trabalhadores não pobres, a taxa de desemprego era de 4,4%. Entre julho de 2002 e julho de 2009, a taxa de desemprego para trabalhadores pobres subiu 10% (de 21% para 23,1%). Já a taxa para os não pobres caíram 34,3% (de 6,7% para 4,4%). Com isso, a desigualdade que separa o desemprego entre trabalhadores pobres e não pobres aumentou 70%, pois era 3,1 vezes em julho de 2002 e passou para 5,2 vezes em julho de 2009.

Já em relação aos jovens, a população de 18 a 24 anos, por exemplo, está até mesmo encolhendo – depois de atingir 23,9 milhões de pessoas em 2005, recuou para 22,7 milhões em 2009 e deve cair para 21,9 milhões para o ano de 2012. O ponto é que, com a melhora do rendimento familiar, muita gente adia a entrada no mercado de trabalho. A população de jovens está menor, e eles ainda ficam mais tempo estudando, além de que é justamente a faixa etária em que grande parte da população está no começo da carreira profissional.

B. Mapa do desemprego por municípios

A figura 9 ilustra um filtro de desemprego referente ao ano de 2012, evidencinado os municípios em pleno emprego, com desemprego abaixo da média e desemprego acima da média.

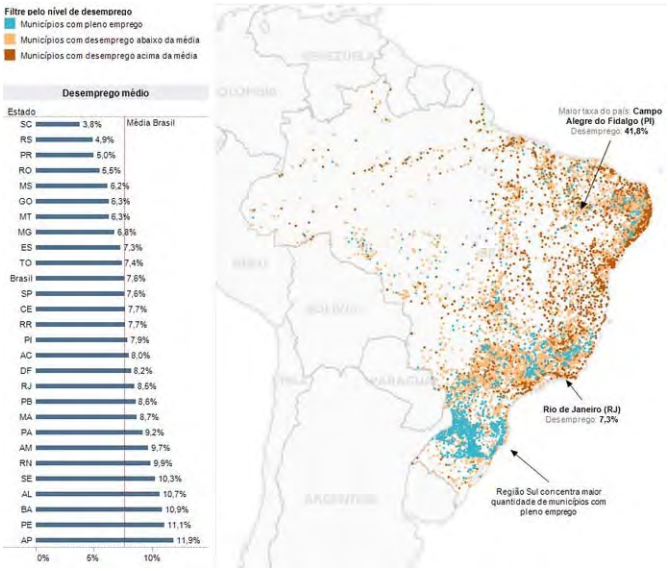


Fig. 9. Municípios brasileiros e suas taxas de desemprego.

C. Pirâmide etária relativa

A pirâmide de idade da população reflete uma dinâmica demográfica onde são verificadas importantes transformações na composição etária da nação, para efeitos de planejamento socioeconômico do país. Uma análise gráfica pode demonstrar a relação de desemprego por faixa etária entre homens e mulheres no país. A figura 10 ilustra essa análise:

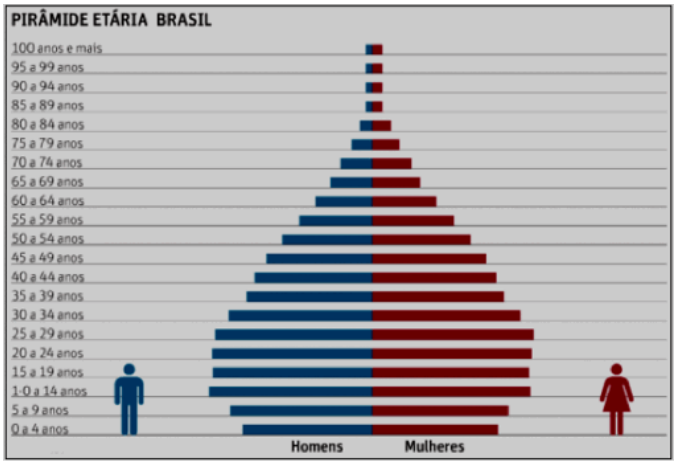


Fig. 10. Relação do desemprego pela faixa etária e sexo.

D. Oferta menor

Nesse cenário, como mostra a figura 11, a oferta de mão de obra tem crescido a um ritmo consideravelmente inferior ao da

demanda. Como resultado, uma baixíssima taxa de desemprego, com salários em alta.

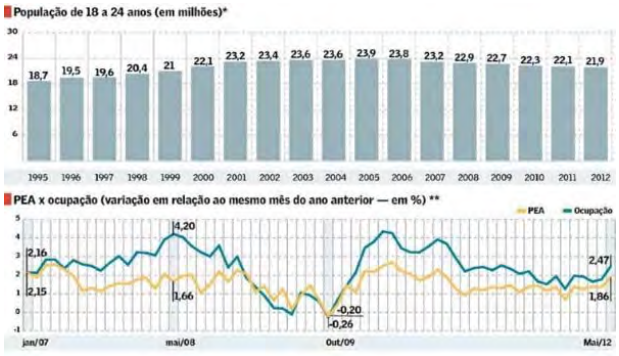


Fig. 11. Evolução da população de 18 a 24 anos, da população economicamente ativa e da ocupação.

Com isso, fica claro que o Brasil passa por um processo de rápido envelhecimento populacional, em que há uma tendência de forte declínio da taxa de fecundidade. Outros fatores também explicam o desemprego baixo. Um dos mais importantes é que o setor de serviços, o maior empregador da economia, ainda cresce a um ritmo razoável. Além disso, dada a escassez de mão de obra, as empresas evitam demitir, para não perder trabalhadores já treinados, num quadro em que se espera a recuperação da economia na segunda metade do ano.

Dada a menor oferta estrutural de mão de obra, o país precisará investir no aumento da produtividade. Se isso não ocorrer, o aperto no mercado de trabalho poderá se tornar uma fonte de pressões inflacionárias. Outra válvula de escape é o aumento da imigração, que tem aumentado expressivamente nos últimos anos.

VIII. Conclusões

A economia brasileira teve o menor crescimento dos últimos três anos, em 2012. O Produto Interno Bruto, divulgado nesta sexta-feira (1/03/2013) pelo IBGE, foi mais baixo que o estimado pelo governo. Alguns setores encolheram.

A economia brasileira ganhou um pouco mais de fôlego nos últimos três meses de 2012. De outubro a dezembro, o PIB, a soma de todos os bens e serviços produzidos no país, cresceu 0,6%, mais que nos outros trimestres do ano. Mas alguns setores não conseguiram se recuperar.

O ano de 2012 foi difícil para o campo. A agropecuária teve o pior desempenho da economia. Apesar dos incentivos do governo, como a redução do IPI, a indústria encolheu. No fim das contas, a economia do país cresceu 0,9% no ano passado, a menor taxa desde 2009.

O setor da economia que tem maior peso no PIB é o de serviços, e vem sendo o motor do crescimento do país. Como a renda das famílias aumentou, aumentou também o número de pessoas dispostas a gastar mais. Em um salão de beleza, por exemplo, foi preciso até aumentar a equipe. Lá, 2012 foi ano de contratar.

“Nós contratamos 5% a mais de profissionais devido à demanda da clientela”, diz um dos comerciantes desse setor.

Para esse ano, o desafio é a compra de novas máquinas mais modernas, expandindo a construção. Novos empreendimentos em infraestrutura, novos portos, aeroportos. É isso que gera crescimento de longo prazo. Não tem muito segredo, não tem outra fórmula mágica. Tem que investir bastante.

O problema do desemprego não é uma simples equação matemática. O fato é que em geral ninguém se dá conta que se trata de um problema social que não resulta exclusiva nem prioritariamente da incapacidade ou de erros individuais, mas, sobretudo das mudanças econômicas, sociais e tecnológicas ocorridas na sociedade nos últimos anos. Mas os administradores devem ter sempre em mente que é preciso estancar esta vazão de uma maneira ou de outra. É necessário um programa de investimentos na infraestrutura produtiva e social.

Referências

[1] D. de Nardi. (2007, Maio). A História do Trabalho. Disponível: http://www.assimfaloudenardi.com/2007/05/histria-do-trabalho.html

[2] R. N. COVUA. (2008, Outubro). História do Trabalho. Disponível: http://administradoronline.blogspot.com.br/2008_10_01_archive.html

[3] B. Escola. (2012, Novembro). Diferentes Tipos de Desemprego. Disponível: http://www.brasilescola.com/sociologia/diferentes-tipos-desemprego.htm

[4] R. D. Costa. (2001, Novembro). Inflação e Desemprego no Plano Real. Disponível: http://www.feati.com.br/revista/volumes/2/Professores/inflacaoProfRicardo.pdf

[5] A. Prado. (2006, Maio). Sociedade: o Rosto do Desemprego. Teoria e Debate n38. Disponível: http://perseu.fpabramo.org.br/o-que-fazemos/editora/teoria-e-debate/edicoes-anteriores/sociedade-o-rosto-do-desemprego

[6] Decreto Lei n5452. (2012) Disponível: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del5452.htm

[7] PED Microdados. (2010). Metodologia da Pesquisa de Emprego e Desemprego-PED. Disponível: http://www.seade.gov.br/produtos/ped/microdados/ped_metodologia.pdf

[8] SEESP. (2012). Cotidiano. Disponível: http://www.seesp.org.br/site/cotidiano/1343-dieese-revela-resultado-de-pesquisa-de-emprego-e-desemprego.html

[9] Revista de Economia e Relações Internacionais. FAAP. (2010, Janeiro) Volume 8. Disponível: http://www.faap.br/faculdades/economia/ciencias_economicas/pdf/revista_economia_16.pdf

[10] N. A. Guimaraes. (2009). Por uma Sociologia do Desemprego. Revista Brasileira de Ciencias Sociais. Volume 17. Disponível: http://www.academicoo.com/texto-completo/por-uma-sociologia-do-desemprego#.USzuCJBFhys.email

[11] R. Fernandes e P. Picchetti.(2007). Uma Analise da Estrutura do Desemprego e da Inatividade no Brasil. Disponível: http://www.ppe.ipea.gov.br/index.php/ppe/article/viewFile/192/126

[12] R.P. Barros e R. Mendonça. (1997, Maio) A Estrutura do Desemprego no Brasil. Disponível: http://www.geocities.ws/occfi/Desemprego.pdf

Os bastidores das Novas Tecnologias

Celso Luiz Ogliari
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC
beatesonorus@gmail.com

Araci Hack Catapan
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC
aracihack@gmail.com

Resumo **- Concomitante à transição do homem biológico para o virtual ocorre a passagem da alfabetização tradicional, linear, para um universo de possibilidades graças às Novas Tecnologias e à revolução proporcionada pela Internet. A rápida mudança gerou uma escola que não corresponde aos anseios sociais atuais, embora nos permita pensar em rede, passando de meros expectadores a produtores. A realidade passa a ter valor num mundo particular, um simulacro, um universo paralelo separando o real do virtual permitindo interações que se estendem além do físico, onde a informação é a matéria-prima dessa nova sociedade e essas mudanças necessitam de um ser híbrido capaz de gerenciar a interface desses mundos. O presente artigo pretende responder se a tecnologia traduz-se num dos fatores mais relevantes para a sociedade do conhecimento, pois, na sociedade atual, fruto de um mundo globalizado e altamente tecnológico, o conhecimento tornou-se o principal fator de produção.**

Palavras-chave **- Futuristas digitais, Novas Tecnologias, sociedade do conhecimento.**

Abstract **- Concomitant with the transition from biological male to virtual occurs the passage of literacy traditional, linear, to a universe of possibilities due to the new technologies and the revolution of the Internet. The rapid change generated a school that does not meet the current social anxieties, however allows us to think in network, from mere spectators to producers. The reality is replaced by value in a particular world, a simulacrum, a parallel universe separating the real from the virtual enabling interactions that extend beyond the physical, where information is the raw material of this new society and these changes require a hybrid being able to manage the interface of these worlds. This article seeks to answer whether the technology translates into the most relevant factors for the knowledge society, because in today's society, the result of a globalized world highly technological, knowledge has become the main factor of production.**

Keywords **- Digital futurists, knowledge society, New Technologies.**

I. Introdução

Vivemos o estágio de passagem de uma alfabetização tradicional, sequencial, onde a aprendizagem linear amputava os anseios do saber, para um universo novo em que as múltiplas possibilidades postas à disposição por meio das Novas Tecnologias permitem uma alfabetização hipertextual e transversal. O hipertextual facilita para que se façam múltiplas inserções tornando o texto cada vez mais rico e completo, permitindo que se vagueie pelo infinito universo das possibilidades que fazem parte desse novo mundo, tornando-nos geradores, emissores e consumidores de conteúdo. Além disso, democratiza a relação do indivíduo com a informação permitindo que ultrapasse a condição de espectador, passando à de sujeito operativo, participativo e criativo [1].

Nesse viés Lévy [2] delineia o universo dos nativos digitais nascidos sob a égide de um pensar hipertextual com qualidades que lhes permite realizar várias conexões ao mesmo tempo. O aspecto transversalidade implica que a escola deva produzir e disseminar mais do que o conhecimento acumulado por nossa espécie, representados pelos conteúdos e disciplinas, a instrução propriamente dita, avançando para a formação, essa voltada para a ética e a cidadania, permitindo ao aluno viver de forma crítica e autônoma [3].

Importa avaliar o espectro que se nos é possível divisar, desde que seria um erro desenvolver uma linha de pensamento pautada numa única verdade. O advento da aprendizagem colaborativa, onde o professor deixa de ser o detentor do saber e todos os elementos envolvidos podem trabalhar a informação, enriquece o processo e facilita as escolhas abrindo a perspectiva de que o saber seja absorvido por um número cada vez maior de pessoas e em menor tempo, ato que, para Kenski [4], exige que se reflita sobre as concepções do que é saber e as formas de ensinar e aprender.

Ondas de futuristas digitais apregoam estarmos vivendo a mais profunda mudança na história humana, afirmação que pode ser comprovada pelo destaque que as Novas Tecnologias estão tendo na grande mídia graças às incontestes e radicais mudanças observadas nas gerações pós advento da internet, destacando-se como elemento mais importante nas mudanças em curso dos indivíduos. Colaborando com a visão exposta importa avaliar a capa temática da revista Time[1] americana, observada na FIGURA 1, ao tratar da personalidade do ano, diagnosticada como sendo "**Você**" (corroborada pelo

C. L. Ogliari (beatesonorus@gmail.com) e A. H. Catapan (aracihack@gmail.com) pertencem à Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima - Trindade - Florianópolis - SC - 88040-970.

[1] ***Time*** é uma das mais conhecidas revistas de notícias semanais do mundo. Sua primeira edição foi publicada em três de Março de 1923 e sua principal e mais conhecida característica é a nomeação de *Pessoa do Ano*, realizada há mais de 80 anos.

adicionar de uma superfície reflexiva à impressão de forma a permitir que o leitor veja sua imagem ao tomar a revista em suas mãos).

Fig. 1: Revista Time [5], edição 26/12/2006 - 01/01.2007.

Importante citar Kant [6] que, ao definir o homem ser social destaca que "o homem não pode tornar-se um verdadeiro homem, senão pela educação. Ele é aquilo que a educação faz dele". Além disso, a escola se distancia da solução do problema do acesso à educação, tampouco resolve o do direito à educação de qualidade para todos e, nesse contexto, as novas mídias não sugerem assumir a situação de salvadoras, desde que não são alternativas aos milhões que ainda não tem acesso à internet [7].

Na FIGURA 2, o cartunista Nik [8] traduz sua visão do descompasso do avanço tecnológico e o avanço do saber observado nos usuários dessas tecnologias.

Fig. 2: Gaturro, tira do cartunista argentino Nik

II. As Novas Tecnologias: Rumos

Pretto [9], afirma que o acesso e competência no uso de novas mídias facilitaram a produção e a reprodução de recursos educacionais, no entanto o atual momento da educação demonstra que o caminho trilhado não é o mesmo, destarte o fato de que a UNESCO [10] defina a escola do presente século da mesma forma, exaltando-a ao defini-la como uma organização de aprendizagem capaz de enfrentar os desafios dos novos tempos.

A internet permitiu que se desenvolvesse uma plataforma global onde foi criado e possibilitado o acesso a uma gama de recursos e conteúdos, isso sem esquecer o fato de que nela emergem os recursos educacionais abertos. Esses recursos são práticas que têm enfoques específicos e seus principais pontos são a liberdade de decidir onde e quando estudar além da inegável acessibilidade para alunos portadores de alguma deficiência física ou desvantagem social. Para Silveira [11], "se a comunicação de massas trabalhava principalmente a disseminação de conteúdos, a comunicação em rede tratou de disseminar processos e plataformas de interação".

Segundo Pretto [9], atualmente podemos ser locais e globais ao mesmo tempo e a nuvem de soluções é uma rede social criada em torno de um banco de dados sociais e de tecnologias de aprendizagem autônomas, a serem apropriadas por indivíduos, coletivos e organizações que promovem um processo de mudança social, ambiental e cultural. Além disso, as múltiplas vozes que formam a grande rede nos permitem definir que é da natureza humana o pensamento em rede. A postura cristalizada anterior no modelo unidirecional permitia que se atuasse apenas como expectadores, hoje, sob pena de sucumbirmos, temos que nos tornar produtores.

Partindo da afirmação de Lévy [12] de que "a escola é uma instituição que há cinco mil anos se baseia no falar/ditar do mestre", pode-se depreender que esse longo tempo de modelos lineares cristalizados impede que se modifique o paradigma cultural na velocidade das transformações tecnológicas. Faz com que subutilizemos a web 2.0, esse o impasse ante o desenvolvimento tecnológico, o descompasso entre a rapidez das transformações tecnocientíficas e o ritmo das transformações sócio-culturais.

III. Novas e Velhas Palavras

Pesquisas no campo educacional são realizadas mundialmente na busca pela compreensão de como as pessoas aprendem e como é possível ensiná-las, sendo inúmeras as concepções com esse fim. A diversidade de abordagens reforça a concepção de que a educação é plural, fato que coloca em primeiro plano o conceito de recursos educacionais abertos que, segundo Silveira [11], são ferramentas digitais que atualizam a compreensão daquilo que criamos.

A rápida massificação dos sistemas educacionais, aliada à urbanização, criou uma escola que não corresponde às exigências das sociedades modernas, além do fato de que a escola pública é hoje freqüentada por uma população que anteriormente não tinha acesso. Anísio Teixeira [13] sugere que a escola assuma seu papel, formar o novo homem adequado ao mundo moderno. No entanto preconiza que "a escola deve ser agente da contínua transformação e reconstrução social". Para o autor a educação escolar considera o homem enquanto cidadão ativo e participativo no seu grupo social, tema que nos remete ao desenvolvimento da cidadania, por meio da educação.

IV. Desmitificando a Revolução Tecnológica

Uma parcela dos pesquisadores discorda da pretensão de que as novas tecnologias trarão somente efeitos benéficos. Lee Siegel [14], crítico cultural e escritor americano, em sua obra *Against the Machine*, enfatiza que a internet acelerou a tendência que MacLuhan[2] preconizava, fazendo com que a satisfação particular seja mais importante do que o relacionamento com o outro, além de difundir patologias comportamentais, como a pedofilia e o isolamento, temendo que por fim a ação da internet venha a expor nossas misérias humanas com maior clamor. Segundo o autor criamos um mundo particular mais do que qualquer sociedade em qualquer outro momento e, para alguns, atualmente a realidade só existe dentro de suas cabeças, fato que, no entanto, Bergson [15] aceita ao afirmar que o ato de pensar estrutura a realidade em que vivemos.

Para Lévy [12], porém, essa visão é cega por creditar mais valor às antigas técnicas enquanto as novas são contrárias à vida, concluindo que essa maneira de pensar desconsidera o fato de que a comunicação com os semelhantes é necessariamente condicionada por processos materiais. Importa acrescentar, para melhor entendimento, o conceito de mensageiria [16], entendido como "produção de mensagens que transpõem os espaços, os tempos e as muralhas, guarda, indica, atravessa as portas fechadas". Assim, a mensagem é um processo de criação onde as novas tecnologias podem ser consideradas estruturadores do espaço.

No entanto, Siegel [14] não é contra a internet pelo simples fato de que depende dela tanto quanto qualquer outra pessoa dita civilizada, mas crê que a tecnologia deva ser usada com parcimônia condenando a forma como o comércio se apropriou da internet desde o princípio, fato observado em suas infinitas ramificações. O autor relata ter deixado de comprar o "*New York Times*" além de ter passado uma semana sem ler jornal e evitado a televisão e o rádio, mesmo assim não ficou desinformado. Em todo lugar, ou ao usar o computador, a informação era despejada, concluindo que num futuro não muito distante a informação deverá ser como uma neblina e, em lugar de máscaras de gás, vamos ter máscaras de informação para respirar. A Web é, para o autor, essencialmente uma ilusão ótica onde indivíduos apenas olham para si mesmos. Por fim, questiona como podemos lutar contra a máquina? Para aprofundar a visão do autor importa citar o poema de Fernando Birri, "Utopia", citado por Galeano [17] em seu livro "As palavras andantes":

"Ela está no horizonte.
Me aproximo dois passos, ela se afasta dois passos.
Caminho dez passos e o horizonte corre dez passos.
Por mais que eu caminhe, jamais a alcançarei.
Para que serve a utopia?
Serve para isso: para caminhar".
(Fernando Birri)[3]

Enquanto Siegel teme pela sobrevivência da verdadeira comunidade humana, Leadbeater, em contrapartida, é um otimista ao acreditar que a internet permite nos realizarmos como seres sociais. Em "*We-Think*", Charlie Leadbeater [18], se contrapõe à "*Against the Machine*" afirmando que o futuro somos nós. Ele rebate as conclusões de Siegel sobre o individualismo e a comunidade afirmando que com tecnologias de troca, como os blogs e wikis, nos definimos não pelo que temos, mas pelo que trocamos. Cita a Wikipedia, onde podemos dividir nossos conhecimentos de forma altruísta e no Facebook nossas vidas com os outros, concluindo que nós pensamos, logo existimos. O autor aponta, ainda, as transformações em curso no mundo contemporâneo. Seu argumento é de que se pode testemunhar o nascimento de uma maneira diferente de organização que oferece oportunidades significativas para melhorar a forma de trabalhar, consumir e inovar.

Numa visão Darwiniana cabe aceitar as mudanças adaptativas desde que seja valorada nossa condição biológica, no entanto cá estamos discutindo radicais mudanças advindas de um novo mundo – universo – virtual que existe somente enquanto ligados à máquina (avatar[4]). Nesse sentido Santaella [19] expõe essa realidade na metáfora do universo paralelo, diagnosticando que vivemos outra era, baseada nas propriedades das ondas eletromagnéticas, e que, com o ciberespaço, temos de um lado o mundo real, de outro o mundo virtual.

Aprofundando essa visão, emprestando as palavras de Baudrilard [20], pode-se afirmar que vivemos um simulacro da existência, já que a dimensão do virtual elimina todas as possibilidades lógicas de apreensão de um espaço real. O autor acredita que a verdade, substituída por simulacros, permite a perda do sentido das coisas e, em seus universos paralelos - "uma dimensão faltante" onde a imagem, ao mascarar "a ausência de realidade profunda", faz com que não tenha "relação com qualquer realidade -, ela é o seu próprio simulacro puro". Essa realidade, para Serres [21], passa a ser o mundo no qual nos banhamos, um espaço-tempo da comunicação, onde os mensageiros, tal qual anjos, carregam mensagens diretamente inscritas no corpo, já que tudo que somos pode ser lido como informação.

Santaella [19], por sua vez, afirma que o computador e a rede não podem mais ser vistos como mera extensão do nosso corpo, mas como um espaço, um ambiente com novas formas de pensar, de interagir e de viver nesse espaço que se amplia para além do mundo físico. Além disso, a condição humana se supõe coexistir no mesmo nível que o espaço gerado e determinado pelas novas tecnologias, desde que se considera inconcebível que a mente humana imagine ou projete algo que não seja possível, pautados na máxima de que o projetar/imaginar dá-se utilizando o método comparativo. Importa citar Morin [22] que configura o acima exposto ao afirmar que a ciência progrediu pela existência de uma dialógica onde, segundo Santos [23], conteúdos são construídos

[2] Criador da idéia de "aldeia global", Marshall McLuhan parte de uma tese central: o Meio é a Mensagem.

[3] Cineasta Argentino, um dos pais do novo cinema latino-americano e fundador da histórica Escola Latino-Americana de Documentários de Santa Fé, em 1956.

[4] Termo que se tornou popular entre os meios de comunicação e informática devido às figuras que são criadas à imagem e semelhança do usuário, permitindo sua "personalização" no interior das máquinas e telas de computador.

pelos interlocutores produzindo sentidos e significados mediados pelas interfaces síncronas e assíncronas. Para Deleuze e Guattari [24] a metáfora do rizoma serve aos propósitos deste novo contexto informacional ao contemplar novas possibilidades horizontais por onde circulam em alta velocidade mensagens que podem ser captadas por quem está na rede, sem esquecer que, conforme Werthein [25], a informação é a matéria prima da nova sociedade.

Bruno Latour [26] se aproxima dos híbridos, os "grandes monstros heteróclitos que são as empresas, as administrações, as usinas, as universidades, os laboratórios, as comunidades e coletivos de todos os tipos", um coletivo pensante de humanos-coisas [27]. Nessa linha surge a visão de Guattari [28] e suas máquinas, mecanismos "atratores que recurvam o mundo ao seu redor". Para Deleuze [29] a noção de dobra é uma força dobrada sobre si mesma; para Levy [30] é "o acontecimento, a bifurcação que faz ser (...) o começo de um mundo", fazendo com que se pense em termos de hibridações, de coletivos de humanos e não-humanos, de forma a evitar que se priorize a tecnologia ou o sujeito, optando por uma visão coletiva, evitando a visão de Baudrilard [20] de que existe cada vez mais informação e menos sentido.

V. Novos Tempos, Novos Mundos

Retroagindo ao século XVIII, a título ilustrativo, cabe ressaltar um importante evento, o lançamento da obra *Enciclopèdie*, de Diderot e D'Alembert[5] [31], que, sopesada a distância temporal, não seria comparável ao advento da internet com suas múltiplas funções e seu cabedal conteudista inesgotável? No entanto, esse avanço fora do comum para a época, com reflexos sociais indubitáveis, só foi possível graças ao advento da escrita que permitiu conservar o conhecimento por meio dos registros, e a imprensa veio, a seguir, disseminar democraticamente o saber, criando o leitor fragmentado, na ótica de Santaella [32,33], surgindo após o advento do jornal, primeiro grande rival do livro.

Assim, distante dos últimos enciclopedistas a ciência passa, cada vez mais, a tornar-se uma meta tecnológica, principalmente no século XX, cujo período acolheu fase exuberante de avanços tecnológicos, principalmente pelo esforço bélico desencadeado pela guerra fria. Nesse enfoque Rubem Alves [34], afirma que quanto maior a visão em profundidade, menor a visão em extensão, denotando que a tendência da especialização é conhecer cada vez mais sobre cada vez menos.

> *"A ciência não é um órgão novo de conhecimento. A ciência é a hipertrofia de capacidades que todos têm. Isto pode ser bom, mas pode ser muito perigoso. Quanto maior a visão em profundidade, menor a visão em extensão. A tendência da especialização é conhecer cada vez mais de cada vez menos"* [34].

No entanto, é presente o fato de que se torna necessário saber muito mais para usar um computador, projetar e manter o sistema [35]. Assim, alguns precisam manipular mais tipos diferentes de questões em diferentes formas. Lévy [36], nessa linha de pensamento, afirma não existir intelectual sábio o bastante que concentre todo o conhecimento e sim um mundo cheio de pessoas que concentram algum tipo de saber. O mesmo autor pressupõe que cada ser humano forma um mundo diferente, com conhecimentos diferentes [37], cada pessoa é um universo a ser descoberto, e no mundo virtual a inteligência coletiva se constrói e se desenvolve. Segundo Demo [38], a especialização ainda se apresenta necessária muito embora seja fundamental o trabalhar em equipe, uma forma de tecer o mesmo discurso a partir do somatório das competências de elementos envolvidos.

Kuhn [39], nesse especial, defende que o avanço do conhecimento científico é contrário ao processo de acumulação de informações. Segundo o autor:

> *"O processo acontece através de rupturas completas e súbitas de um paradigma[6] para outro. O pesquisado ou organizado no paradigma anterior terá pouco aproveitamento no desenvolvimento futuro, pois são modificações de mundos e de nada adianta utilizarmos dados de um mundo em outro mundo totalmente diferente. A produção de conhecimento não é cumulativa e progressiva, mas fragmentada"* [39].

Para ilustrar a definição de Kuhn importa reproduzir texto anônimo que retrata essa realidade:

Breve história da medicina
- Doutor, tenho uma dor de ouvido:
2000 a.C. - Coma esta raiz.
1000 d.C. - Raiz é remédio pagão, faça esta oração.
1850 d.C. - Essa oração é superstição. Beba essa poção.
1917 d.C. - Esta poção é fajuta, engula este comprimido.
1985 d.C. - Este comprimido é ineficaz, tome esse antibiótico.
2000 d.C. - Este antibiótico não funciona, coma esta raiz.
(Anônimo)

VI. Conclusão

Ao analisar as novas tecnologias inseridas no tempo presente, tendência irreversível que parece enclausurar nossa espécie em uma cela construída a partir do que de melhor existe tecnologicamente, porém esquecendo o humano que existe dentro de cada um, é possível e aceitável o surgimento de uma nova espécie, híbrida, que poderá formar um exército de seres cibernéticos carentes da tecnologia para sua subsistência, subvertendo o sentido da vida orgânica e, até, desestruturando as leis evolucionistas, fato que tornaria a taxionomia de Lineu um quebra cabeças numa análise futura.

Essa reflexão sugere um estado de coisas que pretende superar a idéia de que a criação domina o criador ou o criador

[5] A obra compreendendo 33 volumes, 71.818 artigos e 2.885 ilustrações. Muitas das mais notáveis figuras do Iluminismo francês contribuíram para a obra, incluindo Voltaire, Rousseau, e Montesquieu.

[6] Kuhn defende que um paradigma científico é um conjunto de crenças, técnicas e valores compartilhados por uma comunidade que serve de modelo para a abordagem e soluções de problemas. A ciência normal é encarregada de apresentar e resolver as questões que surgem no interior do paradigma [39].

domina a criação, uma *Matrix*[7], mas talvez um *intermezzo*. Não uma dicotomia que se nos apresenta, de um lado o mundo real, palpável, de outro o virtual preenchido por um novo universo de relações e ligações em rede, mas um no qual nos é permitido pensar, avaliar e nos percebermos com um pouco de maior clareza nessa tela total.

Desde Skinner [40], com sua máquina de ensinar, busca-se formas inéditas de ensinar. As novas tecnologias, sem dúvida, falam a linguagem das novas gerações, têm o aporte tecnológico almejado e comportam o universo do saber à distância de um simples *click*, mas persiste uma lacuna a ser preenchida - a fórmula alquimista de como atualizar os processo de ensino-aprendizagem e as tecnologias de comunicação digitais para se apostar na forma semipresencial e à distância. É o sonho da pedra filosofal.

O indivíduo continua sendo o centro das atenções, no entanto importa avaliar se o caminho conduzirá a um novo mundo onde os sonhos de Ícaro se tornam realidade. Ainda é cedo para diagnosticar as consequências dessas transformações, mas denota ser o caminho mais adequado, desde que os avanços tecnológicos têm sido adotados de forma arrebatadora pela sociedade do conhecimento.

REFERÊNCIAS

[1] MACHADO, A. Pré-cinemas & pós-cinemas. Campinas: Papirus, 1997.

[2] LÉVY, Pierre. A ideografia dinâmica: rumo a uma imaginação artificial? São Paulo: Loyola, 1998.

[3] ARAUJO, U.F. Temas transversais e a estratégia de projetos. São Paulo: Moderna, 2003.

[4] KENSKI, Vani Moreira. Tecnologias e ensino presencial e a distância. São Paulo: Papirus, 2003.

[5] TIME. Revista Time. Edição de 25/12/2006 a 01/01/2007. Disponível em: <http://www.time.com/time/coversearch>. Acesso: Julho 2012.

[6] KANT, I. Sobre a Pedagogia. Piracicaba: Unimep, 1996, p. 15.

[7] ITU - INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. World Telecommunication/ICT Development Report 2010. Geneva Switzerland: ITU, 2010.

[8] NIK - DZWONIK, Cristian. Gaturro. Disponível em: <http://www.gaturro.com/>. Acesso: Julho 2012.

[9] PRETTO, N. Redes colaborativas, ética hacker e educação. Educação em Revista, v. 26, nº 3, p. 305-316, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_issuetoc&pid=0102-469820100003&lng=en&nrm=iso>. Acesso: Julho 2012.

[10] UNESCO. Padrões de competência em TIC para professores: marco político. Paris, 2009. Disponível em: <http://cst.unesco-ci.org/sites/projects/cst/default.Aspx>. Acesso: Julho 2012.

[11] SILVEIRA, Sergio A. da. In: SANTANA, B. ROSSINI, C. PRETTO, Nelson De L. (Orgs.). Recursos Educacionais Abertos: práticas colaborativas políticas públicas. Salvador: Edufba; São Paulo: Casa da Cultura Digital, 2012, p. 111.

[12] LÉVY, Pierre. As tecnologias da inteligência: o futuro do pensamento na era da informática. São Paulo: Editora 34, 1993, p. 8.

[13] TEIXEIRA, Anísio. A reconstrução do programa escolar. Escola Nova, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 86-95, nov./dez. 1930, p. 88-89.

[14] SIEGEL, Lee. Against the machine. Nova York: Spiegel & Grau, 2008.

[15] BERGSON, H. Introdução à Metafísica. In: Os Pensadores. São Paulo, SP: Abril Cultural, 1974.

[16] SERRES, Michel. A Lenda dos Anjos. São Paulo: ALEPH, 1995, p. 293.

[17] GALEANO, Eduardo. As palavras andantes. Porto Alegre: L&PM, 2009.

[18] LEADBEATER, Charles. We Thing (2009). Disponível em: <http://www.charlesleadbeater.net/cms/xstandard/ChapterOne.pdf>. Acesso: Agosto 2012.

[19] SANTAELLA, Lucia. Linguagens Líquidas na Era da Mobilidade. São Paulo: Paulus, 2007.

[20] BAUDRILLARD, Jean. Simulacros e Simulação. Lisboa: Relógio d'Água Editores, 1991, p.13.

[21] SERRES, Michel. Luzes. São Paulo, Unimarco, 1999, pg.157.

[22] MORIN, Edgar. Ciência com Consciência. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2005.

[23] SANTOS, E.; ALVES, L. (orgs.). Práticas pedagogias e tecnologias digitais - Educação online como campo de pesquisa formação: potencialidades das interfaces digitais. Rio de Janeiro: E-papers, 2006. 123-141.

[24] DELEUZE, Gilles, GUATTARI, Félix. Mil Platôs – Capitalismo e Esquizofrenia. Rio de Janeiro: Ed. 34, 1995.

[25] WERTHEIN, Jorge. A sociedade da informação e seus desafios, Ci. Inf., Brasília, v. 29, n. 2, p. 71-77, maio/ago. 2000.

[26] LATOUR, Bruno. Jamais fomos modernos: ensaio de antropologia simétrica. Rio de Janeiro: Ed. 34, 1994.

[27] LÉVY, Pierre. A inteligência coletiva - Para uma antropologia do ciberespaço. São Paulo: Ed. Loyola, 1998, p. 191.

[28] GUATTARI, Félix. Caosmose: um novo paradigma estético. São Paulo: Editora 34. 2000.

[29] DELEUZE, G. Lógica do sentido. São Paulo: Perspectiva, 2000.

[30] LÉVY, Pierre. Plissê fractal ou como as máquinas de Guattari podem nos ajudar a pensar o transcendental hoje. 2003. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/73700630/Plisse-Fractal-Pierre-Levy>. Acesso em: Dezembro 2012.

[31] BNF - BIBLIOTECA NACIONAL DA FRANÇA – GALLICA. Biblioteca digital. Disponível em: http://visualiseur.bnf.fr/CadresFenetre?O=NUMM-73172&M=pagination&Y=Image>. Acesso: Julho/2012.

[32] SANTAELLA, Lúcia. A leitura fora do livro. 1997. Disponível: <http://www4.pucsp.br/cos/epe/mostra/santaell.htm >. Acesso: Agosto 2012.

[33] SANTAELLA, Lucia. Navegar no ciberespaço: o perfil do leitor imersivo. São Paulo: Paulus, 2004.

[34] ALVES, Rubem. Filosofia da Ciência. São Paulo: Ars Poética, 1996, p. 10.

[35] LEMKE, Jay L.. Letramento metamidiático: transformando significados e mídias. Campinas: Trab. linguist. apl. vol.49 no.2. July/Dec. 2010.

[36] LÉVY, Pierre. A inteligência coletiva: por uma antropologia do ciberespaço. São Paulo: Loyola, 1999.

[37] LÉVY, P., AUTHIER, M. As árvores de conhecimentos. São Paulo: Editora Escuta, 1995.

[38] DEMO, Pedro. Conhecer e Aprender. Porto Alegre, RS : Artmed, 2000.

[39] KUHN, Thomas S. A estrutura das revoluções científicas. São Paulo: Editora Perspectiva, 1998, p.192.

[40] SKINNER, B. F. Teaching machines. Science, v. 128, n. 3330, p. 969-977, 1958. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/1755 240>. Acesso: Agosto 2012.

[7] O dicionário da língua inglesa Macmillan define a palavra *Matrix* como: 1. Aquilo em que algo se origina, desenvolve-se, forma-se ou é contido; 2. Útero; deriva do latim, útero, origem, a partir da palavra *mater*, mãe.

Gestão de Ativos, Dificuldades de Implantação de Cultura de Obsolescência de Ativos em uma Fábrica de Papel.

Romildo Camelo
Departamento de controle e automação, instituto de estudos superiores da Amazônia
Romildo.camelo@ig.com

Samir Lobo
Departamento de controle e automação, instituto de estudos superiores da Amazônia
samirlobo@hotmail.com

Simei Campos
Departamento de controle e automação, instituto de estudos superiores da Amazônia
simeipcamposeng@msn.com

Luciana Vieira
Departamento de controle e automação, instituto de estudos superiores da Amazônia
lvieira@prof.iesam-pa.edu.br

Wellington Lima
Departamento de controle e automação, instituto de estudos superiores da Amazônia
Wellington.jose.lima@gmail.com

Resumo **- Este artigo estuda um caso de viabilidade no retrofit de uma rebobinadeira responsável pela produção de papel. O equipamento passou a apresentar vários defeitos, trazendo inúmeras perdas, além de comprometer a qualidade do produto. Serão retratas as dificuldades da equipe de manutenção em convencer a direção sobre a necessidade de modernização neste processo. São demonstrados os levantamentos históricos dos problemas relacionados, as dificuldades de peças sobressalentes, que justificaram a implantação do projeto de modernização da rebobinadeira. Para detectar as causas raízes, foram realizados estudos específicos usando métodos de identificação e análises de problema como o METODO DE PAREDO e o método que resulta em soluções chamado METODO QC STORY, conhecido no Brasil por MASP. Possibilitando a elaboração da justificativa do investimento baseado em dados e fatos, e finalmente são apresentados os passos de modernização e os resultados finais da implantação da solução.**

Palavras-chave - gestão de ativos, método qc story, método de paredo, rebobinadeira, retrofit.

Abstract **- This article presents a case for the feasibility of a retrofit rewinder responsible for the production of paper. The equipment has the number of defects, bringing countless losses, besides compromising product quality. Will identify the difficulties of the maintenance staff to convince the leadership on the need to modernize this process. Stated the historical surveys of the problems related to mined, the difficulties of spare parts, which justified the implementation of the project of modernization of the winder. To detect the root causes, studies were performed using specific methods of identification and analysis of the problem as METHOD PAREDO and the method that results in solutions called METHOD STORY QC, known in Brazil for MASP. Allowing the preparation of the justification of the investment based on data and facts, and finally presents the steps of modernization and the final results of the deployment of the solution.**

I INTRODUÇÃO

As mudanças tecnológicas nas organizações industriais são processos inevitáveis, devendo ser realizadas desde que haja um prévio conhecimento dos impactos sobre a linha de produção e conduta do setor operacional, fatores estes preponderantes para o seu sucesso. De acordo com [8], o momento da mudança é um momento de ruptura, de transformação, de criação, o que envolve sempre risco – principalmente o risco das alterações nas relações de poder.

A necessidade de mudança é algo que se sente durante todo o tempo, porem infelizmente em alguns casos dentro de ambiente industrial existe lideres que continuam a ignorar todas as invenções do mundo que existem fora dos seus portões, perdendo grandes oportunidades a cada minuto. Se existe a possibilidade de melhorar ou modernizar, então ainda tem-se uma função a cumprir mesmo que literalmente.

Qualquer equipamento, com o passar do tempo, sofre desgaste e pode se tornar um problema para as empresas, tanto na quantidade de manutenção quanto no processo de aquisição de peças de reposição. Em uma boa parte dos casos os fabricantes preferem colocar um produto novo no mercado do que continuar a fornecer peças por um tempo indeterminado. Outro ponto importante é a renovação de recursos dos novos equipamentos, sendo de uma tecnologia mais atual, fornecem maiores funções do que seus antecessores.

Este trabalho foi desenvolvido em uma empresa de grande porte do estado que foi construída em 1958. Onde inicialmente utilizava-se um processo quase artesanalmente, produzia papel estiva utilizado para embalagens e embrulhos nos comércios de balcão da época.

Com o tempo, a empresa modernizou-se e diversificou a sua linha de produção. A aquisição de novos equipamentos, novas tecnologias, o aumento da estrutura da fábrica e a criação de novos produtos fizeram com que a empresa ganhasse destaque nacional e internacional, devido a sua inovação empresarial.

Atualmente a empresa é a maior fabricante de papeis do Norte e Nordeste do Brasil. Seu portfólio atende a quase todas as necessidades, sempre com as melhores soluções e seus produtos têm liderança absoluta nesse segmento.

Apesar da posição de destaque da empresa, alguns equipamentos importantes da produção não acompanharam a evolução. Infelizmente este não é um caso exclusivamente desta empresa, como pode ser observar no artigo “retrofitt do ventilador de processo ah33 da usina i vale – do projeto à gestão do ativo” [10] a concepção que aborda o retrofit de um equipamento da década de 60, e atualmente o projeto é ultrapassado, tanto nos aspectos de operação, manutenção e processo. Outro exemplo foi apresentado no artigo “retrofit em um torno convencional” o artigo propõe melhorar o desempenho da máquina em relação ao seu funcionamento, a facilitação do seu uso por parte dos operadores e rapidez na identificação de problemas elétricos.

Os casos anteriores são muitas vezes conhecidos como Loving care (cuidado amoroso), que dificultam o avanço tecnológico e aumentam os custos operacionais das empresas, que pode ser visto no livro “Se as máquinas falassem” do consultor CELSO Azevedo [1]. Celso cita em seu livro que “As atitudes apaixonadas como essa evidenciam o orgulho do profissional da manutenção. Para ele, evitar que a máquina quebre não só é a função para o qual é pago, é também uma questão de honra. Porém a degradação é inevitável, ao longo prazo acaba se tornando economicamente mais caro evitar essa degradação do que uma substituição por um novo equipamento”.

II VISÃO GERAL DO PROCESSO ANTES DO RETROFITT DA REBOBINADEIRA DE PAPEL

Envolvida em um processo de conversão de papel, chamada por alguns de bobinosa ou rebobinadeira, são máquina de acabamento que desenrolam os rolos (jumbos) ver figura 1, produzido por outras máquinas de papel. Provida de painéis elétricos e pneumáticos e possuindo um sistema de controle de velocidade, para acionamento principal que utilizar um acionamento Corrente Continua (cc).

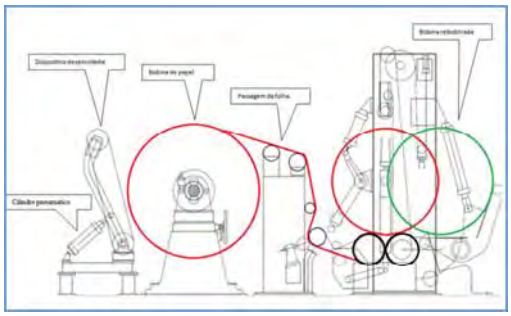


Fig. 1. Layout da rebobinadeira (Ilustração feita pelo acadêmico

O dia a dia da manutenção e a necessidade de manter em funcionamento esta máquina levaram a situações de baixíssima confiabilidade operacional, vide figura 2, que mesmo com a grande insistência da manutenção por modernização da máquina, não conseguiam convencer a diretoria da empresa. A figura 2 descreve um exemplo da dificuldade que a equipe de manutenção tinha para realizar a manutenção. Devida à complexidade do processo onde inúmeras conexões internas e externas do painel de controle, formando um grande circuito elétrico. Composto de relés, contactores, cabos dentre outros, que frequentemente apresentam problemas. Estes fatores tornado o tempo de manutenção maior e consequentemente menos eficiente.

Fig. 2. Painel elétrico da rebobinadeira 05 (Ilustração feita pelo acadêmico)

III MÉTODO DE IDENTIFICAÇÃO DE PROBLEMA (ANÁLISE DE PAREDO E QC STORY)

O método ANÁLISE DE PAREDO permite: Dividir um problema grande em um número de problemas menores. Como o método é baseado em dados e fatos, ele permite “priorizar projetos” [3], vide exemplo na figura 3. Para a solução do problema, foi utilizado os conceitos do método QCStory, viabilizando o estabelecimento de metas. O método de solução de problemas aqui apresentado, é o método japonês da Juse (Union of Japanese Scientists and Engineers), conhecido no Brasil por MASP [3]. A prática destas metodologias tornam mais fáceis a identificação e solução do causador do problema, através da delegação das funções e cobrança de resultados. Utilizando tal método foi criado um plano de ataque visando identificar efeitos indesejáveis atuantes no processo propondo assim mudanças significativas de ganho real, como mostra a figura 3.

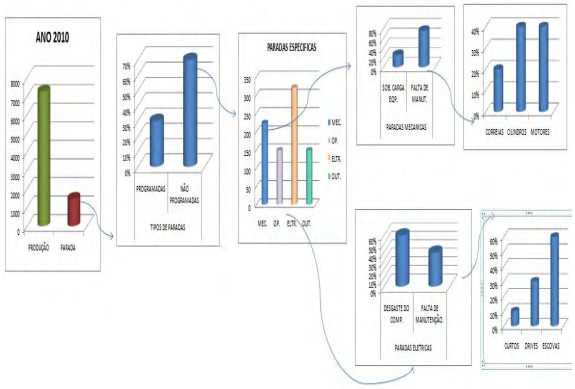


Fig. 3. Analise de paredo (Ilustração feita pelo autor)

O Gráfico 01 exemplifica as paradas não programadas especificas, onde é possível verificar o acentuado numero de paradas decorrentes de panes elétricas.

Gráfico 1. (ilustrado pelo acadêmico)

Segundo o Gráfico 02 verificou-se que as causas das paradas não programadas decorrentes de panes elétricas, onde se identifica que as principais falhas tinham como causa dos desgastes. figura 2.

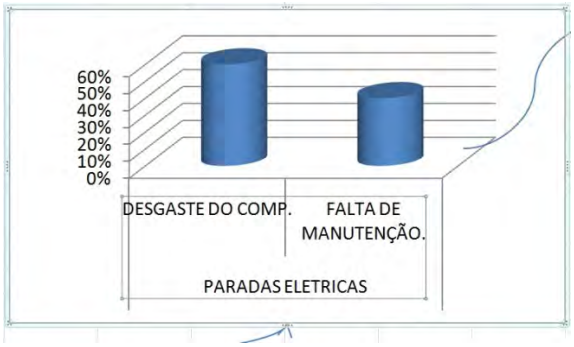


Gráfico 2. (ilustrado pelo acadêmico)

Já no gráfico 03 Observou-se que as escovas são as principais causadoras das inúmeras falhas. Componentes estes que sofriam com desgaste precoce.

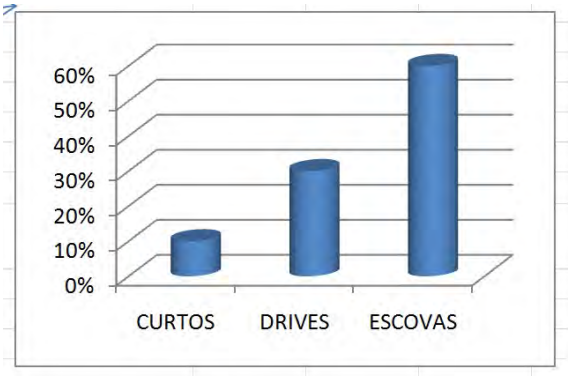


Gráfico 03. (ilustrado pelo acadêmico)

Através desses gráficos é possível identificar elevados problemas relacionados aos circuitos elétricos decorrentes de uma complexa malhas tanto interna quanto externa, malha esta que devido o elevado grau de defasagem que a máquina encontra-se, além de não respeitar normas básicas como NR10 e NR12 tornando assim, mas complexas as manutenções corretivas. Identificaram-se também falhas mecânicas decorrentes de uma falta de programação relacionada às manutenções tanto preventiva quanto preventiva.

Todos estes dados foram de real importância para a aplicação do MÉDODO DE PAREDO método este que foi primordial para a realização do retrofit no equipamento em questão.

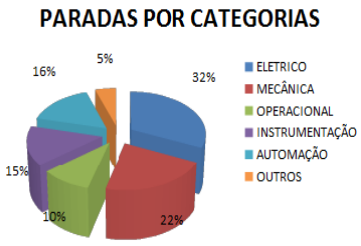


Gráfico 4. Tempo de parada da maquina (período) maio /2011 a maio/2012 (ilustrado pelo acadêmico)

O gráfico 4 demonstra as paradas não programadas por categoria, no período de maio/2011 a maio/2012, onde se pode observar a maior quantidade de problemas que ocasionarão as paradas se deve a parte elétrica e mecânica, que estão relacionadas ao painel de controle e ao motor.

IV PROPOSTA DE RETROFIT NA REBOBINADEIRA

É termo em inglês “retrofit” ou reajustar é usado para designar o processo de atualização ou modernização em relação à tecnologia de algum equipamento, componente ou sistema, que já está em utilização, por um novo equipamento e geralmente mais eficiente.

Objetivo do trabalho é propor o uso de equipamentos eletro-eletrônicos de uso industrial presentes no mercado, para substituir todo o painel de comando do sistema, E assim através de controladores, inversores de frequência, sensores e IHM (interface homem maquina), automatizar um sistema

antigo que não atende mais as expectativas das indústrias modernas em algo adequado com atualidade. Tendo como finalidade a manutenção rápida e consciente, a operação simples, a transmissão de informação e a segurança.

O levantamento da figura 4 foi apresentado à direção da empresa, que autorizou a realização das ações para a elaboração do projeto de modernização da rebobinadeira.

Produção diária (T)(2010/2011)	Preço /(T)	Preço de venda
20,00	R$ 1.050,00	R$21.000,00
Quant. Media Hora parada (2010-2011)		Custo Total
551hr [media 1.57 h/dia parada ano]		R$ 578.550,00

RESUMO

Tempo para realização do retrofitt	40 Hs Equivalente a 5 dias de Trabalho
Perda com a realização do retrofitt	100 Tonelada não fabricadas no período de 5 dias
Valor da Tonelada	R$: 1050,00 valor médio da tonelada
Valor da Perda	R$: 105.000,00

Valores Referente a Realização do Retrofit

Valor do Investimento	Elétrico	R$: 34.168,90 Compra do painel eletrico, motores, clp's, inversores, sensores, IHM, cabeamento etc
	Mecânico	R$: 3.440,00 Acoplamento mecanico, peças para fixação dos motores e painel etc
	Perda na Produção	R$: 105.000,00 Perda produtiva no periodo de realização do retrofitt
	R$	142.608,90
Tempo estimado para o retorno do investimento		85 dias

Fig. 4. Levantamento de custos para o retrofit (ilustrado pelo acadêmico)

A. Justificativas da troca do acionamento do motor principal

O acionamento do motor principal e equipamentos mecânicos por motores elétricos é um assunto de extraordinária importância econômica deste projeto. “No campo de acionamentos industriais, avalia-se que de 70 a 80% da energia eléctrica consumida pelo conjunto de toda a indústria seja transformada em energia mecânica através de motores elétricos”[15].

Este acionamento opera com um conversor (AC/DC) que é responsável pela variação de velocidade de rebobinamento do equipamento, ver Figura 5

Fig. 5. Motor cc de acionamento principal (ilustrado pelo acadêmico)

Nota-se que o modelo do motor é bastante antigo, com um rendimento original já ultrapassado, tornado assim sua manutenção mais complexa e cara, mesmo com esses problemas o motor já foi recuperado. Segundo Azevedo [1]: “infelizmente esta não é uma situação incomum, mas seguramente não ocorreria com uma adequada análise, que não é executada muitas vezes pela urgência da rotina, por isso deve ser tratada previamente”. Independentemente da qualidade maior ou menor do reparo estes jamais terão recomposto seu rendimento original, a figura 5 mostra a evolução dos rendimentos com o passar dos anos dos motores.

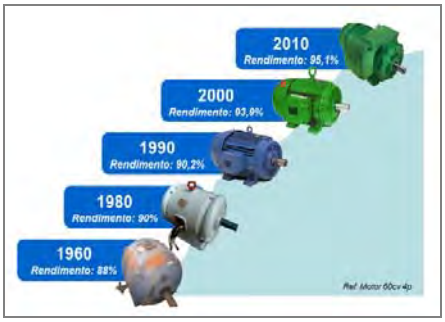


Fig. 4. Evolução dos rendimentos dos motores (fonte [4])

Os desgastes devido ao tempo e aos reparos realizados acabam ocasionando uma perda acentuada de rendimento. Dependendo da potência do motor, não é recomendado que fossem rebobinados, sendo simplesmente colocada fora de operação substituída por outro motor novo, vide Azevedo [1] para maiores esclarecimentos.

Um estudo da EASA, Electrical Apparatus Service Association (EASA, 2010), mostra uma estatística de falhas em motores elétricos, na figura 6, onde aproximadamente 80% das falhas podem, ou estão diretamente relacionadas à contaminação, causadas por especificações inadequadas de acordo com as características do ambiente e da aplicação.

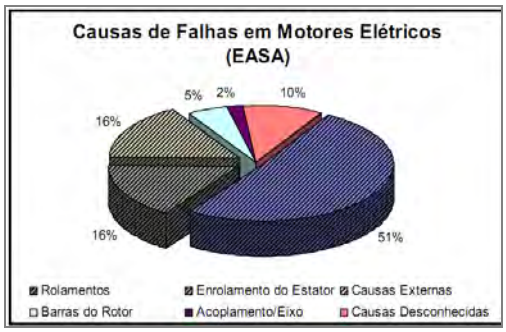


Fig. 5. Estatísticas de falhas de motores elétricos [2]

Conforme Azevedo [1] Isso reforça a importância da adequação dos motores às condições de operação (ambiente, carga, regime de trabalho etc.), pois, se um motor falhar e a causa raiz da falha não forem apurados, fatalmente um motor com as mesmas características e operando na mesma posição também falhará, sendo novo ou recuperado. A análise das falhas deverá indicar se para o motor se adequar à aplicação a recuperação proporcionará tal possibilidade e a que custo. Projetos antigos se limitavam aos recursos existentes a sua época. Em muitos casos a evolução dos equipamentos novos permite encontrar soluções que se adequam às mais variadas condições de operação e assim asseguram uma maior confiabilidade.

Hoje em dia com o advento dos inversores de frequência, a relação custo benefício entre um motor de CC (Corrente Continua) e um motor CA (Corrente Alternada), tem levado as indústrias a trocarem os motores CC por motores de indução acionados por inversor de frequência. O motor de CC tem um custo de manutenção muito alto, além de seus contatos serem feitos através de escovas, o que obriga uma manutenção periódica para a troca das mesmas. Os inversores de frequência atuais dão uma gama de parâmetros sobre o controle de velo-

cidade, precisão e leveza no acionamento de motores CA que não deixa a desejar em nada se comparado a um motor CC, fora outra infinidade de recursos que o inversor de frequência proporciona.

V PROJETO NOVO

A principal mudança que aconteceu neste maquinário está no projeto elétrico da rebobinadeira. A mudança que se realizou obteve uma minimização do espaço físico do painel elétrico com a retirada de componentes que não serão mais necessários, também na quantidade de circuitos onde se conectam dezenas de cabos com os componentes. No painel elétrico principal da rebobinadeira, vide figura 2.

Visando um aspecto mais limpo e organizado, todos os relés auxiliares e temporizadores que ocupam no painel uma área 0.5 m², foram substituídos por um controlador CLP. O CLP fará toda parte de controle dos motores e eletroválvulas, também fará comunicação com a IHM.

A IHM foi inserida no painel de acionamento, tem a função de executar e sinalizar todas as falhas e defeitos, assim como fornecer os valores de monitoração com os períodos de manutenção e parâmetros de regulagem.

Esta mudança teve consequência imediata no espaço físico do painel de controle, possibilitando a instalação de um inversor de frequência para partir o motor da máquina. Os componentes externos do painel da rebobinadeira foram substituídos por novos, tais como, botões e os sensores vide figura 11 e 12.

A. Automatização e Supervisão Rebobinadeira de Papel.

A.1 A Automação:

O sistema proposto utilizará um CLP para gerenciamento de todas as variáveis do processo, uma Interface Homem Máquina (I.H.M) para monitoramento dos alarmes e falhas e uma unidade remota que se comunicará com o CLP a partir de uma rede industrial. Os equipamentos anteriormente citados são detalhados nos itens a seguir.

A.2 Implementação do controlador CLP.

A utilização do CLP será responsável por todos os controles das entradas e saídas digitais que acionará um conjunto de relés, partidas dos acionamentos e conjuntos eletropneumáticos.

Fig. 6. CLP TPW03 (manual weg)

A.3 Linguagem de Programação.

A programação traduz as funções a ser executada pelas entradas digitais, a figura 10 mostra a execução de programação da IHM para referência de velocidade.

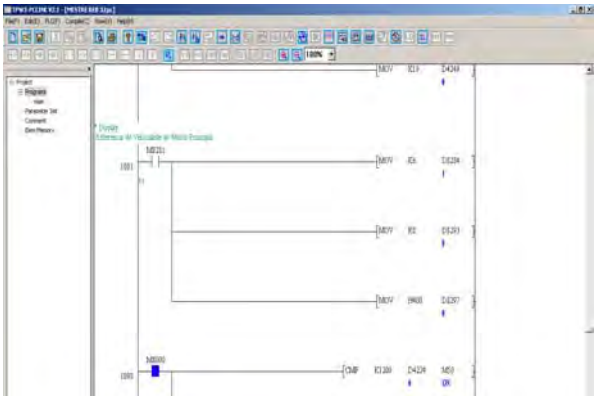


Fig. 7. Programação em Ladder (ilustrado pelo acadêmico)

A.4 Supervisão e Controle IHM

A implementação do nível de supervisão de controle de processo assume papel muito importante dentro destra programação.

Instalada na parte frontal do painel principal tem como objetivo incrementar a velocidade desejada e acompanhar em tempo real corrente dos motores, visualizar falha e gerar histórico de erros.

A.5 Comunicação Modbus.

As redes foram desenvolvidas para a troca de dados entre computadores. Hoje, com os microprocessadores chegando até os instrumentos do chão de fábrica, podem-se caracterizar estes como computadores também [4]. A utilização das redes permite a comunicação rápida e confiável entre equipamentos e o uso de mecanismos padronizados, que são hoje em dia, fatores indispensáveis no conceito de produtividade industrial.

A rede de comunicação Modbus, foi desenvolvida e publicada pela Modicon Industrial Automation Systems em 1979 para uso do seu CLP, tornou-se um padrão de fato na indústria. É um dos mais antigos protocolos utilizados em redes de controladores lógicos programáveis para aquisição de sinais de instrumentos e comandar atuadores usando uma porta serial. Atualmente a Modicon que é parte do grupo Schneider Electric, colocou as especificações e normas que definem o Modbus em domínio público. Por esta razão é utilizado em milhares de equipamentos existentes e é uma das soluções de rede mais baratas a serem utilizadas em automação industrial.

O protocolo MODBUS é usualmente implementado usando RS232, RS422 ou RS485 sobre uma variedade de meios de transmissão [13].

B. Novo Layout do Painel elétrico

Seguindo todas as normas de segurança e padronização de instalações elétricas (NR10) foi trocado todo o painel elétrico de controle.

Fig. 8. Montagem do novo painel elétrico (ilustrador pelo acadêmico)

C. Instalações do CLP

Para a substituição dos componentes elétricos como forma de melhorar o funcionamento, optou-se por utilizar um controlador lógico programável (CLP) que substitua a função destes componentes. Este tipo de controlador possui varia funções e uma capacidade enorme de formar circuitos, sendo necessários cuidados com os sinais de entrada e sinais de saída. No caso sugere-se a utilização de um CLP que possua 64 entradas 24V PNP, 16 saídas a rele e 1 saída serial para comunicação com uma IHM, e usando o software do CLP foi realizado uma programação em linguagem ladder. Ver figura 10

Fig. 9. CLP instalado no painel elétrico (ilustrador pelo acadêmico)

D. Interface homem maquina-IHM

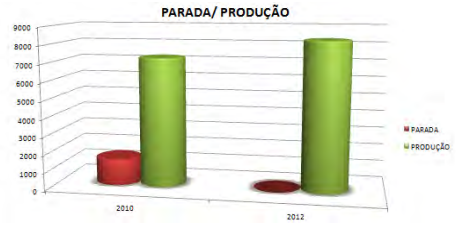
Outro tópico da instalação do projeto é o uso IHM, com ela a objetivo do projeto foi de reduzir tempo de manutenção e facilitar o trabalho de quem opera.
Através da comunicação existente entre o CLP e a IHM, todos os textos programados dentro da IHM serão acionados e aparecerão na tela, toda vez que o CLP identificar na operação da máquina uma falha, podendo através de senha ser desabilitado todo momento que ocorrer a falha.

Fig. 10. IHM da maquina (ilustrador pelo acadêmico)

A IHM possui uma conexão direta com a porta serial do CLP, podendo mostrar em tempo real o que acontece na máquina, e ainda fazer controle de alguns equipamentos que tem limite de vida estimado ou necessitam da troca de consumíveis, óleos, correias. Para isto se dispõe no CLP um valor de tempo ou contagem definido, que acionara a IHM toda vez que valor acumulado exceder o valor definido, ou solicitado para simples monitoração, através de acesso pode-se alterar o valor predefinido ou alterar o valor acumulado, ou apenas monitorado o valor acumulado.

VI RESULTADOS

Os resultados obtidos, nessa fase, do retrofit poderão se mostrada com os gráficos a seguir:



Ganho de Produção Mês (T)	Preço /(T)	Ganho de receita anual
120	R$ 1050,00	R$1.512.000,00

Fig. 12. Gráfico comparativo antes e depois do retrofit (ilustrador pelo acadêmico)

Como se observa na figura 12, as paradas não programadas relacionadas a causas elétricas foram reduzidas a praticamente zero, indicando que as causas dos problemas detectados inicialmente foram praticamente bloqueadas.

Este projeto proporcionou, além de valor econômico, também um valor imensurável tanto para a operação quanto para manutenção, reduzindo ao mínimo a perda de produção e obtendo uma uniformidade do processo de rebobinamento. Também pode ser citada a melhoria da segurança dos operadores que trabalham no entorno da rebobinadeira, além da satisfação e orgulho da equipe pela conquista e o resultado da modernização.

VII CONSIDERAÇÕES FINAIS

As propostas de alterações contidas neste trabalho foram aprovadas pelo departamento de manutenção elétrica e eletrôni-

ca da empresa com viabilidade técnica e econômica. O projeto foi desenvolvido visando os objetivos comentados no inicio do trabalho, segurança, organização e rapidez na manutenção, para a empresa que forneceu o campo de estudo e equipamentos atendeu as necessidades da empresa, sendo de comum entendimento para qualquer profissional da área.

O projeto foi desenvolvido para atender uma necessidade desta empresa referente a esse equipamento onde foi obtido sucesso, atendendo as normas NR10 que estabelece "os requisitos e condições mínimas exigidas para garantir a segurança e saúde dos trabalhadores que interagem com instalações elétricas, em suas etapas de projeto, construção, montagem, operação e manutenção, bem como de quaisquer trabalhos realizados em suas proximidades" (NR 10,2012) e NR12 que estabelece "os procedimentos obrigatórios nos locais destinados a máquinas e equipamentos, como piso, áreas de circulação, dispositivos de partida e parada, normas sobre proteção de máquinas e equipamentos, bem como manutenção e operação". [13]

No entanto não se destacou a possibilidade de se efetuar mudanças, desde que seja feitas para melhorar o trabalho realizado.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por nos ter dado sabedoria e força para nunca desistir, as nossas famílias que muitas vezes deixamos de lado, a todos os professores coordenadores e funcionários do IESAM em especial ao nosso orientador Msc. Wellington Lima pela paciência, dedicação e profissionalismo demonstrado durante todo o tempo, agradecemos pela confiança, muito obrigados a todos envolvidos direta ou indiretamente para o sucesso deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] C. Azevedo. Se as máquinas falassem: uma conversa franca sobre a gestão de ativos industriais. São Paulo: Saraiva. 2007

[2] D. A. Barbosa; M. Damasceno; D. Santos e A. P. Moreira. *Retrofitt em um torno convencional*, IV CONNEPI Belém 2009, Disponível: http://connepi2009.ifpa.edu.br/connepi-anais/artigos/69_3691_1816.pdf, acessada em: 07/04/2012

[3] V. F. Campos, Controle da Qualidade Total, no estilo japonês, Editora: QFCO, 8ª edição, 2004.

[4] M.A. Coghi, Critérios para seleção de redes para automação industrial. Revista Mecatrônica Atual - N°11 - Set/03.

[5] O. L. V. Costa, J. B. R. do Val, e J. C. Geromel, *Convex programming and the H_2-control of jump linear systems*, *Proceedings of the 11th Brazilian Automatic Control Conference*, Vol. I, São Paulo, 1996, pp. 067 072.

[6] EASA-*Electrical Apparatus Service Association, The Effect of Repais Rewind on Motor Efficiency*; 2010

[7] El Ghaoui, L. e Scorletti, G. (1996). *Control of rational systems using linear-fractional representations and LMIs*, *Automatica*, 32(9): 1273 1284.

[8] M. T. L. Fleury, Cultura organizacional: os modismos, as pesquisas, as intervenções: uma discussão metodológica. Revista de Administração, São Paulo V.24, n.1 p.3-9, 1989.

[9] M. Georgine, Automação aplicada. 5. Ed. São Paulo Érica. 2003.

[10] V. L .Giacomin. *Retrofit do ventilador de processo ah33 da usina i vale – do projeto à gestão do ativo* ABRAMAN- 2006, Disponível em: http://www.abraman.org.br/sidebar/bibliotecas-e-publicacoes/apostilas-artigos-boletins-e-trabalhos-tecnicos/trabalhos-tecnicos/21-congresso-brasileiro-de-manutencao--2006. Acesso em: 08/08/2012

[11] G. Gonçalves. Termografia em painéis elétricos: Analise em disjuntores motor. 61f. Trabalho de conclusão de curso- SENAI, Joinville, 2010.

[12] Nr 12- Norma de segurança em maquinas e equipamentos, 2012 Disponível: http://www.mte.gov.br/seg_sau/nr_12_texto.pdf acessado em: 22/10/2012

[13] M.R. Stemmer, Sistemas distribuídos e redes de computadores para controle e automação industrial. Disponível: http://www.das.ufsc.br/disciplinas/das5314/ uploads/ nota_aula/ApostilaMarcelo.pdf. Acesso: 02/07/. 2012.

[14] D. de Moraes Venero. Gestão de reparo de motores elétricos com foco em confiabilidade e otimização de custos, Artigo apresentado no 23º Congresso Brasileiro de Manutenção, Santos 2008 – Abraman;

[15] WEG. Automação Industrial. Apostila, WEG, São Paulo, 2010. Disponível: http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-solucao-em-automacao-industrial-catalogo-portugues-br.pdf. Acesso: 30/05/2012

A matemática como aspecto único do pensamento humano sua Historia nas civilizações seus avanços e aplicações na Engenharia

Fábio Augusto de Souza
Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
fagussouza@hotmail.com

Renan Sthel Duque
Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
renan.duque@inatel.br

Luiz Felipe S. de Godoy
Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
luizfelipe@inatel.br

Resumo—Este artigo é resultado de levantamentos históricos relacionados à origem da Matemática nas civilizações, desde seus primórdios até suas aplicações atuais. A Matemática parece ter sua origem dentro de nós mesmos, a história nos revela que temos a capacidade de distinguir, tamanhos, ordens e formas desde os primórdios. Boa parte da matemática que conhecemos hoje deriva de idéias originalmente centradas em grandezas, formas e conceitos numéricos. E, é essa capacidade da qual somos dotados, assim como a capacidade de amar, de sentir, que em suas essências não se distinguem da complexidade e da profundidade da matemática, que ao longo dos milênios e séculos foi sendo aperfeiçoada e observada, gerando as diversas ramificações existentes hoje. Originalmente a Historia nos relata que os dedos das mãos eram usados para indicar conjuntos, posteriormente o homem começou a usar pedras, em grupos de cinco, pois os quíntuplos lhe eram familiares por observação da mão e pé humanos. O caminho para esse contínuo crescimento talvez seja a observação da natureza, do que acontece ao nosso redor, das leis da física que não podem ser alteradas. Pode-se concluir que, a observação da natureza e a necessidade de organização dos fenômenos, foram fatores essenciais para a origem dos números e suas operações. A partir da análise de alguns livros Históricos, foram levantadas datas importantes, grandes cientistas, suas descobertas e aplicações atuais.

Palavras chave— Aplicações, Cálculo, Engenharia, História da Matemática.

***Abstract*— This article is the result of historical surveys related to the origin of mathematics in civilization, from its beginnings to its current applications. Math seems to have its origin within ourselves, history shows us that we have the ability to distinguish sizes, shapes and orders since the beginning. Much of the mathematics we know today derives from ideas originally centered in quantities, shapes and number concepts. And this ability that we have, as well as the ability to love, to feel, which in their essence are no different of the complexity and depth of mathematics, which over the centuries and millennia has been improved and observed, generating the various areas existing today. Originally History tells us that the fingers were used to indicate sets, then the man began using rocks in groups of five, as the quintuplets were familiar by the observation of human hands and feet. The path to this continued growth is perhaps the observation of nature, of what happens around us, the laws of physics that can not be changed. It can be concluded that the observation of nature and the need for organization of phenomena, were essential factors for the origin of numbers and their operations. From the analysis of some historical books, important dates, great scientists, their discoveries and current applications were analyzed.**

***Keywords*— Applications, Calculus, Engineering, Mathematics History.**

I. Introdução

Este trabalho é resultado da minha percepção, enquanto aluno do curso de Engenharia Elétrica, que vivenciando situações de aprendizagem, encontrei muitas dificuldades, apesar do esforço dedicado para compreensão das disciplinas de Matemática como Cálculo e Álgebra. Assim, na tentativa de compreender melhor os conceitos matemáticos e a necessidade que gerou o desenvolvimento de alguns desses conceitos, decidi fazer um levantamento histórico sobre a origem da matemática. Além disso, procurei relacionar esses conceitos com o estudo da engenharia. Através das pesquisas em livros, artigos e dissertações, verifiquei que parte dos conhecimentos matemáticos se desenvolveu da observação da Natureza.

II. Análise cronológica dos princípios matemáticos

Neste tópico foram levantados, através das pesquisas bibliográficas, os fatos e os períodos em que a matemática começa a surgir pela necessidade de contagem. Alguns cientistas acreditam que a matemática surgiu como resposta às necessidades práticas do homem, como contar o número de ovelhas de um rebanho, contudo, estudos antropológicos sugerem a possibilidade de outra linhagem, a origem em meio a rituais, com a finalidade de suprir a necessidade de ordem. Este ponto de vista ainda que longe de ser provado, estaria em harmonia com a possível divisão dos números inteiros em impares e pares: ímpares para o gênero masculino e pares para o feminino. Essas diferenciações por ordem foram verificadas em diversas culturas e utilizadas por povos da antiguidade.

III. METODOLOGIA E REFERENCIAL TEÓRICO

A metodologia utilizada neste trabalho foi baseada na pesquisa bibliográfica, também conhecida como revisão

literária. A importância deste método é reforçada por [1], “uma pesquisa bibliográfica pode ser desenvolvida como um trabalho em si mesmo ou constituir-se numa etapa de elaboração de monografias, dissertações, etc.”. Assim, para alcançar o objetivo deste trabalho, foi necessário estudar os mecanismos de pesquisas, avaliando e reconhecendo, criticamente, quais informações históricas são, de fato, informações científicas. Isto foi conseguido, através de leituras orientadas sobre metodologia científica e de análise de artigos científicos. A partir desta etapa, foi elaborada uma estratégia de busca dos assuntos que tratassem a história da matemática em livros, revistas, dissertações e teses. Por trabalhar diretamente com acervo bibliográfico na biblioteca desta IES, pude consultar várias obras que conduziram este trabalho. Em outros momentos foi necessária a utilização da internet para afinar alguns assuntos da pesquisa. Após o levantamento dos dados históricos sobre os conceitos matemáticos, e sobre os fatos que antecederam suas descobertas, começou a fase de organização dos fatos. Neste momento, o trabalho foi norteado pela seleção cronológica dos fatos e a reunião dos conceitos tratados por diferentes culturas. Durante o trabalho de investigação literária foi utilizado [2] como referencial teórico, segundo o qual, a presente pesquisa pode ser classificada como exploratória uma vez que através de levantamento bibliográfico tem a finalidade de proporcionar uma maior familiaridade com o problema, com a intenção de torná-lo mais explícito.

IV. OS PRIMEIROS PASSOS DA MATEMÁTICA

Durante a investigação sobre os fatos que antecederam cada descoberta de um novo conceito matemático – o que nos remete a origem da própria matemática – pude compreender que o conceito de número inteiro é o mais antigo, sua origem se perde na antiguidade pré-histórica. Já as noções de frações racionais surgiram relativamente tarde e sem tanta aplicação nas tribos primitivas, essencialmente as frações decimais vieram a existir em uma idade mais moderna da matemática, não no período primitivo. Afirmações sobre a origem da matemática, seja da aritmética ou da geometria, são necessariamente arriscadas. Apenas nos últimos seis milênios, de uma ciência que pode ter se iniciado há milhares de milênios, o homem conseguiu registrar seus pensamentos, suas observações dos fenômenos naturais e de suas conjecturas, para a forma escrita. Heródoto e Aristóteles não quiseram se arriscar e não propuseram origens mais antigas para a geometria do que aquela utilizada pela civilização egípcia. Os egípcios acreditavam que a geometria surgiu da necessidade de medir as terras após cada inundação do Nilo. Aristóteles tinha uma teoria oposta, acreditava que a geometria surgiu do “Lazer Sacerdotal Egípcio“ envolvendo rituais. Não podemos contradizer com segurança essas teorias, e quais as suas verdadeiras motivações, mas é perceptível que subestimaram a idade da geometria. Segundo relatos históricos, o homem pré-histórico teve pouca ou quase nenhuma necessidade de medir terras ou de lazer, porém desenhos deixados por eles mostram claramente algumas relações espaciais muito primitivas, mas que na sua essência são elementos daquilo que conhecemos hoje como geometria. Seus artefatos, potes, tecidos e cestas são exemplos de congruência e simetria, que apesar de não estarem demonstrados na forma de escrita, estavam inseridos neles e muito claros em outra forma de representação. Para o período pré-histórico não existem documentos, tornando impossível acompanhar o desenvolvimento. Existem somente hipóteses, que levam aos primeiros passos da matemática, isto é, a capacidade de observação dos fenômenos. E porque não parar para pensar e observar, que uma possível idéia pode ser a mesma pensada e desencadeada a milhares de anos atrás? Antigos resultados geométricos encontrados na Índia formam o que chamamos “sulvasutras” ou “regras da corda”, trata-se de relações simples, que aparentemente eram aplicadas na construção de templos. Acredita-se que tanto a geometria da Índia como a do Egito podem ter se originado de uma fonte comum, assim como a ciência se desenvolveu a partir da mitologia, e a filosofia da teologia. É descrito que o Faraó Sesotris, repartia o solo do Egito entre seus habitantes, e quando o rio levava qualquer parte do lote de um homem, o rei mandava pessoas para examinar, e determinar por medida a extensão exata da perda. Este é um dos motivos que nos fazem acreditar que a geometria teve sua origem no Egito, de onde passou para Grécia. Infelizmente, de todo o passado da humanidade, temos poucas informações razoavelmente seguras, como as dos povos que viveram ao longo do Nilo e dos rios Tigre e Eufrates. Em formas bem primitivas de escrita, transmitiam-se significados em formas cuneiformes, em tabletas que sobreviveram até nossos dias, mas apenas uma fração desses registros se refere a temas relacionados com a matemática. Além disso, somente há poucos séculos as mensagens das tabletas foram decifradas, devido ao brilhante trabalho de Fr. Thureau-Dangin na França e Otto Neugebauer na Alemanha. A partir das leituras de [3] e [4], verificamos que não há um consenso da origem exata da matemática. Nem mesmo das buscas em sites específicos da internet como [5] e [6], foi possível uma conclusão contundente.

V. OS PRINCIPAIS RAMOS DA MATEMATICA NO SÉCULO XX E SUAS APLICAÇÕES NA ENGENHARIA

Provavelmente as proezas mais óbvias da matemática do século vinte são as suas aplicações. A física moderna tornou-se quase um ramo da matemática; Einstein, Bohr, Dirac, Feynman, Gell-Mann, e muitos outros físicos notáveis fizeram muito do seu trabalho em matemática. A relatividade usa algumas das aparentemente estranhas geometrias teóricas abstratas do século passado e demonstra que aquelas são mais tangíveis do que os seus inventores sonharam. A mecânica quântica aplica a teoria das probabilidades e dos grupos à estrutura de partículas subatômicas. A física também deságua na astronomia e na cosmologia. Stephen Hawking, físico e matemático que ocupa a mesma cadeira de professor em Cambridge, outrora ocupada por Newton, está a trabalhar no desenvolvimento de uma grande teoria unificadora do universo. Se a física é matemática aplicada, a engenharia é física aplicada. As muitas maravilhas da engenharia do século vinte sublinham o poder da matemática nos automóveis e nas auto-estradas, nos aviões, nas naves espaciais, nos telefones, na televisão e nos computadores. Duas outras áreas importantes da matemática aplicada do século vinte são a

estatística e as probabilidades. Ambas tinham uso limitado antes de 1900, especialmente no cálculo, mas matemáticos das duas áreas construíram fundamentos teóricos sólidos e encontraram muitas novas aplicações. Numa certa altura, a probabilidade parecia ser pouco mais que uma ferramenta útil para os jogadores. No século vinte, porém, foi aplicada na mecânica quântica para a localização de elétrons, e através da teoria do jogo de John Von Neumann, para a análise estratégica em negócios, na economia, na política, e na guerra. John Nash e Reinhard Selten, ambos matemáticos, até partilharam o prêmio Nobel da economia em 1994 pelo seu trabalho nesta área. De fato, a matemática tem contribuído em muitas áreas de negócios, muito para além dos dados pelos livreiros de Dickens do século dezenove. Alguns consideram o desenvolvimento do método simplex de programação linear por George Dantzigv em 1947, uma poderosa ferramenta de otimização nos negócios, como uma das mais importantes descobertas matemáticas do século. Por volta de 1970, a teoria do caos, desenvolvida por René Thom e Christopher Zeeman, considerou resultados abruptos, não contínuos, de ações contínuas. A teoria tem aplicações nas áreas financeira e empresarial, bem como na biologia e em outros campos que anteriormente não tinham relação estreita com a matemática. As complexidades da economia, biologia, e outros campos confusos, tais como a ecologia, estão agora a ser apetrechados pela matemática da teoria do caos e dos sistemas dinâmicos.

VI. CONCLUSÕES

A importância da matemática e seu fator de impacto no mundo físico, nos computadores, nas transmissões, nas tecnologias, nas comunicações, na saúde, transcendem a razão.

E assim, a matemática pode ser em parte conhecida com os diversos teoremas e conceitos, mas jamais entendida com uma simples lei de formação, uma conclusão final jamais definirá a grandeza da sua proporção.

REFERÊNCIAS

[1] ANDRADE, Maria Margarida de. Introdução à Metodologia do trabalho científico. 2.ed. São Paulo: Atlas, 1997.

[2]GIL, Antonio Carlos, Como Elaborar Projetos de Pesquisa/ 4. ed. – São Paulo: Atlas, 2002

[3] BOYER, Carl B. A história da Matemática. São Paulo: ABDR Editora, 1996.

[4] BOYER, Carl Benjamin. História da Matemática. Tradução de Elza F. Gomide. São Paulo, Edgard Blücher, 1974, 488 p., p.

[5] http://www.somatematica.com.br/historia/matfinanceira.php (acesso em 10/12/2012)

[6] http://www.rc.unesp.br/igce/matematica/gphm/ (acesso em 07/02/2012)

[6] Flemming, D.M. e Luz, E.F. Tendências atuais no ensino das disciplinas da área de matemática nos cursos de engenharia. In: XXVII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Natal, 1999.

[7] Soares, E.M.S. e Sauer, L.Z. Um novo olhar sobre a aprendizagem de matemática para a engenharia. In: Disciplinas matemáticas em cursos superiores. (Cury, H.N. ed) pp 245-270, Porto Alegre: Edipucrs, 2004.

[1] [3] Katz, Victor. A History of Mathematics: An

Renan Ralpe Sthel Duque nasceu em Vitória, ES, em 16 de setembro de 1977. Possui os títulos de Engenheiro Eletricista (Inatel, 2001), Especialista em Engenharia Biomédica (Inatel, 2011), Mestre em Telecomunicações (Inatel, 2003).

Professor de Matemática e Cálculo na UNIVAS de 2008 a 2012. Professor do INATEL desde 2005, atuando nas disciplinas de Cálculo I, Cálculo II, Cálculo III, Cálculo Numérico, Sinais e Sistemas, Probabilidade e Estatística, Processos Estocásticos e Álgebra Linear e Geometria Analítica.

Luiz Felipe Simões de Godoy nasceu em Pouso Alegre, MG, em 10 de setembro de 1967. Possui os títulos: Engenheiro Eletricista (Inatel, 1994), Licenciatura Plena em Matemática (UEMG, 1997), Especialista em Matemática (PUC - Minas, 2000), Mestre em Educação Matemática (PUC-SP, 2004).

Professor de Física do ensino médio desde 1992, e no ensino superior desde 1999 na UNIVAS, atuando na área de Física Geral e Cálculo I e II. Nesta IES, assumiu por três anos o cargo de chefe de departamento do curso de Matemática no período de 2001-2004. Professor do INATEL desde 2006, atuando na área de Cálculo Diferencial e Integral e Álgebra Linear.

Fábio Augusto de Souza nasceu em Itajubá, MG, em 28 de Agosto de 1981. Atualmente é graduando em Engenharia Elétrica (Inatel).

O uso de ferramentas computacionais no ensino e aprendizagem do Cálculo

Pedro Henrique Fialho Santos
Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
java.pedro@gmail.com

Tayla Simões Santos
Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
taylasimoessantos@hotmail.com

Luiz Felipe Simões Godoy
Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
luizfelipe@inatel.br

***Resumo*— Cientes do elevado número de reprovação na disciplina de Cálculo I pelos alunos de Engenharia da nossa instituição, e, mais abrangentemente das demais instituições, procurou-se fazer neste trabalho um estudo sobre o porquê da dificuldade do aprendizado nesta disciplina, e uma investigação sobre como melhorá-lo, aumentando assim, o número de aprovações. Nesta perspectiva utilizou-se de dois componentes que pudessem auxiliar no ensino, a metodologia de resolução de problemas e o uso de ferramentas tecnológicas. Além disso, a produção das questões de trabalho foi alinhada a Teoria dos Registros de Representação Semiótica, o que proporcionou uma melhor conversão entre os vários tipos de representação do objeto matemático estudado.**

***Palavras chave*—Cálculo I, Registros de Representação, Aprendizagem, Ferramentas Tecnológicas.**
***Keywords*— Calculus I, Records Representation, Learning, Technological Tools**

I. Introdução

A reprovação na disciplina de Cálculo I, tem se tornado cada vez mais frequente nas engenharias. Pesquisas como [1] apontam para esse problema, que está gerando um acúmulo de dependentes nesta disciplina. Através de um levantamento bibliográfico sobre o porquê das reprovações, pode-se inferir que uma das questões está ligada à interpretação das representações de um objeto matemático. Isto é, muitas vezes o aluno compreende um tratamento dentro de um determinado registro de representação de um objeto matemático, mas não conhece efetivamente o conceito deste objeto. Como exemplo, podemos citar o caso da função do 2º grau. Um determinado número de alunos conseguem determinar as raízes da equação do 2º grau quando o exercício encontra-se no registro algébrico, para isto, basta aplicar o tratamento matemático da equação de Bhaskara. Contudo, se a mesma questão for apresentada utilizando o registro de representação figural (gráfico) o número de alunos capazes de responder à questão não será o mesmo. Em um rápido diagnóstico, podemos sugerir que os alunos estão acostumados a trabalhar apenas com os registros de representação separadamente, e, por isso, aprendem o tratamento dentro destes registros, mas não compreendem bem a conversão entre registros diferentes do mesmo objeto. Para podermos tratar as questões utilizando a conversão entre os registros de representação, decidimos utilizar o computador como um facilitador da aprendizagem em Matemática. Trabalhamos com a disciplina de Cálculo I, mais especificamente, no ensino e aprendizagem de limites, derivadas e integrais.

Em nossa pesquisa priorizamos algumas formas de linguagem, como: linguagem algébrica, linguagem natural (escrita), tabelas e gráficos. Criamos exercícios didáticos, capazes de utilizar diversos registros de representação em um mesmo contexto, induzindo assim o aluno a fazer a passagem entre esses registros.

II. Objetivo

Este trabalho tem como objetivo a utilização de ferramentas computacionais e a elaboração de situações problemas que motivem o estudo e facilitem a aprendizagem dos conteúdos matemáticos da disciplina de Cálculo I. Ao mesmo tempo, as questões devem ser capazes de fazer os alunos transitarem entre os diversos registros de representação em matemática. Desta forma, vamos ajudar os alunos estudar os conteúdos do Cálculo através de oficinas nos laboratórios de informática, nos quais serão utilizados software gráficos e de cálculo, como o winplot e o matlab.

III. Confecção e aplicação dos exercícios

Para a confecção dos exercícios, foi estudado o teorema dos registros de representação semióticas de Raymond Duval, a análise do funcionamento do pensamento para a aquisição de conhecimento, assim como à organização de situações de aprendizagem, pesquisando sobre os problemas da aprendizagem em matemática, mais especificamente em Cálculo I. Raymond Duval, nossa principal fonte teórica, é francês, filósofo e psicólogo, desenvolveu trabalhos na área de Matemática dentro de suas pesquisas em Psicologia Cognitiva no Instituto de Pesquisa em Educação Matemática (IREM) de Estrasburgo, na França (1970-1999). Atualmente é professor emérito na

Université du Littoral Cote d'Opale, França. Em suas pesquisas trata principalmente do funcionamento cognitivo, implicando, sobretudo, na atividade Matemática e nos problemas de tal aprendizagem.

O ensino da matemática, sob o ponto de vista da Teoria de Duval, é, sobretudo, possibilitar o desenvolvimento geral das capacidades de raciocínio, de análise e de visualização. A atividade matemática, neste caso, é caracterizada pela dependência das representações semióticas, bem como pela grande variedade destas representações. No estudo do registro de representação, descobrimos que existe uma diversidade de representações semióticas, dentre às quais foram escolhidas que são resumidas em quatro registros:

- A língua natural.
- As escritas algébricas e formais.
- As representações por tabela.
- As representações gráficas.

Nosso objetivo foi fazer a interconexão entre esses registros em um mesmo contexto, possibilitando o aluno de enxergar uma situação problema de diversos "ângulos". Percebemos então, que a maior dificuldade está no primeiro registro, o da linguagem natural. Por exemplo, se o aluno se depara com o seguinte problema: "A soma de dois números é 20, e a diferença entre eles é 4. Quais são os números?", existe uma dificuldade inicial de se enxergar o que a situação problema está pedindo, até que finalmente haja uma conversão da língua natural, para a escrita algébrica, formando então um simples sistema de equação:

$$\begin{cases} x + y = 20 \\ x - y = 4 \end{cases}$$

Exploramos então o lado da interpretação, mesclando primeiramente os 2 registros. Para que o aluno tenha total entendimento, é necessário que ele não tenha dificuldade de transitar entre registros.

Procuramos situações cotidianas, onde poderíamos inserir a importância do conhecimento de limites, derivadas e integrais, para prever comportamentos do mundo real, gerar relatórios, e verificar possíveis melhorias.

Fizemos a utilização de laboratório por três vezes, reunindo alunos de diversos professores para que a variável do professor não influenciasse no resultado final de nossa pesquisa. No primeiro relatório (Anexo I), uma das alternativas pedia para, dada uma função, o aluno encontrasse pontos de máximos e mínimos no gráfico e depois confirmasse com cálculos, que, naquele caso significavam os meses que uma empresa, mais e menos, lucrou. Neste momento a intenção era avaliar a percepção dos parâmetros da função dentro do registro figural (gráfico) e, em seguida, conduzir o aluno a resolver a mesma situação dentro do registro algébrico, para em fim comparar as duas situações. A expectativa era que os alunos fossem motivados a determinar de forma exata os valores inferidos pelo gráfico.

O aluno a todo o momento era levado a utilizar softwares matemáticos, como o Winplot ou Matlab para ajudá-los no desenvolvimento e compreensão das questões, sendo utilizado desde simplesmente para confirmar seus cálculos, até plotar gráficos e encontrar pontos de máximo, mínimo e inflexão.

No segundo relatório (Anexo II), o aluno precisava fazer o gráfico a partir dos valores dados em uma tabela, após isso, a partir de uma função, realizar cálculos utilizando conceitos adquiridos construindo um novo gráfico com os valores encontrados e, por fim, fazer uma análise entre os gráficos. Neste exercício podemos observar a transição feita pelo aluno entre a representação por tabela, a língua natural e a escrita algébrica.

No primeiro exercício do terceiro relatório, foi pedido para que, a partir dos pontos da tabela, construísse um gráfico e após isso, encontrasse a respectiva função e a área da figura. No segundo exercício foi dado o gráfico e pediu-se para determinar a área da respectiva figura e seu nome. Já no terceiro exercício pedia para calcular os exercícios anteriores usando conceito de integral, dando assim a função na forma algébrica do segundo exercício, para que isso fosse possível. Percebemos então, que foi necessário ao aluno passar por todos os registros de representação para que concluísse o relatório.

Foi notória a quantidade de dúvidas surgidas durante a resolução dos relatórios, pois os alunos não estavam aptos a passarem por mais de um registro de representação, ou seja, a resolver um único exercício de diversas maneiras.

IV. Conclusões

Este trabalho nos proporcionou, primeiramente, uma reflexão sobre os saberes matemáticos, isto é, a relação entre o representante e o representado. Aprendemos através da Teoria dos registros de representação de Duval que, saber matemática é reconhecer o objeto matemático nos diversos registros de representação, e ainda, saber transitar por esses registros. Percebemos também que ao apresentar aos alunos, sujeitos da pesquisa, exercícios propostos contextualizados na forma de situações cotidianas a motivação para sua realização foi acima da expectativa, todos se propuseram a fazer e encontrar o resultado. Esta motivação pode ter sido reforçada pela utilização das ferramentas computacionais (Winplot e Matlab) que supriram algumas dificuldades como construção de gráficos e análise dos parâmetros de uma curva, como inclinação, máximos e mínimos relativos. A nossa perspectiva para este trabalho era de comparar os resultados dos alunos que participaram das oficinas em laboratório com o a média das turmas das disciplinas de NB019 (Cálculo I). Contudo, entendemos, juntamente com o orientador, que o número de questões preparadas e o número de encontros com os alunos não foram suficientes para uma análise posteriori

que pudesse garantir um resultado significativo. Além disso, após uma análise das etapas verificamos algumas pendências que poderão ser corrigidas como: a aplicação de um teste diagnóstico nos alunos sujeitos da pesquisa, uma seleção destes alunos por amostragem, uma melhor adequação das oficinas com o calendário acadêmico dos alunos, entre outros.

Assim deixamos como proposta para um próximo trabalho, a elaboração de novas questões que possam ser conduzidas em um minicurso, com encontros seqüenciais. Trabalhando a resolução de problemas através das ferramentas computacionais à luz da Teoria dos Registros de Representação.

ANEXOS

A. ANEXO I

1) O gráfico abaixo representa a lucratividade (em milhares de reais) de uma empresa no domínio do tempo (em meses). A empresa era do Senhor Jonas, que ficou com ela durante os três primeiros anos, porém, ao perceber que ela estava crescendo, mas continuava tendo muito prejuízo, passou a administração para seu filho Carlos, que a partir do instante t = 0, começou a liderar esta empresa.

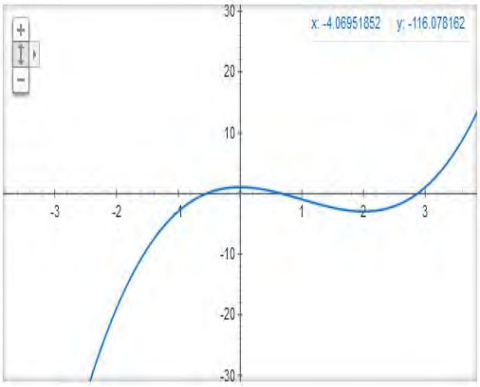


Fig. 1
Gráfico do 1º relatório.

a) É possível identificar com precisão as raízes dessa função pelo gráfico acima? Caso contrário, **estime** os valores. x', x'' e x'''. O que estes valores representam neste contexto?
b) É possível identificar no gráfico o intervalo de crescimento e decrescimento dessa função? _____. Se sim, qual é intervalo de crescimento? _____;
c) E o de decrescimento? _____. Durante a liderança de quem a empresa cresceu mais?
d) É possível identificar com precisão o ponto de máximo e mínimo? _____. Se sim, qual é o de máximo? _____ e o de mínimo? _____. O que eles representam?
e) É possível identificar onde ocorre mudança de concavidade (pontos de inflexão)?
Difícil, não? Existem artifícios na matemática que nos permite calcular os itens acima algebricamente.

Você se lembra dos conceitos de Derivadas? São eles que nos possibilitam calcular (algebricamente) os valores exatos, e neste caso, irão nos ajudar a resolver tais problemas.

Sabendo-se que a função representada pelo gráfico acima é dada na forma algébrica por $f(x) = x^3 - 3x^2 + 1$, determinar, algebricamente, as questões abaixo.

a) O valor de x' e x'' de f'(x): x'_____ e x''_____;
b) O intervalo de crescimento é: _____;
c) O intervalo de decrescimento é: _____;
d) O ponto máximo é: _____; O ponto de mínimo é: ____;
e) Os pontos de inflexão são:

Diferente os resultados, não?
Esta é uma das importâncias do estudo das derivadas. Saber exatamente, utilizando de artifícios matemáticos o comportamento da função em qualquer ponto do domínio desta.

B. ANEXO II

1) Considere que os pontos da tabela abaixo são os extremos de dois segmentos de retas. Marque no diagrama a seguir os três pontos e trace os segmentos.

x	-3	0	3
y	0	2	0

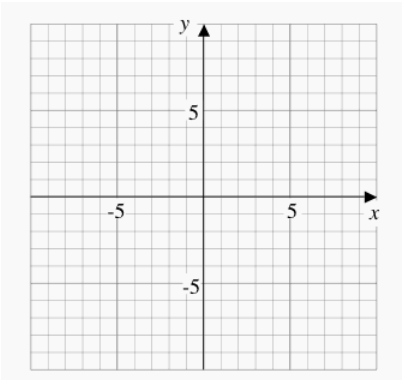


Fig.2 Gráfico do 2º relatório

a) Agora, utilizando o gráfico, encontre as funções na forma algébrica que representa as retas nos seguintes intervalos:

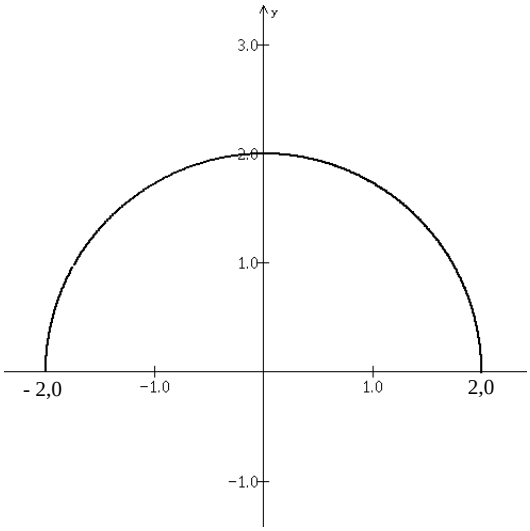
- Entre, $-3 \le x \le 0$ $f(x) =$

- Entre, $0 \le x \le 3$ $f(x) =$

b) Após feito os exercícios anteriores, podemos observar uma figura geométrica. Como ela se chama?_____. Agora calcule sua respectiva área utilizando a fórmula do cálculo da área deste polígono. A = _____.

2) Dado o gráfico abaixo, qual figura é possível notar?_____.

Então calcule sua respectiva área utilizando a fórmula para o cálculo da área deste polígono. A = _____.



3) Sabendo que o cálculo da integral definida em um determinado intervalo representa a área da figura neste intervalo, utilize este conceito para calcular a área das figuras dos exercícios 1 e 2.

Dicas:

-Para o exercício 1 utilize as 2 equações encontradas para calcular a integral nos intervalos destas. Depois some os resultados delas.

-Para o exercício 2 utilize a seguinte equação: $x^2 + y^2 = 4$. Lembre-se que é necessário isolar uma das variáveis para calcular a integral em relação a ela.

REFERÊNCIAS

[1] M.H.C. Soares de Mello, J.C.C.B. Soares de Mello, A.J.S. Fernandes, "Mudanças no ensino de Cálculo I: Histórico e Perspectivas", Anais do XXIX Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia (COBENGE), 2001, Porto Alegre - RS.

[2] G. R. Fábio, "Registros de Representação Semiótica Envolvendo Funções do Primeiro Grau (trabalho de conclusão de curso)," in *Plastics*, 2nd ed. vol. 3, J. Peters, Ed. New York: McGraw-Hill, 1964, pp. 15–64.

[3] L. B. João e L. Jonas, "O Uso do Computador no Ensino da Matemática na Graduação" (livro). Belmont, CA: Wadsworth, 1993, pp. 123–135.

O Engenheiro e a Sociedade

Lucas Paduan Folchito
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
lucaspaduan@hotmail.com

Elias Kallás
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
ely@inatel.br

***Resumo*— O trabalho ora proposto quer estabelecer uma relação de causa e efeito entre a estratégia de formação acadêmica do engenheiro do INATEL e a sua prática efetiva no mercado de trabalho como agente de mudança social.**

***Palavras chave*— Atividades complementares, colaboradores, plano de negócios, sócios.**

I. Introdução

O pressuposto desse trabalho é de que deve haver uma consistência entre formação geral, formação técnica e prática profissional do engenheiro refletida nos resultados de sua atuação, seja como profissional independente, seja como profissional ligado a uma empresa do setor de sua especialização.

Assume-se a priori que o acento da formação acadêmica em engenharia do INATEL se identifica com as demandas do mercado e que a sua estratégia é a de formar um engenheiro empreendedor que revele essa competência desenvolvendo o seu próprio negócio ou atuando nas grandes organizações empresariais com uma atitude empreendedora (intra-empreendedorismo).

A base de dados para exame dessa questão foi um levantamento dos planos de negócio apresentados à Incubadora de Empresas do INATEL, nos últimos cinco anos e o estabelecimento de um critério de análise do qual pudesse resultar a identificação de elementos que sustentassem o pressuposto contido no mote institucional deste Instituto Nacional de Telecomunicações: o do compromisso com a formação do Homem para a engenharia. Um posicionamento acadêmico e institucional que sugere, claramente, não apenas o compromisso com a melhor formação técnica possível do engenheiro, mas, também, com a sua formação humanística.

Em outras palavras, um profissional de acento empreendedor, sim, mas sensível aos desafios sociais que envolvem a realidade de um país em desenvolvimento, que vê na tecnologia de comunicação e informação (TCI) um instrumento indispensável para o resgate de suas desigualdades preservadas, todavia, todas as condições de sustentabilidade do seu do seu negócio, inclusive as de natureza econômico-financeiras.

Na análise dos dados e informações coletadas foram utilizadas técnicas correntes de análise contábil, num grau de complexidade ajustado às possibilidades analíticas do orientando e do orientador que, mais do que buscar a segurança de suas informações no rigor técnico de análises altamente sofisticadas e profissionalizadas, se propuseram tão somente a sinalizar, com o maior critério possível, pistas que podem conduzir a investigação acadêmica e a pesquisa metódica para áreas que ainda encobrem aspectos altamente desafiantes da gestão de empresas de base tecnológicas, ditas do conhecimento e de caráter eminentemente inovador.

A expectativa aqui é a de que, no limite, se possa pelo menos colocar em discussão o conteúdo programático dos projetos pedagógicos dos cursos oferecidos pelo INATEL, face às exigências da chamada nova economia, ou economia da era da globalização. De outro lado – e não poderia ser diferente - o animo deste trabalho está diretamente relacionado com o momento socioeconômico e político da sociedade brasileira, chamada a refletir sobre as exigências de natureza ética, no ambiente dos negócios de Estado e do setor privado, impostas pelas demandas das sociedades democráticas.

II. Um olhar crítico sobre As Grades Curriculares de Formação do Engenheiro

A. Disciplinas dos Cursos de Engenharia do INATEL

A primeira tarefa imposta à elaboração deste artigo foi a de levantar e analisar as grades curriculares atuais e anteriores dos cursos de engenharia INATEL, com o propósito de determinar a carga horária total de cada curso e de identificar nessas grades as disciplinas focadas na formação técnica e na formação geral do engenheiro, com as suas respectivas cargas horárias para, a partir daí, estabelecer uma primeira aproximação de balanceamento do esforço acadêmico, despendido nessas duas grandes áreas da formação profissional em engenharia.

A pesquisa mostrou que a distribuição da carga horária dos cursos difere entre si e que no decorrer do tempo, as alterações curriculares privilegiaram conteúdos voltados para a eficácia gerencial do negócio, que se expandiram a uma taxa crescente, ao longo de toda a primeira década do séc. XXI, a uma razão

de 3,5 vezes, ou seja, a carga horária para esses conteúdos evoluiu de uma carga horária semestral de 120 horas para 520 horas semestrais**.**

Esclareça-se, também, e desde já, que na determinação da carga horária da formação geral estabeleceu-se o critério de distinguir disciplinas de formação geral focadas no desempenho funcional do engenheiro, enquanto comprometido com os resultados operacionais do negócio daquelas focadas, também, no seu desempenho funcional, mas, voltadas para o compromisso que envolve todo e qualquer negócio com as exigências de natureza ética, impostas pela sociedade, algo que poderia estar contido no escopo de uma disciplina voltada para a governança corporativa.

O objetivo, portanto, foi o de estabelecer a priori e com mais clareza a distinção entre disciplinas de formação geral, voltadas para a busca da eficácia gerencial, entendida como sustentabilidade dos negócios de TCI, no tempo e no espaço e as voltadas para a dimensão humanística do engenheiro.

Assim, foram construídos dois indicadores:

- Um focado na atuação do engenheiro como empreendedor de base tecnológica, revelada nos planos de negócio submetidos à Incubadora do INATEL.
- Outro, focado na sua formação humanística, para atuar como agente de transformação social, dentro de uma determinada realidade social.

TABELA I
CARGA HORÁRIA DAS GRADES CURRICULARES.

CURSO	Engenharia Elétrica (2000)	Engenharia Elétrica (2004)	Engenharia Elétrica (2011)	Engenharia Telecomunicações	Engenharia Computação	Engenharia Biomédica	Engenharia Controle e Automação
Numero de matérias	72	69	55	55	55	63	55
Carga Horaria Formação Geral (Horas)	165	150	520	520	520	520	520
Carga Horária Formação Tecnica (Horas)	4045	3835	3360	3440	3320	3460	3440
Carga Horária Total (Horas)	4210	3985	3880	3960	3840	3980	3960
Porcentagem Formação Geral	03, 919%	03, 76%	13, 4%	13,13%	13, 54%	13, 06%	13,13%

B. Atividades Complementares

As Atividades Complementares (AC) são atividades obrigatórias que também fazem parte dos currículos do INATEL (com exceção dos currículos dos anos de 2000 e 2004) e foram planejadas, realizadas e avaliadas pelo NAC (Núcleo de Atividades Complementares).

Estas atividades, de acordo com o "Regulamento das Atividades Curriculares Complementares dos Cursos de Graduação do INATEL", têm como objetivo o aperfeiçoamento da formação profissional dos alunos e o incremento do grau de interdisciplinaridade na formação acadêmica dos mesmos, privilegiando três dimensões formativas dos alunos: direção técnico cientifica**,** gerencial e comportamental, todas como se percebe enfatizando o desempenho técnico e gerencial do engenheiro, com uma contribuição mais enfática a sua formação humanística, no sétimo período de Atividades Complementares, quando a ênfase recai sobre questões de meio ambiente e de responsabilidade social, como demonstrado na tabela 2, que se segue.

TABELA 2
Disciplinas de Formação Geral Constantes do Núcleo de Atividades Complementares do INATEL

EIXO TEMÁTICO	PERÍODO	PROGRAMAS / ATIVIDADES
ADEQUAÇÃO AO ENSINO SUPERIOR	1.º	Programa 1 - Nivelamento de Matemática e Iniciação à Eletrônica e Computação Programa 2 – Desenvolvimento Comportamental do Ingressante no Ensino Superior
	2.º	Programa 3 – Desenvolvimento Comportamental do Ingressante no Ensino Superior Programa 4 – Treinamento em Excel
DESENVOLVIMENTO PESSOAL	3.	Programa 5 - Relações Humanas, Processos Criativos (Projeto Desafio)
	4.º	Programa 6 - Marketing Pessoal, Comunicação. Programa 7 – Laboratório de Matlab
DESENVOLVIMENTO PROFISSIONAL	5.º	Programa 8 – Plano de Negócios.
	6.º	Programa 9 – Gestão de uma Empresa Real.

EIXO TEMÁTICO	PERÍODO	PROGRAMAS / ATIVIDADES
RESPONSABILIDADE SÓCIO-AMBIENTAL	7.º	Programa 10 – Gestão Ambiental, Responsabilidade Social. Programa 11 - Planejamento de Carreira
DESENVOLVIMENTO DE NEGÓCIOS	8.º	Programa 12 – Gestão de Projetos, Gestão de Empresas, Tecnologias Emergentes
ESTÁGIO CURRICULAR	9.º	Estágio Curricular Supervisionado
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	10.º	Trabalho de Conclusão de Curso

A distribuição das disciplinas do Programa de Atividades Complementares do INATEL refletida na Tabela 2 acima revela de pronto, a ênfase que essa programação coloca nas disciplinas voltadas para a formação profissional do engenheiro do INATEL, enquanto protagonista no processo de fortalecimento dos negócios de TCI, fato atestado pelo sucesso dos mesmos nesse segmento de mercado.

A cada período, são dedicadas 60 horas para as Atividades Complementares, distribuídas de uma forma que atesta as enormes possibilidades de uma reestruturação programática que equalize as ênfases entre formação gerencial para negócio e formação humanística, especialmente quando se faz uma leitura mais crítica dos exercícios aplicados aos alunos, no ambiente das salas de aulas, sobre elaboração de planos de negócios que, em linhas gerais, prenunciam as constatações feitas mais adiante, através da análise dos exercícios sobre elaboração de planos de negócios.

A consequência mais palpável do desequilíbrio refletido na Tabela 3, que se segue, entre disciplinas de formação do engenheiro para o ambiente dos negócios e de sua formação humanística, projeta-se nesses exercícios que deixam revelar, desde logo, desequilíbrio na distribuição da renda entre os empreendedores de base tecnológica e a força de trabalho desses supostos empreendimentos.

TABELA 3
CARGA HORÁRIA DE FORMAÇÃO GERAL E PROFISSIONAL
BASEADA NAS ATIVIDADES COMPLEMENTARES

Período	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º
Carga Horária Formação Humanística (Horas)	0 hora	0 hora	0 hora	0 hora	0 hora	0 hora	60 horas	0 hora
Carga Horária Formação Gerencial (Horas)	60 horas	60 horas	60 horas	60 horas	60 horas	60 horas	0 hora	60 horas
Carga Horária Total (Horas)	60 horas	60 horas	60 horas	60 horas	60 horas	60 horas	60 horas	60 horas
Porcentagem Carga Horária Formação Geral	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%

Nesses exercícios, os relatórios financeiros mostram que as rubricas de salários, encargos sociais, benefícios diretos e indiretos e gastos com treinamento e desenvolvimento, que remuneram a força de trabalho, medidas em moeda corrente, estão muito distanciadas das rubricas que remuneram os sócios proprietários dessas empresas fictícias, através das rubricas de retiradas mensais (pró-labore) e lucros auferidos nos negócios.

A tabela 4 e a figura 1 que se seguem demonstram, no seu conjunto que esses exercícios configuram uma economia empresarial, de base empírica, típica do ambiente industrial da virada século XIX para o século XX, que ainda distribuem mal a renda, concentrando lucro e capital nas mãos de seus sócios proprietários. Empreendimentos bem diferentes, portanto, daqueles ditos de base tecnológica, pré-figurados nos campi das universidades, cujo maior input é o conhecimento científico e que abrem o seu capital financeiro à participação de seus colaboradores.

TABELA 4
PLANOS DE NEGÓCIOS DAS ATIVIDADES COMPLEMENTARES

Empresa	Remuneração e Benefícios Pagos a Funcionários	Pró-Labore pago e Lucros distribuídos a sócios-proprietários
01	R$ 97.280,00	R$ 92.160,00
02	R$ 185.600,00	R$ 57.600,00
03	R$ 116.854,00	R$ 115.200,00
04	R$ 64.600,00	R$ 57.600,00
05	R$ 99.300,00	R$ 72.000,00
06	R$ 0,00	R$ 28.800,00
07	R$ 40.480,00	R$ 43.200,00
08	R$ 58.940,00	R$ 100.800,00

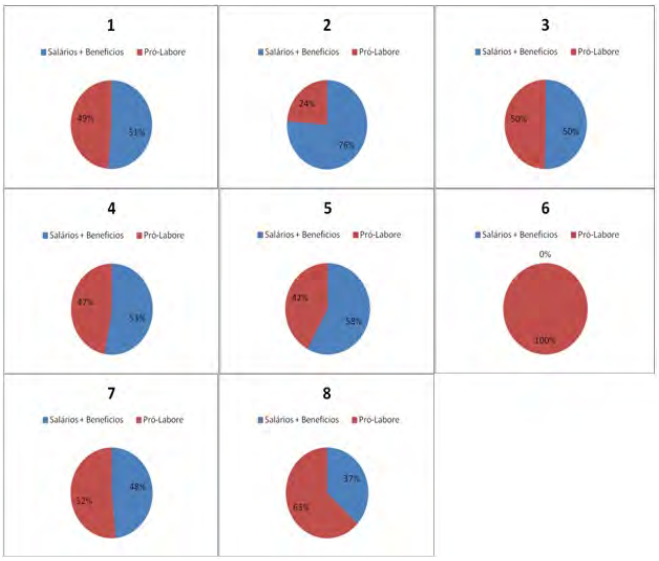


Fig. 1. Gráficos dos Planos de Negócios relacionados às Atividades Complementares.

III. Reflexos na Formação do Empreendedor de Base Tecnológica

A. Núcleo de Empreendedorismo

O objetivo aqui foi o de fazer avançar a análise para o mundo real dos negócios, buscando no movimento do empreendedorismo de base tecnológica do INATEL os reflexos de uma estratégia de formação geral do engenheiro, que tem se revelado, de uma forma consistente, bastante eficaz na incubação de projetos de empresas que, uma vez graduadas se revelam, também, competitivas e sustentáveis no mercado contribuindo, além do que, para a sustentabilidade do próprio Polo Tecnológico de Santa Rita do Sapucaí.

Mas, como sugerido na análise dos exercícios de elaboração de planos de negócios, aqui surge uma questão de fundo, relacionada com a relevância acadêmica atribuída a esses exercícios e aos Planos de Negócios propriamente ditos, da Incubadora do INATEL.

Quanto aos exercícios em Atividades Acadêmicas Complementares, eles dão algumas informações pertinentes a aspectos das operações financeiras, que suplementam os indicadores daquele primeiro nível de análise, mas o seu valor informativo está no fato de permitir uma avaliação do conteúdo das disciplinas de formação geral que suplementam a grade curricular do INATEL.

Os Planos de Negócios da Incubadora apontam, objetivamente, para a questão das relações percentuais entre ganhos dos funcionários das empresas e ganhos dos seus proprietários, revelados nas rubricas de salários, encargos sociais, benefícios diretos e indiretos e gastos com treinamento e desenvolvimento para o pessoal assalariado.

Esses últimos deixam transparecer uma preocupação maior com o desempenho do engenheiro, em relação ao gerenciamento focado na eficácia operacional da empresa e outra, bem mais discreta, em relação a sua formação humanista que, por pressuposto, deve prepará-lo para exercer

um papel crítico, em relação a um sistema produtivo que tem que distribuir melhor a renda entre os seus grandes agentes, os detentores do capital e a força do trabalho.

Balizadas por essas duas vertentes do processo de gerenciamento de uma empresa de base tecnológica, quais sejam de um lado a eficácia operacional sustentada em conteúdos acadêmicos clássicos, de geração e acumulação de resultados e de outro a responsabilidade social do empreendimento, referenciada na melhor distribuição da renda entre os atores chave do processo, as análises e quadros demonstrativos que se seguem mostram com alguma margem de segurança uma disparidade apreciável entre essas duas variáveis e permitem desde já uma conclusão em relação ao objetivo do projeto: o de demonstrar os resultados da prática acadêmica do INATEL, em face de sua missão e aos seus objetivos estratégicos.

Revelam-se aí, de um lado, resultados consistentes, em termos de uma prática gerencial focada no desenvolvimento dos negócios e na sustentabilidade dos empreendimentos, fato constatável na higidez do próprio Arranjo Produtivo Local, APL de Santa Rita do Sapucaí, formado em boa parte com empresas graduadas pela Incubadora do INATEL. De outro, questões relacionadas à formação geral do engenheiro, propondo uma reflexão acadêmica sobre as possibilidades efetivas de se ampliar o cardápio de disciplinas orientadas para a formação humanística do engenheiro.

Todavia, o pressuposto de uma ação nesse sentido é de que a comunidade acadêmica se defina por uma de duas alternativas, para os seus programas de incubação: ou formar empresas típicas da era da informação, cujo insumo básico seja o conhecimento científico, ou formar empresas de base tecnológica, de nível intermediário, ainda mais próximas das empresas da era da economia industrial.

SALÁRIOS E BENEFICIOS PAGOS A FUNCIONÁRIOS VERSUS PRÓ-LABORE PAGOS E LUCROS DISTRIBUÍDOS A SÓCIOS PROPRIETÁRIOS, DE EMPRESAS GRADUADAS PELA INCUBADORA DO INATEL.

EMPRESA	Remuneração e benefícios pagos a funcionários	Pró-labore pago e lucros distribuídos a sócio proprietários
A	R$ 125.679,96	R$ 84.300,57
B	R$ 203.241,96	R$ 259.451,45
C	R$ 208.478,00	R$ 218.143,33
D	R$ 182.216,04	R$ 123.981,37
E	R$ 90.096,00	R$ 510.747,99
F	R$ 139.773,60	R$ 107.895,49
G	R$ 53.763,96	R$ 246.028,90
H	R$ 99.266,64	R$ 254.660,02
I	R$ 11.036,00	R$ 125.192,00
J	R$ 7.062,50	R$ 57.600,00
K	R$ 42.080,00	R$ 241.076,64
L	R$ 102.800,00	R$ 321.725,65
M	R$ 30.194,00	R$ 86.400,00
N	R$ 11.900,00	R$ 357.099,60
O	R$ 176.580,00	R$ 153.462,48
P	R$ 89.640,00	R$ 603.646,71
Q	R$ 92.100,00	R$ 99.473,99
R	R$ 0.00	R$ 79.819,31
S	R$ 1.828,00	R$ 1.895,82
T	R$ 48.720,00	R$ 57.600,00
U	R$ 54.520,00	R$ 381.825,18
V	R$ 175.760,00	R$ 270.407,70
W	R$ 101.000,00	R$ 34.324,13
X	R$ 0,00	R$ 54.514,32
Y	R$ 0,00	R$ 170.036,58
Z	R$ 29.646,00	-R$ 103.152,12

TABELA 5

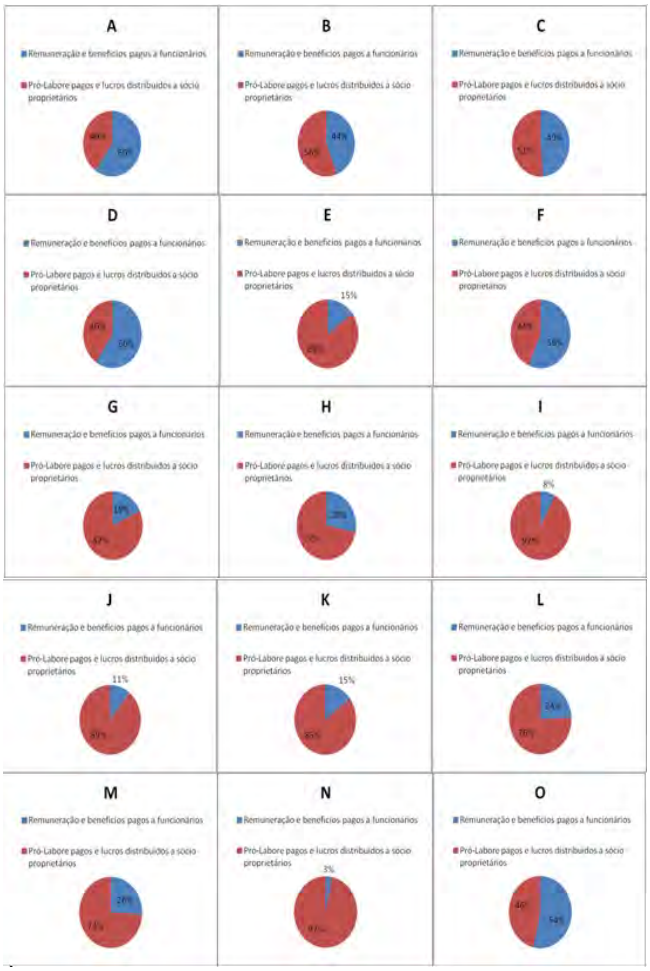


Fig. 2. Gráfico dos Planos de Negócios de Empresas Graduadas no Núcleo de Empreendedorismo do INATEL.

Analisando os gráficos obtidos a partir das tabelas retiradas dos planos de negócios das empresas incubadas, nota-se um alto diferencial distributivo quanto ao seu aspecto de renda. A distribuição é desigual em praticamente todas as empresas analisadas. O ideal seria uma distribuição melhor entre os sócios proprietários do negócio e os seus colaboradores.

Essa análise de pagamentos foi realizada tomando-se em conta a participação anual dos sócios nos resultados da empresa, através de suas retiradas mensais na forma de pró-labore, somadas a sua participação no lucro líquido da empresa, apurado nos relatórios de fechamento do exercício fiscal. Esse montante é, então, comparado o total pago aos colaboradores da empresa, a título de salários, encargos sociais, benefícios diretos e indiretos, incluídos aí os gastos com o seu treinamento funcional e o seu desenvolvimento pessoal que o qualificam, de uma maneira ou de outra, para disputar melhores oportunidades de trabalho no mercado. Essa metodologia se expressa nas seguintes fórmulas de cálculo:

- Pagamento total dos sócios = Retiradas Mensais a Título de Pró-Labore + Lucro Liquido dos sócios.
- Pagamento total dos funcionários = Salários + ES (Encargos Sociais) + BE (Benefícios Espontâneos)

IV. Conclusão

Os autores deste "paper" optaram por trilhar o acidentado terreno das relações do capital com a força do trabalho, nas economias de todos os tempos e lugares, cientes de que se tornou oportuno colocar em debate, no âmbito das disciplinas de formação geral do engenheiro, o desafio do recrutamento, da seleção, da admissão e da preservação de capital humano, para as chamadas empresas do conhecimento, típicas da economia do século XXI.

Essa opção resulta da sua convicção de que para a universidade trata-se de assumir a intransferível responsabilidade de sustentar a permanência desse debate, no novo ambiente socioeconômico do mundo globalizado, à luz de novas referências acadêmicas. Uma delas, seguramente, a de buscar outras formas de relacionamento entre detentores de capital e detentores de conhecimento, na nova economia.

A participação da força de trabalho nos lucros da empresa, com destinação pré-fixada de sua incorporação à estrutura do seu capital social transformando, de forma gradual e permanente, assalariados em sócios capitalistas seria uma das possibilidades.

Implicaria, sim, numa reestruturação geral das leis do trabalho e do direito empresarial. Uma mudança cultural de grande alcance e de longa duração, indiscutivelmente. Mas, cujo início pode-se dar aqui e agora, em nossas salas de aula.

Referências

[1] KENNEDY, Paul. "*Preparando para o século XXI*", Editora Campos, 1993.
[2] DRUCKER, Peter. "*O líder do futuro*", Editora Futura, 1996.
[3] GUEDES, Mauricio. FORMICA, Piero. "*A economia dos parques tecnológicos*", Editora ANPROTEC, Brasília 1997.
[4] CHOWDURY, S. "*Administração no século XXI. O estilo de gerenciar hoje e no futuro*." Pearson Education, 2003.
[5] VERALDI, Ana Claudia Pereira da Silva. "*Os desafios da formação empreendedora para a gestão dos negócios em ambiente de crise*", 2010, Instituto Nacional de Telecomunicações.

Lucas Paduan Folchito nasceu em Santa Rita do Sapucaí, MG, em 10 de maio de 1990. Formou-se como técnico em eletrônica com ênfase em telecomunicações em 2007 na Escola Técnica de Eletrônica ETE "FMC" e atualmente cursa o 9º Período de Engenharia Elétrica no Instituto Nacional de Telecomunicações INATEL.

Elias Kallás nasceu em Santa Rita do Sapucaí, MG, em 16 de junho de 1935. É sociólogo, formado pela Universidade Federal de Minas Gerais, pós-graduado em Sociologia do Trabalho pela Fundação Getúlio Vargas do Rio de Janeiro e em Sociologia das Relações Internacionais pela Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-RIO. É Mestre em Ciências da Linguagem, pela Universidade do Vale do Sapucaí, de Pouso Alegre.

Aplicação da Placa WaveRunner em uma Plataforma de Teste para Sensoriamento Espectral Cooperativo Centralizado

Danielle de Carvalho Marchetti
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
daniellec@gee.inatel.br

Dayan Adionel Guimarães
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
dayan@inatel.br

***Resumo*— Este artigo descreve uma plataforma de teste implementada com a placa WaveRunner e o aplicativo VisSim/Comm com o propósito de sensoriamento espectral. A plataforma adota a detecção de energia em um esquema de sensoriamento cooperativo centralizado com fusão de dados e até oito rádios cognitivos. Demonstra-se com esse protótipo a factibilidade da implementação prática do sensoriamento cooperativo em canal com desvanecimento Rayleigh para aplicações de rádio cognitivo com o transceptor WaveRunner, podendo ser ele modificado para operar com outras técnicas diferentes da detecção de energia.**

***Palavras chave*— Detecção de energia, rádio cognitivo, sensoriamento espectral, VisSim/Comm, WaveRunner.**

I. Introdução

A. Contextualização

Na política de alocação fixa o espectro de radiofrequências é um recurso que tem seu uso licenciado por órgãos reguladores do Governo, e para cada serviço é destinada uma banda de frequência. No Brasil . No Brasil, a tarefa de alocação e administração do uso do espectro é realizada pela Anatel (Agencia Nacional de Telecomunicações). Contudo, diante do sucesso e da ampla necessidade de não só alocar novos serviços em comunicações sem fio, mas também quanto à necessidade de aumentar a banda de serviços já existentes, a demanda pelo espectro de radiofrequência cresceu muito, tornando esse recurso cada vez mais escasso. Devido à grande necessidade de alocar novos serviços em uma faixa de frequência escassa, Entretanto, pesquisas foram realizadas e notou-se que grande parte do espectro licenciado é subutilizado em determinados períodos de tempo [1]. Isto implica na existência de oportunidades de uso do espectro licenciado que podem ser exploradas por dispositivos que sejam capazes de acessá-las de forma adaptativa e dinâmica. Essa capacidade é em grande parte baseada no conceito de radio definido por software (SDR, *software defined radio*), dispositivo de comunicação sem fio que possui parte de suas funções implementadas por software. A partir desta ideia surge o conceito de rádio cognitivo (RC) [2], uma tecnologia que permite o compartilhamento do espectro entre usuários primários (usuários que possuem licença de operação) e usuários secundários (aqueles que não possuem licença de operação). Uma das principais tarefas de um RC é a capacidade de sensoriar o espectro de forma a detectar as oportunidades de utilização, as quais podem ser definidas como as faixas de frequência que não estão sendo utilizadas pelo usuário primário em um dado momento e em uma dada região observada. O sensoriamento espectral é feito de forma a encontrar lacunas disponíveis, ou seja, quando o espectro está fora de uso. Quando é notada uma oportunidade, o rádio cognitivo logo se prepara para realizar a transmissão dentro desta faixa de frequência livre. Caso o usuário primário volte a utilizar aquela faixa de frequências, o usuário secundário interrompe sua transmissão e passa a operar em outra lacuna disponível, a fim de não causar interferências na rede primária.

B. Pesquisas relacionadas e contribuições do artigo

O sensoriamento espectral pode ser realizado por meio de várias técnicas, dentre elas a detecção de energia, a detecção por filtro casado, a detecção por propriedades cicloestacionárias do sinal e a detecção por autovalores [3]. Independente da técnica adotada, o sensoriamento espectral pode ser classificado como não cooperativo ou cooperativo [4]. No primeiro o sensoriamento é realizado de forma independente por cada RC. No segundo os RCs colaboram entre si no processo de decisão sobre o estado de ocupação da banda sensoriada. O sensoriamento cooperativo pode ser centralizado ou distribuído. No sensoriamento centralizado as informações sobre o estado de ocupação do canal obtidas por cada RC são enviadas a um centro de fusão (CF), onde a decisão final é tomada. Tais informações podem ser os valores de amostras colhidas em cada RC (processo denominado fusão de dados) ou decisões individuais de cada RC (processo chamado de fusão de decisões), as quais são combinadas no

Manuscrito recebido em 28 de fevereiro de 2013; revisado em 01 de março de 2013.

D. C. Marchetti (danic.marchetti@gmail.com) e D. A. Guimarães (dayan@inatel.br) são do Instituto Nacional de Telecomunicações, Inatel. Av. João de Camargo, 510, Santa Rita do Sapucaí, MG, Brasil, 37540-000.

CF. No sensoriamento distribuído as informações sobre o canal sensoriado são compartilhadas entre os RCs sob cooperação que, de forma iterativa, decidem em conjunto sobre o estado de ocupação do canal sensoriado.

Várias plataformas de testes (*testbeds*) para sensoriamento espectral já foram implementadas e reportadas na literatura, a maioria delas utilizando a USRP (*Universal Software Radio Peripheral*), uma plataforma de SDR desenvolvida pela *Ettus Research* (http://www.ettus.com/) [5]-[8]. Neste artigo propõe-se uma plataforma alternativa de testes de sensoriamento espectral cooperativo centralizado com fusão de dados, utilizando a placa *WaveRunner Plus*, de fabricação da *Red River, Inc*. (EUA). Esta placa consiste de um transceptor de até oito canais independentes, permitindo que o sensoriamento cooperativo seja implementado com até oito RCs. A placa é controlada e configurada por computador, onde é conectada por meio de uma interface PCI. As funcionalidades de sensoriamento são todas implementadas no ambiente do *software* de simulação de sistemas de comunicação *VisSim/Comm* (http://www.vissim.com/products/vissim/comm .html), desenvolvido pela *Eriteck, Inc*. em parceria com a *Visual Solutions, Inc*.

O restante do artigo está organizado da seguinte maneira: na Seção II descreve-se a placa *WaveRunner*, assim como suas principais funcionalidades e formas de configuração. Na Seção III descreve-se como a placa *WaveRunner* é aplicada ao cenário de sensoriamento espectral centralizado. A Seção III conclui o trabalho e registra algumas oportunidades para continuidade das pesquisas.

II. A Placa Transceptora WaveRunner Plus

Nesta seção descreve-se a placa *WaveRunner Plus* [9] e seu aplicativo de configuração, o *WaveFormer II*. Na seção seguinte é explicado como esta placa pode ser utilizada para construção de uma plataforma de teste (*testbed*) de um sistema de sensoriamento espectral cooperativo.

A placa *WaveRunner Plus* é um transceptor capaz de ser configurado para operar com até oito canais, sendo controlado através de uma interface com o computador. Além de um aplicativo de configuração específico (*WaveFormer*), possui interface com o software de simulação de sistemas de comunicação *VisSim/Comm*, de forma que os sinais de entrada e saída da placa possam ser gerados e processados por meio desta ferramenta.

A. Diagrama de blocos e principais funcionalidades

A Figura 1 mostra o diagrama de blocos [9] da placa *WaveRunner*. Na entrada de recepção (RX IN) o sinal analógico é encaminhado através de um atenuador variável que controla digitalmente o nível do sinal a ser processado, proporcionando um controle preciso de cerca de 20 dB. Após o processo de atenuação tem-se um amplificador de baixo ruído (LNA, *low noise amplifier*) que promove uma amplificação eficiente em termos da geração de baixo nível de ruído interno, ou seja, opera com baixa figura de ruído. Uma vez amplificado, o sinal passa por um processo de filtragem para rejeitar as interferências e evitar *aliasing* antes do processo de conversão analógico-digital (ADC, *analog-to-digital conversion*). O filtro escolhido depende da configuração de fábrica do hardware, que pode ser em banda base ou banda passante. A plataforma de teste desenvolvida utiliza a placa configurada para operação em banda base, a qual ultiliza um filtro *Chebyshev* (passa baixa) com banda de passagem de aproximadamente 40 MHz. Posteriormente ao processo de filtragem tem-se um conversor ADC e dois QPDC (*quad programmable digital downconverter*). Juntos, o ADC e os QPDCs são responsáveis pela digitalização do sinal e divisão da banda total em sub-bandas de um a oito canais configuráveis por software. O controlador executa todas as funções de comando e controle locais, ao mesmo tempo atuando como uma interface para o computador.

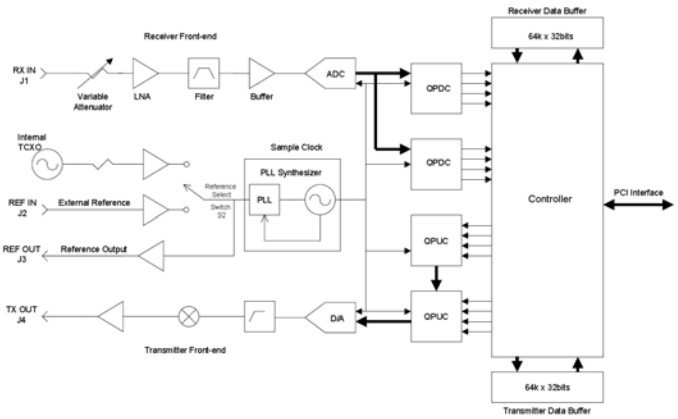


Fig. 1. Diagrama de blocos da placa *WaveRunner*.

Já na transmissão, as amostras provindas da interface PCI são armazenadas em um *buffer* e transferidas para um dos oitos canais disponíveis nos QPDCs. As saídas dos oito canais são somadas para formar um único fluxo de amostras e, após este processo, essas amostras alimentam um conversor digital-analógico (D/A ou DAC, *digital-to-analog converter*) a fim de gerar um sinal de saída analógico. Em seguida o sinal passa por um processo de filtragem passa baixa (operando em banda base), é amplificado e dirigido à saída da placa via conector TX OUT.

B. Aplicativo de configuração WaveFormer II

O *WaveFormer II* é um aplicativo proprietário da *Red River, Inc*, desenvolvido na plataforma *Microsoft Excel* e capaz de gerar arquivos de configuração da placa *WaveRunner*. A ferramenta de configuração gera um conjunto de ficheiros contendo configurações e um mapa de alocação de memória completo que será aplicado à placa *WaveRunner*. Os arquivos de cofiguração são gerados sob solicitação pelo setor de Suporte da *Red River, Inc*. Em raras exceções (como no caso do Inatel), tal aplicativo é disponibilizado ao usuário para que ele próprio possa efetuar a configuração da placa. Ressalta-se, contudo, que a operação desse aplicativo é bastante complexa.

A Figura 2 mostra a imagem da tela principal do *WaveFormer II*, onde cada bloco corresponde a uma parte do hardware da placa *WaveRunner*. Vários desses blocos podem ser expandidos em vários sub-blocos que, por sua vez, têm parâmetros específicos de configuração.

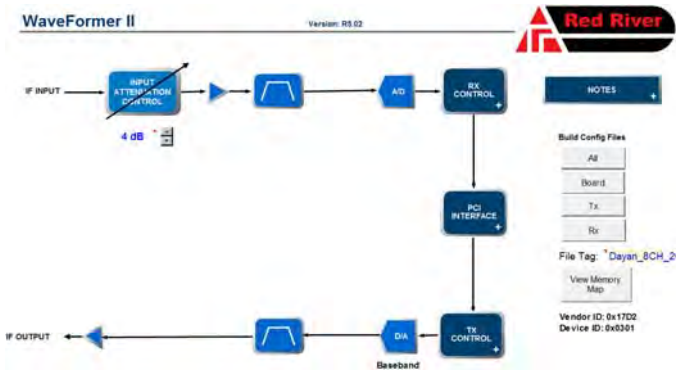


Fig. 2. Imagem da tela principal do aplicativo *WaveFormer II*.

III. Adaptação da placa WaveRunner Plus ao Cenário de Sensoriamento Espectral Cooperativo

Em um cenário real de sensoriamento cooperativo centralizado com fusão de dados têm-se como principais elementos: transmissores primários, canal, rádios cognitivos, canal de controle e o centro de fusão. Como não se dispõe do hardware capaz de compor todos os elementos necessários a um cenário de sensoriamento real, a plataforma de testes (*test-bed*) descrita neste artigo utiliza a placa *WaveRunner* como ilustrado na Figura 3, onde está implementado o sensoriamento com quatro RCs sob cooperação e um transmissor primário.

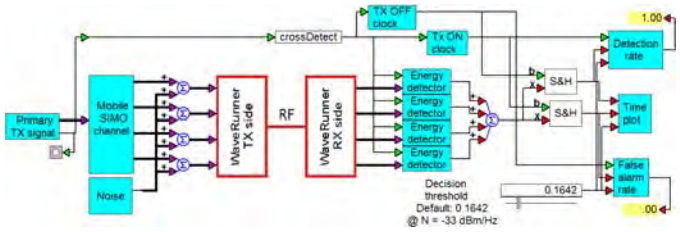


Fig. 3. Sensoriamento espectral cooperativo por detecção de energia no aplicativo *VisSim/Comm* e com a placa *WaveRunner*.

Parte das funcionalidades do sistema é implementada no computador através do *VisSim/Comm*. Na Figura 3 a placa *WaveRunner* está destacada ao centro do diagrama, onde se pode notar a presença de quatro entradas e quatro saídas, as quais representam a interface que o computador (*software*) faz com a placa. A conexão entre a etapa de transmissão (*TX side*) e a etapa de recepção (*RX side*) da placa representa uma ligação do tipo *loopback* entre os conectores de saída e de entrada de sinal (0,1 a 40 MHz) da placa.

Inicialmente um sinal primário aleatório é gerado pelo *VisSim/Comm*, assim como o efeito do canal entre o transmissor primário e os quatro RCs. O ruído térmico de entrada dos RCs é simulado por meio da geração, também no *VisSim/Comm*, de um ruído Gaussiano branco de média nula e variância (potência) ajustável. Então, o que se aplica como entrada da placa são os sinais sob desvanecimento, como se fossem aqueles presentes nas antenas de recepção dos quatro rádios cognitivos, sinais estes posteriormente contaminados com o ruído térmico gerado em cada RC. Em seguida a placa *WaveRunner* faz todo o processamento de sinal que é configurado através do aplicativo *WaveFormer*, a fim de emular os processamentos realizados nos vários rádios cognitivos. Após percorrer todo o caminho de TX/RX, o sinal na saída da placa é transformado em banda base e retorna para o *VisSim/Comm*. No *VisSim/Comm* os quatro sinais passam pelo calculo de energia, a qual é comparada com um limiar pré estabelecido e então é tomada a decisão quanto à ocupação do canal.

Nos parágrafos seguintes descreve-se o funcionamento detalhado do sistema. Antes, porém, é pertinente fornecer os parâmetros iniciais (*defaut*) de simulação no ambiente *VisSim/Comm*: *Frequency*: 50000 Hz, *End*: 20 s.

O sinal gerado pelo bloco *Primary TX signal* corresponde a um ruído Gaussiano branco com banda de 25 kHz (metade da frequência de simulação), chaveado por uma onda quadrada com 50% de *duty-cycle*, simulando a presença (estado *on*) e a ausência (estado *off*) do sinal primário na banda sensoriada. Nesse bloco é possível configurar a frequência de chaveamento, o ganho aplicado ao sinal gerado e também é possível manter o sinal permanentemente no estado ligado (*on*). Na configuração default a simulação é executada por 20 segundos, o que significa que o número de vezes que o transmissor primário alterna seu estado dependerá da frequência de chaveamento do mesmo.

O bloco *Mobile SIMO channel* é formado por quatro simuladores de canal com desvanecimentos que atuam sobre o sinal Gaussiano primário, portanto gerando sinais Gaussianos com banda de 25 kHz em suas saídas, mas afetados independentemente pelos correspondentes simuladores de canal. Nesse bloco pode-se configurar a frequência Doppler associada aos simuladores de canal, configurando-se, portanto, a taxa de variação dos desvanecimentos. Pode-se também desconsiderar os efeitos do canal com desvanecimento através de uma opção de *bypass*.

O sinal de saída de cada simulador de canal é somado com um ruído térmico, indicado na figura como *Noise*, que pode ser configurado com o nível de ruído desejado e pode-se também desativar a presença de ruído optando pela opção (*Always OFF*). A inserção de ruído além daquele gerado internamente na placa foi realizada para que não fosse necessário operar com níveis de sinal muito pequenos para controlar a relação sinal-ruído.

Os sinais sob desvanecimento e contaminados com ruído ocupam a mesma banda de 25 kHz (metade da frequência de simulação). De forma a simular os múltiplos canais entre o transmissor primário e cada RC, tais sinais são filtrados internamente na placa *WaveRunner* com filtros passa-baixas de cerca de 10 kHz de banda. Em seguida, após passar pela cadeia de processamento mostrada na Figura 1, tais sinais são

direcionados à saída da placa, transladados para as frequências de 10, 12, 14 e 16 MHz. Tal translação é realizada para que se simulem os quatro caminhos ortogonais (não interferentes) e independentes entre o transmissor primário e os RCs. O sinal de saída então é redirecionado à etapa de entrada da placa (ver Figura 1) em *loopback*. Percorrendo o caminho de recepção da placa, os quatro sinais são reenviados ao software *VisSim/Comm*, onde o restante do processamento é realizado, conforme se segue.

Os blocos *Energy detector* calculam as energias (médias das somas dos quadrados) dos valores das amostras obtidas nas quatro saídas indicadas na Figura 3, os quais são somadas para que o valor de energia resultante seja comparado com um limiar de decisão (*Decision threshold*). Tal limiar é ajustado de acordo com a necessidade da simulação de modo a obter o desempenho necessário do processo de sensoriamento.

O desempenho do sensoriamento é tipicamente avaliado por meio de dois parâmetros importantes, sendo eles a probabilidade de falso alarme, P_{fa}, e a probabilidade de detecção, P_d. A primeira correspondente à probabilidade de se tomar a decisão pelo estado de canal ocupado sendo que o sinal de um usuário primário não está sendo transmitido. A P_d que corresponde à probabilidade de se decidir por um canal ocupado quando se tem de fato um canal ocupado, ou seja, um canal com o sinal de um usuário primário sendo transmitido. Os blocos *Detection rate* e *False alarm rate* são responsáveis por computar e indicar as taxas (estimativas de probabilidade) de detecção e de falso alarme. Tais taxas são estimadas dividindo-se o número de detecções de sinal primário presente (ausente) pelo número de vezes que o transmissor primário esteve no estado *on* (*off*). Os blocos *CrossDetect*, *Tx ON Clock* e *Tx OFF clock* são utilizados para gerar a temporização que indica os instantes em que o transmissor primário está nos respectivos estados. Essa temporização auxilia o processo de amostragem e cálculo da energia nos quatro canais de saída da placa *WaveRunner*.

O bloco *Time Plot* mostra os níveis de energia do sinal recebido, tanto na presença quanto na ausência de sinal primário, bem como o limiar de decisão.

IV. Conclusões

Como resultado de um trabalho de Iniciação Científica, este artigo descreveu uma plataforma de teste implementada com a placa *WaveRunner* e o aplicativo *VisSim/Comm* com o propósito de sensoriamento espectral cooperativo centralizado por detecção de energia e fusão de dados. A plataforma demonstra a factibilidade da implementação prática do sensoriamento cooperativo para aplicações de rádio cognitivo, podendo ser modificada para operar com outras técnicas diferentes da detecção de energia.

Como oportunidades de continuidade das pesquisas podem ser citadas: i) a adaptação da plataforma para que seja utilizado o sensoriamento por autovalores em vez da detecção de energia, ii) a inclusão de *front-end*, amplificador de RF e antenas para a realização de sensoriamento a partir de sinais irradiados remotamente.

Referências

[1] M. A. McHenry, P.A. Tenhula and Dan McCloskey, “Chicago Spectrum Occupancy Measurements & Analysis and a Long-term Studies Proposal”, shared spectrum co. report, November 2005.

[2] J. Mitola, and G. Q. Maguire, “Cognitive radio: making software radios more personal”, IEEE Personal Communications, vol. 6, no. 4, pp. 13-18, 1999.

[3] E. Axell, G. Lues and E. G. Larsson, “Overview of Spectrum Sensing for Cognitive Radio”. In: Proc. of the 2nd Int. Workshop on Cognitive Information Processing, June 2010.

[4] I.F. Akyildiz, B.F. Lo, R. Balakrishnan, “Cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks: a survey”, Physical Communication 4, pp. 40-62, 2010.

[5] Md.-A. Rahman, et al., “Development of Spectrum Sensing System with GNU Radio and USRP to Detect Emergency Radios”, IEICE Technical Report, SR2009-57, October 2010.

[6] M. Dolter, E. Kim, and S. G. Min, “Spectrum Sensing using Software Radios”, Design Document May10-06, Iowa State University, EUA, May 2006.

[7] M. A. Sarijari, et al., “Energy Detection Sensing Based on GNU Radio and USRP: An Analysis Study”, Proceedings of the 2009 IEEE 9th Malaysia International Conference on Communications, Kuala Lumpur Malaysia, December 2009.

[8] P. S. Coutinho, “Detecção de Energia para Rádios Cognitivos Usando GNU radio e USRP2”, Projeto de Graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica/COPPE. Março 2011.

[9] Red River, Inc. Publication No. REF-303-000-R01 - WaveRunner Plus, Channel Surfer, Channel Blaster, Hardware Reference Manual, 2003.

Procedimentos para predição de transmissão do sinal de televisão digital

Maria Emília Gomes Pereira
Instituto Nacional de Telecomunicações
Inatel
mariae@gee.inatel.br

Anderson Fagiani Fraga
Instituto Nacional de Telecomunicações
Inatel
anderson-fagiani@inatel.br

Carlos Augusto Rocha
Instituto Nacional de Telecomunicações
Inatel
caugusto@inatel.br

***Abstract* — Due to the difficulty in mathematical modeling of signal coverage airing digital television, international body ITU-R Recommendation P.1546 defined traces the estimation method of point-spread area for terrestrial services in the frequency range included from 30 MHz to 3 GHz Thus, the criteria used by professionals to estimate radio coverage area follows the Recommendation ITU-R P.1546.**

***Resumo* — Devido à dificuldade na modelagem matemática do sinal de cobertura a ser transmitido da televisão digital, foi definido pelo órgão internacional ITU-R a recomendação P.1546 que traça o método de estimativa de propagação ponto-área para os serviços terrestres compreendidos na faixa de frequência entre 30 MHz à 3 GHz. Com isso, os critérios utilizados pelos profissionais de radiocomunicação para estimativa de área de cobertura segue a Recomendação ITU-R P.1546.**

***Palavras chave*— ITU-R P.1546, Predição e Resolução 583.**

I. Introdução

Um dos maiores desafios encontrados pelos profissionais de radiocomunicação na implantação da televisão digital no Brasil é a estimar e modelar matematicamente a possível área de cobertura do sinal que vai ser transmitido. Este sinal estimado é baseado em modelos empíricos que foram realizados pelo órgão de padronização internacional, o ITU-R. Aqui no Brasil, o CPqD também realizou um trabalho semelhante, porém foi para apresentar algumas considerações técnicas na proposta do *Plano de Distribuição dos Canais de Televisão Digital.*

O modelo de propagação definido pelo órgão internacional ITU-R é a sua recomendação P.1546 que descreve o método de estimativa de propagação ponto-área para os serviços terrestres compreendidos na faixa de frequências entre 30 MHz à 3 GHz. Os resultados foram obtidos, através de medidas em campo nos Estados Unidos e Europa, nas quais as informações são disponibilizadas de forma gráfica. Dessa forma os resultados de interesse que não constam nesta recomendação, deve se fazer uma extrapolação ou interpolação com os resultados apresentados para obter o resultado desejado. O algoritmo de extrapolação ou interpolação é encontrado no próprio escopo da recomendação.

Estes resultados encontrados também foram obtidos em campo, ou seja, de forma empírica. Contudo os critérios para a estimativa da área de cobertura seguiu a Recomendação ITU-R P.1546.

Manuscrito recebido em 7 de abril de 2013; revisado em 25 de marços de 2013.

M. E. Gomes Pereira (mariae@inatel.br), A. F. Fagiani (anderson-fagiani@inatel.br) e C. A. Rocha (caugusto@inatel.br) pertencem ao Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel. Av. João de Camargo, 510 - Santa Rita do Sapucaí - MG - Brasil - 37540-000.

II. Análise da resolução 583, de 27 de março de 2012 da Anatel

A atual Resolução 583, atualização da Resolução 398, considera o estudo de viabilidade técnica do *Plano de Distribuição dos Canais de Televisão Digital*, na qual se faz uma análise da área de cobertura, utilizando os mesmos parâmetros para a definição dos contornos 1, 2 e 3 definidos para TV analógica.

Segundo a Resolução 583, o método de planejamento para análises de viabilidades de inclusão ou alteração de canal de televisão deve seguir as diretrizes constantes na Recomendação ITU-R P.1546.

A. Canalização

Os canais de transmissão podem ser viabilizados na faixa de VHF correspondidos entre 174MHz à 216MHz, e na faixa de UHF correspondidos entre 470MHz à 800MHz. Sendo que as alocações dos canais devem ser feitas prioritariamente na faixa de UHF, deixando a faixa de VHF para uso em estágios mais avançados da fase de transição do analógico para o digital.

Cada canal deve possuir uma largura de banda máxima de 6 MHz e de modo a prevenir as interferências entre as estações de transmissão, frequência central do canal deve ser

deslocada positivamente de 1/7MHz (142,857143kHz) em relação ao centro do canal. Na Tabela I mostra a canalização do sistema de transmissão de televisão para as faixas de VHF e UHF respectivamente. Já as equações expressas em 1 e 2 determinam o calculo da frequência central do canal desejado

TABELA I
CANALIZAÇÃO PARA TRANSMISSÃO DO SINAL DE TELEVISÃO NA FAIXA DE VHF E UHF.

	Canal	Faixa de Frequência (MHz)	Canal	Faixa de Frequência (MHz)
VHF	7	174 – 180	48	674 – 680
	8	180 – 186	49	680 – 686
	9	186 – 192	50	686 – 692
	10	192 – 198	36	602 – 608
	11	198 – 204	38	614 – 620
	12	204 – 210	39	620 – 626
	13	210 – 216	40	626 – 632
UHF	14	470 – 476	41	632 – 638
	15	476 – 482	42	638 – 644
	16	482 – 488	50	686 – 692
	17	488 – 494	51	692 – 698
	18	494 – 500	52	698 – 704
	19	500 – 506	53	704 – 710
	20	506 – 512	54	710 – 716
	21	512 – 518	55	716 – 722
	22	518 – 524	56	722 – 728
	23	524 – 530	57	728 – 734
	24	530 – 536	58	734 – 740
	25	536 – 542	59	740 – 746
	26	542 – 548	60	746 – 752
	27	548 – 554	61	752 – 758
	28	554 – 560	62	758 – 764
	29	560 – 566	63	764 – 770
	30	566 – 572	64	770 – 776
	31	572 – 578	65	776 – 782
	32	578 – 584	66	782 – 788
	33	584 – 590	67	788 – 794
	34	590 – 596	68	794 – 800
	35	596 – 602	60	746 – 752
	36	602 – 608	61	752 – 758
	38	614 – 620	62	758 – 764
	39	620 – 626	63	764 – 770
	40	626 – 632	64	770 – 776
	41	632 – 638	65	776 – 782
	42	638 – 644	66	782 – 788
	43	644 – 650	67	788 – 794
	44	650 – 656	68	794 – 800
	45	656 – 662		
	46	662 – 668		
	47	668 – 674		

$$f_0 = 177 + 6(c - 7) + \frac{1}{7}$$, MHz para faixa de VHF (1)

$$f_0 = 473 + 6(c - 14) + \frac{1}{7}$$, MHz para faixa de UHF (2)

Onde f_0 é a frequência central do canal deslocada de 1/7 MHz, e C é o número do canal desejado.

Dentro da faixa de frequências de UHF, o canal 37 (608 MHz a 614 MHz) é destinado ao serviço de radioastronomia. E a faixa de frequências na qual correspondem os canais 60 ao 69 (746MHz à 800MHz) foram destinados aos canais públicos, na revisão feita no PBTVD.

B. Potência efetiva irradiada (ERP)

A ERP máxima a ser aprovada para estação de RTV em caráter secundário, referente a uma altura de antena de 150 metros sobre o nível médio do terreno, não poderá ser superior à maior ERP dentre as de todas as radiais da estação de TV ou de RTV em caráter primário de menor cobertura entre as já instaladas na localidade. Em nenhum caso, porém, poderá ultrapassar os limites abaixo estabelecidos:

- CANAL 2 - 6: 80 W
- CANAL 7 - 13: 160 W
- CANAL 14 - 68: 360 W

TABELA II
VALORES DE INTENSIDADE DE CAMPO E (50,50) NOS CONTORNOS DE SERVIÇO, EM DBµ

CANAIS	CONTORNO 1 (dBµ)	CONTORNO 2 (dBµ)	CONTORNO 3 (dBµ)
VHF - 2 a 6	74	68	54
VHF - 7 a 13	77	71	60
UHF - 14 a 68	80	74	70

C. Contorno Protegido

O sinal transmitido por uma emissora de televisão é protegido contra possíveis interferências, que possam degenerar ou degradar o seu sinal. Porém esta proteção é delimitada por uma distância correspondente aos pontos geométricos, onde a intensidade de campo elétrico é

correspondida em 43dBμV/m e 51dBμV/m, para faixa de VHF e UHF respectivamente.

CANAL	2 a 6	7 a 13	14 a 68
CONTORNO PROTEGIDO E (50,50) em dBm	58	64	70

TABELA III
CONTORNOS PROTEGIDOS EM VHF E UHF

D. Relações de proteções e máscaras de emissão do espectro

Ao amplificar o sinal de radiofrequência, é ideal que o circuito amplificador seja eficiente e proporcione o máximo ganho possível. Porém os amplificadores necessitam de que sejam polarizados para se obter um funcionamento adequado do mesmo. E um valor ótimo para a polarização dos amplificadores é aquele que garante as operações de seus componentes ativos no ponto médio de sua curva caraterística. Ou seja, o amplificador é projetado para operar em uma região de sua curva característica onde o mesmo possa exibir um comportamento linear do sinal de saída até uma determinada faixa de tolerância, para o nível do sinal de entrada. Por ventura, qualquer variação do sinal na entrada do amplificador, na qual exceda o valor limite a resposta do amplificador se tornará com um comportamento não linear que irá implicar em um sinal de saída com distorções harmônicas, produtos de intermodulação, emissões parasitas espúrios, etc.

Os espúrios são sinais indesejados que surgem fora da largura de faixa do canal. Estas emissões fora da faixa podem ser atenuadas, através de filtros, sem a necessidade de afetar a transmissão do sinal desejado. Com isso foram estabelecidos critérios para garantir a integridade do sinal transmitido desejado. Onde os espúrios gerados pelos outros canais de transmissão que coincidirem dentro da banda de transmissão do canal desejado sejam satisfatoriamente atenuados, a fim assegurar que a área de cobertura, dos canais digitais ou analógicos, seja considerada livre de interferências. A Tabela IV indica os valores mínimos estabelecidos entre a relação da potência do sinal desejado e a potência do espúrio interferente dentro do canal de transmissão, para faixa de VHF e UHF.

TABELA IV
CONTORNOS PROTEGIDOS EM VHF E UHF

CANAL	2 a 6	7 a 13	14 a 68
CONTORNO PROTEGIDO E (50,50) em dBm	58	64	70

Foram consideradas as condições para o sistema de transmissão digital uma modulação de 64-QAM com FEC de 3/4 e 2/3 e para o sistema de transmissão analógico o padrão PAL-M.

Para a prevenção de interferência das estações digitais na recepção das estações analógicas e digitais calculadas ou instaladas no mesmo local e que atuem em canais adjacentes, as emissões das estações digitais devem atender à máscara do espectro de transmissão adequada a cada situação. A frequência central das portadoras OFDM deverá estar deslocada positivamente em 1/7 MHz com relação à frequência central do canal de televisão utilizado. São estabelecidos 3 tipos de máscara: não crítica, subcrítica e crítica, transmissoras ou receptoras de microondas; o cone de proteção é definido como um cone circular reto com vértice no foco da parábola do enlace, cujo eixo é uma linha que une os centros dessas antenas, cuja altura é de 1000 m e cujo diâmetro da base é de 175 m.

A Figura 1. mostra as atenuações mínimas das emissões fora da faixa em relação à potência média do transmissor, especificadas em função do afastamento em relação à frequência central das portadoras OFDM que compõem o sinal digital, para as máscaras não crítica, subcrítica e crítica.

TABELA V
CRITÉRIOS PARA EMPREGO DAS MÁSCARAS DO ESPECTRO DE TRANSMISSÃO

Classe da estação digital	**A, B e C**				**Especial**
Tipo de modulação do canal adjacente previsto ou instalado na mesma localidade	Digital		Analógica		
Distância em relação à estação de canal adjacente na mesma localidade	< 400 m	> 400 m	-	Na ausência de canal adjacente na mesma localidade	Na presença ou na ausência de canal adjacente na mesma localidade
$P_{digital} \leq P_{adjacente}$ +3dB	SUB CRÍTICA				
$P_{digital} > P_{adjacente}$ +3dB	CRÍTICA	CRÍTICA	CRÍTICA	NÃO CRÍTICA	CRÍTICA

$P_{digital}$ = Potência ERP da estação Digital

$P_{adjacente}$ = Potência ERP da estação Adjacente

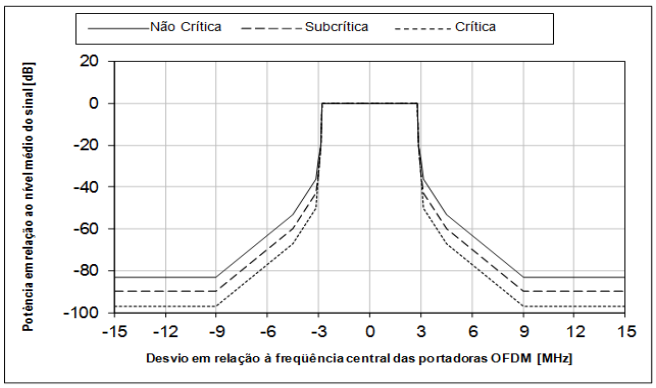


Fig. 1. Máscaras do Espectro de Transmissão para Televisão Digital

E. Requisitos para co-localização

Com o advento da implantação de TV digital, muitas emissoras querem aproveitar as estruturas já existentes para realizar a transmissão digital. Dessa forma viabilizando uma determinada redução nos custos de implantação. Contudo alguns cuidados devem ser considerados, pois a reutilização das estruturas já existentes implica no aumento da perda por inserção e o VSWR do sistema de transmissão, e dentre outros fatores degenerativos. Para fins de planejamento, duas ou mais antenas, para canais de TVs analógicas ou digitais, são consideradas co-localizadas se instaladas na mesma estrutura de sustentação ou em estruturas afastadas de até 2km. E mantido o afastamento de até 400m quando a co-localização envolver apenas canais analógicos. Em outros países esta distância pode ser diferente, por exemplo, nos Estados Unidos utiliza uma distância de 5km e no Canadá de 8km.

Para as questões de proteção do sinal desejado, nos casos de co-localização do sistema de transmissão, será considerado protegido o sinal desejado quando a relação entre a sua potência ERP e a potência ERP do canal interferente estiver em conformidade com as Tabelas VI e VII.

F. Determinação do sinal interferente

Os valores correspondentes à intensidade de campo elétrico interferente são encontrados na Tabela VIII, para faixa de VHF e UHF.

TABELA VI
RELAÇÕES DE PROTEÇÃO (DB) PARA CANAIS CO-LOCALIZADOS, NA FAIXA DE VHF E UHF.

Canal Interferente	**Relação de proteção mínima (dB), N = Canal desejado**		
	Digital sobre Analógico	**Analógico sobre Digital**	**Digital sobre Digital**
N-1 (adjacente inferior)	0	-26	-24
N+1 (adjacente superior)	0	-26	-24

TABELA VII
RELAÇÕES DE PROTEÇÃO (DB) PARA CANAIS CO-LOCALIZADOS, NA FAIXA **DE** UHF.

CANAL INTERFERENTE	**RELAÇÃO DE PROTEÇÃO MÍNIMA (DB), N = CANAL DESEJADO**		
	Digital sobre Analógico	**Analógico sobre Digital**	**Digital sobre Digital**
N-8 E N+8 (FI)	-10	Não aplicável	Não aplicável
N-7 E N+7 (OSCILADOR LOCAL)	-10	Não aplicável	Não aplicável
N+14 (PORTADORA DE ÁUDIO)	-10	Não aplicável	Não aplicável
N+15 (PORTADORA DE VÍDEO)	-8	Não aplicável	Não aplicável

TABELA VIII
VALORES DE INTENSIDADE DE CAMPO INTERFERENTE PARA VHF E UHF

CANAL	**2 a 6**				**7 a 13**				**14 a 68**							
Contorno Interferente	Co-canal		Canal Adjacente		Co-canal		Canal Adjacente		Co-canal		Canal Adjacente		Osc. Local	Freq. Imagem de Áudio	Freq. Imagem de Vídeo	Bat. de FI
	Decalagem				Decalagem				Decalagem							
	com	sem	sup.	inf.	com	sem	sup.	inf.	com	sem	sup.	inf.				
E (50, 10) em dBm	30	13	70	64	36	19	76	70	42	25	82	76	76	76	67	82

G. Proteções de estações estrangeiras

Para inclusão de canais de televisão na PBTVD, cujas localidades são incluídas em *Zonas de Coordenação* definidas em acordos governamentais, convênios ou marcos regulatórios que o Brasil mantenha com outros países deverão conter um estudo adicional demonstrando a viabilidade técnica da instalação do canal digital desejado com relação às estações estrangeiras, sejam analógicas ou digitais. Nas quais devem adotar os seguintes critérios específicos indicados a seguir para as proteções:

- Para a proteção do canal estrangeiro, utilizar o valor de intensidade de campo do contorno protegido estabelecido em acordo, convênio ou marco regulatório.
- Para a proteção do canal digital proposto, utilizar o valor de intensidade de campo elétrico do contorno protegido (subitem 2.2.4, ou seja, 43dBμV/m e 51dBμV/m, para faixa de VHF e UHF respectivamente).
- Para ambas as situações mencionadas (proteção do canal estrangeiro e o canal proposto) utilizar as relações de proteção estabelecidas na Tabela IV.

Tais listas das estações estrangeiras são encontradas nos anexos das documentações das zonas de coordenação.

III. Atenuação de potência e da intensidade de campo elétrico no espaço Livre

A propagação no espaço livre considera-se que entre o transmissor e o receptor não existam obstáculos capaz de influir na propagação do sinal, ou seja, é o meio considerado ideal para um sistema de comunicação. Porém mesmo neste meio ideal, o receptor não será capaz de receber toda potência transmitida, devido as antenas transmissoras e receptoras não possuírem diretividade infinita, e assim não podendo concentrar toda irradiação da antena em uma única direção. A *fórmula de Friis* é utilizada para calcular a atenuação provocada entre os pontos de TX e RX, e consequentemente determinar a potência captada pela antena de recepção, considerando que o meio de propagação é o espaço livre.

$$A_{dB} = 32{,}44 + 20\log f + 20\log d - G_{TX} - G_{RX} \quad (3)$$

Onde f é frequência de operação (MHz), d é a distância entre os pontos de transmissão e recepção (km), G_{TX}, G_{TX} e são os ganhos das antenas de transmissão e recepção respectivamente (dBi).

Com uma análise semelhante, é possível determinar o valor máximo do campo elétrico em um dado ponto de recepção, considerando a propagação no espaço livre. Percebe-se na Equação (4) que o valor máximo é em função da potência ERP e da distância entre transmissor e receptor. E independe da frequência de operação.

$$E_{máx} = 106{,}9 - 20\log(d) + 10\log(ERP) \quad (4)$$

Onde $E_{máx}$ dado em (dBμv/m), é a distância entre ponto de transmissão e recepção desejado (km), e ERP é a potência efetiva irradiada (kW). Com o aumento da distância entre os pontos de transmissão e recepção o valor máximo do campo elétrico decai de forma logarítmica.

A seguinte Recomendação ITU-R P.1546 que é o proposito deste trabalho, deve-se seguir a Equação (5) para determinar o valor máximo da intensidade do campo elétrico, que considera um sistema de transmissão cuja ERP é de 1 kW e o elemento irradiante uma antena dipolo de meia onda.

E em principio deve-se evitar qualquer outro tipo de correção que aumente ou diminua a intensidade máxima do campo elétrico, pois os cálculos na presente Recomendação irão realizar uma interpolação ou extrapolação dos valores encontrados para os valores desejados.

$$E_{máx} = 106{,}9 - 20\log(d) \quad (5)$$

Devido a facilidade no uso do conceito da potência captada pela antena de recepção, é interessante relacionar a intensidade de campo elétrico com a potência captada pela antena de recepção. Desta forma, a potência captada pela antena de recepção é dada pelo produto da densidade de potência do sinal (W/m^2) pela área efetiva de captação da antena receptora (m^2), conforme descrito nas Equações 6 e 7.

$$P_{RX} = S.A_{ef} \quad (6)$$

$$P_{RX} = \frac{E^2}{\eta} \cdot \frac{\lambda^2.D}{4\pi} \quad (7)$$

Onde $P_{RX(dBm)}$ é a potência de recepção (W) é a intensidade do campo elétrico (V/m), η é a impedância intrínseca do meio, λ é o comprimento de onda e D é a diretividade da antena de recepção.

Finalmente, considerando a intensidade do campo elétrico expressa em dBμV/m, por conveniência nos cálculos. Substituindo esses valores citados na Equação 7, tem-se:

$$P_{RX(dBm)} = E - 20\log f - 75{,}071 \quad (8)$$

Onde $P_{RX(dBm)}$ é a potência captada pela antena receptora em dBm, e E é a intensidade do campo elétrico (dBμV/m) que será o valor obtido na Recomendação ITU-R P.1546, f é frequência de operação dada em MHz .

Contudo, o sinal captado pela antena receptora irá também captar os ruídos provenientes do meio de comunicação, degradando o sinal de interesse. Entretanto existe ainda, outro tipo ruído produzido pelos efeitos térmicos da antena de recepção, que serão somados aos ruídos já captados. O ruído é algo inerente do meio de comunicação, e na qual não se tem controle sobre o mesmo. Porém este efeito da degradação do sinal provocado pelo ruído pode ser minimizado com aumento do ganho da antena receptora ou utilizar amplificadores de baixa figura de ruído.

A Norma ABNT NBR 15604 estabelece os níveis mínimos de potência na entrada do receptor, ou seja, uma sensibilidade mínima de recepção do sinal com qualidade (S_{min}),, e também uma relação mínima entre a potência do sinal captado e a potência do ruído (S_{SRmin}), , indicados na Tabela IV . Estes valores apresentados são considerados muito rígidos, consequentemente deve ser classificado como valor desejável aquele que permita a recepção cuja intensidade de campo elétrico seja de 60 dBµV/m. Vale ressaltar que nestas condições mínimas, o transmissor deve estar operando com FEC de 3/4 e uma modulação de 64QAM.

TABELA IX
VALORES DE MÍNIMOS DESEJÁVEIS PARA RECEPÇÃO DO SINAL DE TV DIGITAL.

Valores na Entrada do Receptor	
Potência Mínima	**Relação Sinal-Ruído Mínima**
$-77dBm$	$S_{SR} = 19dB$

A potência na entrada do receptor pode ser determinada pela diferença entre a potência captada na antena pelas perdas encontradas nos conectores e no cabo. E a relação sinal ruído na entrada do receptor pode ser determinada pela Equação 9.

$$R_{SR} = P_{RECEBIDA} - N - F \quad (9)$$

Onde R_{SR} é a relação sinal ruído na entrada do receptor (dB), N é a potência de ruído térmico em dBm, indicada na Equação 10, e F é figura de ruído do receptor fornecido pelo fabricante, em média no Brasil fica em torno de 10dB, porém com o advento dos dispositivos de estado sólido este valor da figura de ruído na entrada dos receptores é menor.

$$N = 10\log\frac{kTB}{1*10^{-3}} \quad (10)$$

Onde k é a constante de Boltzmann que vale $1{,}38 * \frac{10^{-23}J}{K}$, T é a temperatura ambiente em Kelvin (K) e B é a largura de banda do canal de transmissão de difusão é 6 MHz.

IV. RECOMENDAÇÃO ITU-R P.1546

As recomendações publicadas pela União Internacional das Telecomunicações (ITU), em especial a Recomendação P.1546, têm por objetivo fornecer técnicas eficazes no planejamento da cobertura do sinal transmitido por radiodifusão.

O planejamento da Recomendação ITU-R P.1546 é valido para a faixa de frequências de 30 MHz à 3GHz, na qual abrange distâncias entre 1km a 1000km, com uma porcentagem de tempo de atendimento entre 1% a 50%. A mesma ainda apresenta suas curvas de intensidade de campo elétrico a uma altura efetiva de 10m até 1200m, do nível do mar até centro geométrico da antena de transmissão. Porém vários tipos de correções devem ser aplicadas para aproximar ainda mais os valores calculados, para os valores reais encontrados nas medições em campo.

O método utilizado pela Recomendação ITU-R P.1546 é baseado em interpolações e extrapolações das curvas de campo elétrico apresentadas, adquiridas através dos modelos empíricos ou semi-empíricos. As interpolações podem ser feitas em função da frequência de operação, da distância desejada ou da percentagem de tempo desejada para o atendimento.

A. Determinação da altura da antena transmissora (h1)

A altura da antena transmissora (*h1*) é o valor que determinará um conjunto de medidas que serão utilizados nos cálculos da Recomendação ITU-R P.1546. Este valor é obtido em função da distância do percurso, do perfil topográfico da área de cobertura e de outras informações que nem sempre estão disponíveis.

Dessa forma, para obtenção do valor da altura *h1*, independente de existirem ou não a disponibilidades das informações geográficas, devem-se considerar três casos complementares:

- Para percursos somente terrestres que envolvam distâncias inferiores a 15 km.
- Para percursos somente terrestres que envolvam distâncias superiores a 15 km.
- Para percursos somente marítimos (sobre a água do mar).

Em um mesmo percurso na qual envolva uma situação mista entre terrestre e com águas fluviais, deve-se considerar o percurso como sendo um percurso totalmente terrestre. Vale ressaltar que a distância sobre a água também deve ser contabilizada como à distância total ‘d’, entre o ponto de transmissão e recepção. A correção para percursos mistos são aplicados somente nos percursos que envolvam partes do continente e mar na mesma área de cobertura, ou em casos de regiões costeiras.

A Figura 2 indica as alturas envolvidas na Recomendação ITU-R P.1546 e as equações 11,12, 13 e 14 indicam como se obter o valor de *h1* conforme o caso apresentado no trajeto. Todas as alturas devem ser expressas em metros.

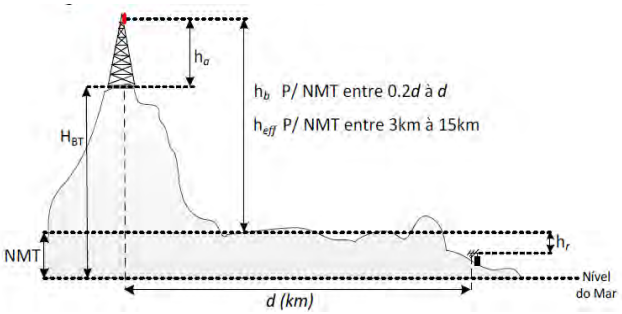


Fig. 2. Alturas envolvidas para determinação de h1

1. Para percursos terrestres inferiores a 15 km:

1.1. Onde existem as informações do terreno:

$$h_1 = h_b \quad (11)$$

1.2. Onde não existam as informações do terreno:

$$h_1 = h_b \quad \text{para d < 3 km} \quad (12)$$

$$h_1 = h_a + \frac{(h)_{eff} - h_a}{LZ}(d-3) \quad \text{para d < 3 km}\leq 15 \text{ km} \quad (13)$$

2. Para percursos terrestres superiores a 15km :

O valor de é determinado pela Equação 14, onde continua sendo a altura da antena transmissora a partir do nível médio do terreno, porém com a distância d superior a 15 km.

$$h_1 = h_{eff} \quad (14)$$

Neste tipo de caso, é importante atentar-se quando houver obstáculos muito grandes que poderão influenciar na propagação do sinal ou diferenças de alturas muito significativas na topologia do terreno, deve-se aplicar a correção do ângulo de desobstrução do terreno.

3. Para percursos marítimos (sobre água):

O valor *h1* de conceito para percursos totalmente marítimos sobre a água é considerado a altura da antena transmissora acima do nível da água. Porém para o sistema de radiodifusão de televisão digital dificilmente será aplicada esta situação. Então este tópico da Recomendação ITU-R P.1546 não será abordado.

B. Aplicação da altura (h1)

As curvas referidas na Recomendação ITU-R P.1546 foram geradas para América do Norte e Europa. Não considerando nenhuma polarização especifica de propagação. O valor determinado de *h1* indicará qual curva deve ser utilizada na Figura 3. Como as curvas foram levantadas em função de somente oito valores nominais de alturas para *h1* (10m; 20m; 37.5m; 75m; 150m; 300m; 600m ou 1200m), deve-se realizar uma interpolação ou extrapolação para extrair o valor da intensidade de campo elétrico em função de um dado valor de *h1* requerido, dado pela Equação 15. Caso contrário se o valor de *h1* coincidir com algum, destes oito valores, pode-se obter o valor da intensidade de campo elétrico de forma direta.

$$E = E_{inf} + \frac{(E_{sup} - E_{inf})(\log h_1 - h_{inf})}{\log(h_{sup} - h_{inf})} \quad (15)$$

A altura mínima de *h1* citada na Recomendação ITU-R P.1546 é de 10 metros, para alturas inferiores a este valor deve-se realizar um procedimento de extrapolação do valor da intensidade de campo elétrico.

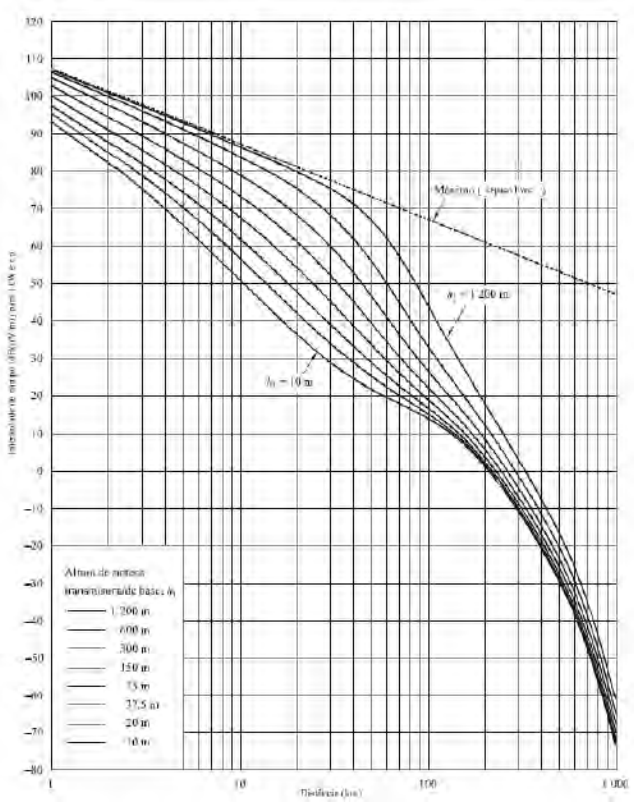


Fig. 3. Curva de 600MHz para atendimento 50% das localidade e 50% do tempo

C. Interpolações e/ou extrapolações na Recomendação ITU-R P.1546

As curvas da Recomendação ITU-R P.1546 mostram os valores da intensidade de campo elétrico em função da

distância, nas quais podem ser lidos diretamente. Porém quando se deseja uma maior precisão nas informações ou uma implementação computacional se faz necessário às interpolações e/ou extrapolações para se obter o valor da interpolações e/ou extrapolações para se obter o valor da intensidade do campo elétrico mais exato. As interpolações e/ou extrapolações podem ocorrer em função dos seguintes elementos:

- Distância;
- Frequência
- Percentagem de tempo requerida

D. Correções na intensidade de campo elétrico

As correções, na intensidade do campo elétrico, se fazem necessárias para que o valor calculado seja mais próximo do valor real encontrado nas medições do sinal em campo. As correções previstas na Recomendação ITU-R P.1546 são:

- Percursos mistos que envolvam terra e água no trajeto.
- Em função da altura de uma antena receptora móvel.
- Para percursos urbanos e suburbanos.
- Em função do ângulo de desobstrução do terreno.

V. CONCLUSÃO

Este artigo teve como foque principal destacar as principais requisitos para a transmissão do sinal de tv digital usando a recomendação P.1546 da ITU-R, que traça o método de estimativa de propagação ponto-área para os serviços terrestres compreendidos na faixa de frequência entre 30 MHz à 3 GHz. Desta maneira, a Recomendação ITU-R P.1546 é uma das principais ferramentas de critérios utilizada pelos profissionais de radiocomunicação para estimativa de área de cobertura.

VI. REFERÊNCIAS

[1] G. GOMES, Geraldo Gil R.; MENDES, Luciano L.. UMA ANÁLISE CRÍTICA DAS RESOLUÇÕES 284 E 398 COMO CRITÉRIO PARA A DEFINIÇÃO DA ÁREA DE COBERTURA PARA OS SISTEMAS DE TV DIGITAL ATSC,DVB-T E IDSB-T. **Broadcast & Cable**, São Paulo, 2005.

[2] BRASIL. ANATEL. (Org.). **ANEXO À RESOLUÇÃO N.º 398.** Brasília, 7 de abril de 2005.

[3] MONDINO, Tereza; DONZELLI, Valderez. Estudo de Canalização para TV Digital no Brasil. **Revista da Set**: Edição Especial, São Paulo, p.26-27, mar. 2010.

[4] BRASIL. ANATEL (Org.). **RESOLUÇÃO Nº 284.** Brasília: 7 de dezembro 2001.

[5] BRASIL. ANATEL (Org.). **RESOLUÇÃO Nº 398.** Brasília: 7 de abril 2005.

[6] RIBEIRO, José Antônio Justino. **Propagação das Ondas Eletromagnéticas:** Princípios e Aplicações. São Paulo: Érica, 2004.

[7] International Telecommunication Union – Radiocommunication (Org.). **RECOMMENDATION ITU−R P.1546-4:** Method for point−to−area predictions for terrestrial services in the frequency range 30MHz to 3000MHz. Geneva, Switzerland: 2007.

[8] FISCHER, Walter. **Digital Video and Audio Broadcasting Technology:** A Practical Engineering Guide. 3. ed. New York: Springer, 2010.

[9] MAYRINK, Marco Antônio de Souza. **Uma Nova Abordagem da Recomendação ITU-R P.1546 para predição de cobertura em enlaces curtos sobre terrenos mistos.** 2005. 76 f. Dissertação (1) - Departamento de Engenharia Eletrônica, UFMG, Belo Horizonte, 2005.

[10] Fundação CPqD – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações. **Planejamento de Canais de TV Digital.** Campinas, 2003.

[11] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. **Televisão Digital Terrestre — Receptores:** ABNT NBR 15604. Rio de Janeiro, 2007.

[12] BRASIL. ANATEL. (Org.). **ANEXO À RESOLUÇÃO N.º 583.** Brasília, 583, de 27 de março de 2012.

Estudo, projeto e simulação de circuitos passivos na faixa de radiofreqüência

Ana Maria Pereira Lima
Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL
analima.inatel@gmail.com

Ana Paula Teles Ribeiro da Silva
Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL
anaptrs@gmail.com

Antonio Alves Ferreira Júnior
Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL
antonioa@inatel.br

***Resumo*—Neste artigo serão apresentados o estudo, projeto e simulação de circuitos passivos na faixa de radiofreqüência, com ênfase nos combinadores e divisores de sinais, utilizando a tecnologia de microlinhasde fita. Foram realizadas simulações numéricas através de um programa computacional comprovando a teoria abordada neste artigo.**

***Palavras chave*—divisores/combinadores de sinais, microlinha de fita, parâmetros de espalhamento, radiofrequência.**

I. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo o estudo, a síntese e a simulação de dispositivos passivos na faixa de radiofreqüência, com ênfase nos combinadores e divisores de sinais. Será empregada a tecnologia planar em microlinha de fita (*microstrip*) para a implementação dos dispositivos, sendo necessário um estudo fundamental sobre os conceitos de linhas de transmissão. A análise da resposta em freqüência, através das perdas por retorno e por inserção, será verificada utilizando-se os parâmetros de espalhamento. [1]-[6]

Estes dispositivos são amplamente utilizados nos circuitos que compõem os equipamentos de radiocomunicação como, por exemplo, na combinação de sinais provenientes de vários amplificadores, no acoplamento de antenas e etc. [1]-[6]

Este artigo possui, além desta introdução, quatro seções. Na Seção II e III são apresentados os conceitos básicos sobre os parâmetros de espalhamento e sobre a microlinha de fita, respectivamente. A descrição dos dispositivos divisores e combinadores de sinais é apresentada na Seção IV. Os resultados das simulações numéricas utilizando o programa computacional Genesys (Agilent Technologies) são apresentados na Seção V, e alguns comentários finais na Seção VI.

II. PARÂMETROS DE ESPALHAMENTO

Para entender o comportamento de dispositivos passivos de radiofreqüência implementados com a tecnologia de microlinha de fita "*microstrip*", faz-se necessário um estudo sobre os conceitos de linhas de transmissão, tal como análise da resposta em freqüência através de perda por retorno e inserção, cuja verificação se dá através dos parâmetros de espalhamento. [1]-[6]

Através destes parâmetros pode-se obter medidas de ganho, atenuação, impedância de entrada e etc, e para determiná-los, são conectadas em seus terminais de acesso impedâncias características (Z_o) de mesmo valor. Estes coeficientes (parâmetros) são representados na forma de matriz, conhecida como matriz de espalhamento. Os dispositivos passivos são interpretados por junções de dois acessos conforme representado na Figura 1. [1],[2]

Fig. 1. Modelo de junção de dois acessos.

onde a_i é o sinal incidente e b_i é o sinal refletido por se tratar de um sistema linear, através do teorema da superposição dão origem às seguintes equações:

$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2 \quad (1)$$

$$b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2 \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Os coeficientes são determinados a partir da excitação em um dos acessos e anulação dos outros. Sendo assim:

$$S_{11} = \left.\frac{b_1}{a_1}\right|_{a_2=0} \quad (4)$$

$$S_{12} = \left.\frac{b_1}{a_2}\right|_{a_1=0} \quad (5)$$

$$S_{21} = \left.\frac{b_2}{a_1}\right|_{a_2=0} \quad (6)$$

$$S_{22} = \left.\frac{b_2}{a_2}\right|_{a_1=0} \quad (7)$$

Ana Maria Pereira Lima (analima.inatel@gmail.com) e Ana Paula Teles Ribeiro da Silva (anaptrs@gmail.com) são alunas do curso de Engenharia Elétrica do Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel. Av. João de Camargo, 510 - Santa Rita do Sapucaí - MG - Brasil - 37540-000. Antonio Alves Ferreira Júnior (antonioa@inatel.br) pertence ao Inatel.

onde, S_{11} é o coeficiente de reflexão na entrada com a saída casada, S_{12} é o coeficiente de transmissão reverso com a entrada casada, S_{21} é o coeficiente de transmissão direto com saída casada e S_{22} é o coeficiente de reflexão na saída com entrada casada. [1],[2] O conjunto de equações desses parâmetros pode ser representado em forma chamada matriz de espalhamento,

$$\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \tag{8}$$

que pode ser generalizada para uma função de *N* acessos. Para construção de microlinhas e divisores de potências fazem-se necessário conhecer as seguintes junções:

A. Junção Y simétrica

Junção de três guias de onda idênticos separados por um ângulo de 120º. É recíproco graças ao seu meio ser um dielétrico perfeito e por ser sem perdas, não pode haver casamento conjugado simultâneo. Possui $S_{11} = S_{22} = S_{33}$ e $S_{21} = S_{31} = S_{32}$.

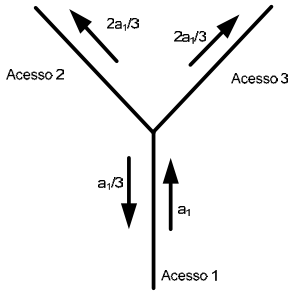


Fig. 2. Junção Y simétrica casada.

A excitação em um dos acessos transfere 4/9 da potência para cada um dos acessos e 1/9 retorna ao acesso excitado, isto se dá devido a potência ser proporcional ao quadrado da tensão, corrente, do campo magnético ou elétrico.

$$S = \begin{bmatrix} 1/3 & -2/3 & -2/3 \\ -2/3 & 1/3 & -2/3 \\ -2/3 & -2/3 & 1/3 \end{bmatrix} \tag{10}$$

B. Junção T no plano H

É construída com um eixo paralelo ao campo magnético. O sinal ao entrar por 1 é dividido igualmente por 2 e por 3, o acesso paralelo ao campo magnético pode ser casado ao ajustar as cargas ligadas aos outros terminais, assim tem-se:

$$S_{11} \tag{11}$$

Qualquer um dos três acessos pode ser escolhido como referência. Considerando inicialmente, a junção a partir do acesso 1, tem-se transmissões iguais para o acesso 2 e 3, logo $S_{21} = S_{32}$ e $S_{22} = S_{33}$. Ao excitar o acesso 1, metade da potência é transferida para o acesso 2 e a outra metade pra o acesso 3, não havendo reflexão no acesso 1. Ao excitar o acesso 2, metade da potência é transferida ao acesso 1, ¼ da potência ao acesso 3, mas com polaridade invertida em relação ao sinal no acesso 1, e ¼ da potência é refletida ao acesso 2. Observando o acesso 3, metade da potência é transferida ao acesso 1, ¼ da potência ao acesso 2, mas com polaridade invertida em relação ao sinal no acesso 1, e ¼ da potência é refletida ao acesso 3.

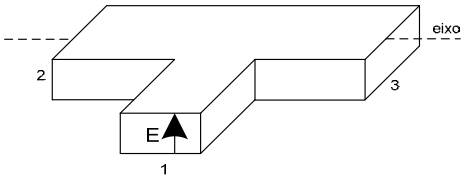


Fig. 3. Modelo de Junção T no plano H.

C. Junção T no plano E

Construída com eixo paralelo ao campo elétrico, o sinal entra por 1, dividindo-se igualmente por 2 e por 3, porém com fases opostas. Devido a isotropia do meio, tem-se uma junção recíproca $S_{pq} = S_{qp}$. Nestas condições não é possível haver o casamento completo, mas através do ajustes das cargas ligadas aos acessos 2 e 3 pode-se obter uma reflexão nula no acesso 1 ($S_{11} = 0$). Desta forma os acessos 2 e 3 possuem o mesmo comportamento, logo $S_{22} = S_{33}$, e possuem também a mesma amplitude porém com polaridades opostas, assim $S_{21} = - S_{31}$.

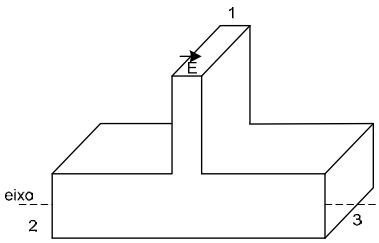


Fig. 4. Modelo de Junção T no plano E.

Ao excitar o acesso 1, a potência é dividida igualmente entre os acessos 2 e 3, mas ao excitar o acesso 2, metade da potência é transferida ao acesso 1, ¼ da potência é transferida ao acesso 3 e ¼ da potência é refletida ao acesso 2, já excitando o acesso 3, metade da potência é transferida ao acesso 1 com polaridade oposta em relação ao acesso 2, ¼ da potência é transferido ao acesso 2 e ¼ da potência é refletida ao acesso 3. [1]-[5]

III. MICROLINHA DE FITA

A microlinha de Fita, também conhecida por linha impressa ou linha de fita, é uma linha de transmissão construída com uma fita de metal condutora semelhante à usada em circuitos impressos, de largura já conhecida e um plano de terra, separados por uma camada dielétrica de alta qualidade.

Fig. 5. Modelo de uma microlinha de Fita.

O plano de terra também pode ser construído com o mesmo material do condutor, em alguns casos este plano é montado sobre alguma outra superfície metálica, não ocasionando nenhum problema para a construção da microlinha de fita. Já o material dielétrico deve possuir baixíssima condutividade, entre alguns outros fatores. Os mais indicados são: Fibra de vidro, o polistireno, polietileno, aluminia, etc.

Normalmente, o material condutor utilizado é o cobre ou o alumínio. Para tal construção o laminado deve possuir boas características em relação à homogeneidade, constante dielétrica, faixa de temperatura, umidade, fator de perda e variações desses parâmetros com a freqüência, resistência a reagentes químicos e etc. Os isolantes de substratos dependem da pureza do material, e suas especificações são fornecidas pelos fabricantes. Alguns materiais podem ser observados na Tabela 1.

Deve-se enfatizar que essas condições só são verdadeiras se os limites de freqüência forem respeitados. Para baixas freqüências são utilizados materiais como a fibra de vidro, fenolite etc.

TABELA.1.CARACTERÍSTICAS DE MATERIAIS DIELÉTRICOS UTILIZADOS PARA CONSTRUÇÃO DE MICROLINHA DE FITA.

Material	Constante dielétrica	Fator de perda	Temperatura
Aluminia	8 a 10	$2x10^{-4}$ a $15x10^{-4}$	-70ºC a +200ºC
Óxido de polifeneleno (PPO)	2,55	$16x10^{-4}$	-170ºC a +190ºC
Politerafluoretileno (PTFE)	2,40 a 2,62	$15x10^{-4}$ a $20x10^{-4}$	-70ºC a +200ºC
PTFE com quartzo	1,47	$6x10^{-4}$	-60ºC a +260ºC
PTFE reforçado	2,32 a 2,40	$4x10^{-4}$ a $8x10^{-4}$	-70ºC a +270ºC
Quartzofundido	3,80	$1x10^{-4}$	-70ºC a +200ºC
Resinacerâmica	1,75 a 25	$5x10^{-4}$ a $50x10^{-4}$	-60ºC a +270ºC

IV. DIVISORES DE POTÊNCIA

São dispositivos passivos que distribuem o sinal que chega à sua entrada nas diferentes saídas, podendo ser construídos por cabos coaxiais, guia de ondas e linha de fita para grandes valores de potência e largura de faixa e possuem duas ou mais saídas. Os mais encontrados são as junções Y e T.

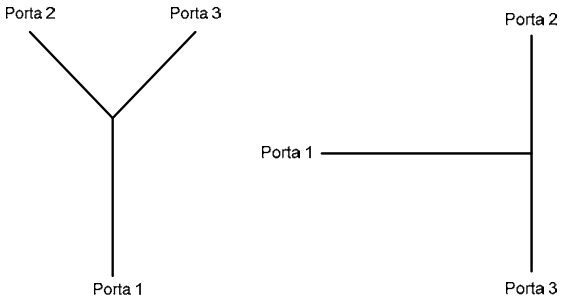


Fig. 6. Divisores com junções Y e T, respectivamente.

São recíprocos, ou seja, seu coeficiente de transmissão reverso deve ser igual ao seu coeficiente de transmissão direto, sem perdas e alguns não podem ser completamente casados. Utiliza-se assim, dois métodos para a redução do descasamento de impedâncias: através de elementos resistivos, para eliminar o problema de atenuações adicionais, e através de elementos reativos, sem aumento de perdas. A escolha do método implica em diferença na largura de faixa, na freqüência de operação no coeficiente de onda estacionária e etc. Para baixa freqüência os divisores resistivos têm melhor desempenho, pois suas características não variam com a freqüência, até mesmo para corrente contínua, porém possuem elementos com reatâncias parasitas. Aplicado também quando há a necessidade de montagens compactas, pois são menores.

Já em altas freqüências são empregados os divisores reativos, que quando fabricados com trechos de linhas de transmissão ou guia de ondas exigem comprimentos físicos maiores, pois estão relacionados ao comprimento de onda. Outra aplicação muito encontrada na prática é a de combinador, quando ele combina os sinais de entrada a uma única saída.

Ernest J. Wilkinson desenvolveu um dispositivo que divide a potência incidente em sua porta de entrada em *N* partes, em suas *N* portas de saída. [7] Fazendo uso de resistências conectadas em suas portas de saídas, Wilkinson ---obteve um dispositivo passivo e recíproco, sendo suas portas casadas e isoladas entre si. Altamente utilizado em freqüências de RF, quando se deseja utilizar múltiplos canais com alto grau de isolamento entre as portas, ficando livre de interferências individuais destes canais. Utilizado desta forma, em cascata, a largura de banda pode ser ampliada. Empregados também em amplificadores balanceados, transmissores de potência e em redes de alimentação associadas às antenas. Podem ser construído com cabo coaxial, microlinha de fita e etc. Pode também ser utilizado como combinador de potência.

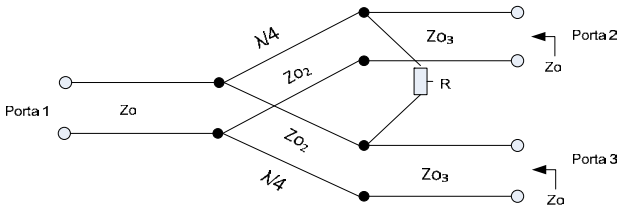


Fig. 7. Modelo do divisor de potência de Wilkinson com 3 entradas.

V. SIMULAÇÕES NUMÉRICAS

Com o auxílio do programa computacional Genesys 2012.01 RF and Microwave Design Software, da Agilent Technologies, simulou-se o divisor de potência de Wilkinson com a microlinha de fita real considerando também as terminações da placa que o divisor será montado (Figura 8).

Ao analisar o gráfico da Figura 9, conclui-se que o divisor também irá funcionar corretamente, mesmo utilizando, além das microlinhas reais as terminações da placa onde seriam montadas, pois apresentam um baixo valor de atenuação.

As Figuras 10 e 11 representam os parâmetros S_{21} e S_{31}, respectivamente, e pode-se observar que para a freqüência desejada, os gráficos então em aproximadamente -3dB, ou seja, metade do sinal que entra pela Porta 1 é transferido para a Porta 2 e a outra metade para a Porta 3. O gráfico da Figura 12 representa o parâmetro S_{23}, cujo valor em dB para a freqüência selecionada foi pequeno comprovando que ao se excitar a Porta 2, uma pequena parcela dos sinal irá para a

Porta 3 e o resto do sinal será refletido pela porta 2 evidenciado que as portas estão casadas.

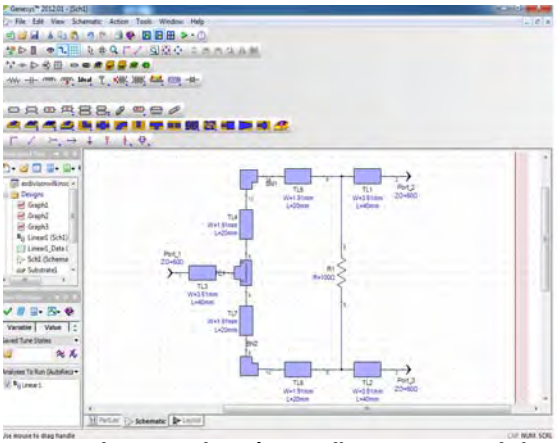


Fig. 8. Esquema do Divisor de potência Wilkinson com microlinhas de fita real e terminações da placa de montagem.

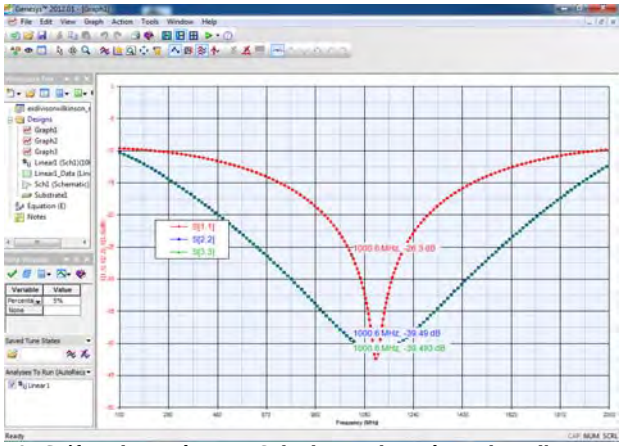


Fig. 9. Gráfico dos parâmetros *S* do divisor de potência de Wilkinson com microlinhas de fita reais e terminações da placa de montagem.

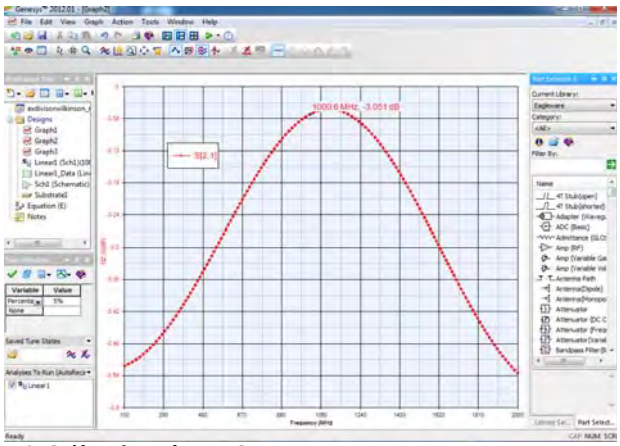


Fig. 10. Gráfico do parâmetro S_{21}.

Deve-se lembrar que nessas simulações foram utilizadas microlinhas reais juntamente com as terminações da placa, sendo assim, obtivemos valores mais próximos ao da prática, pois estamos considerando além dos fatores externos, acoplamentos dos sinais na placa, diminuindo suas perdas.
Pode-se concluir que este dispositivo funciona corretamente, ou seja, seus parâmetros S_{11}, S_{22} e S_{23} possuem baixos valores em dB para a freqüência selecionada, evidenciando que as portas estão casadas. Já os parâmetros S_{21} e S_{31} possuem valores próximos a 3dB, mostrando assim que o sinal está sendo dividido praticamente igual para ambas as saídas.

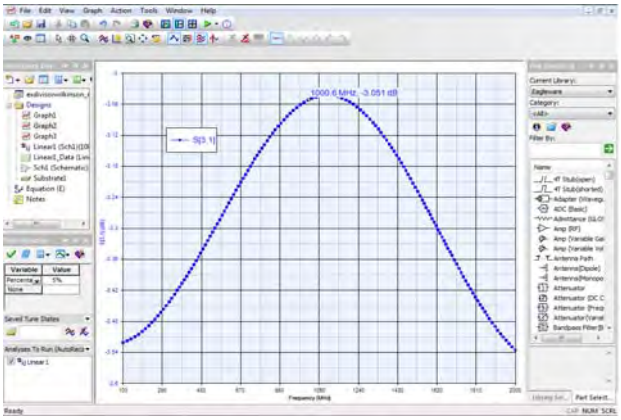


Fig. 11. Gráfico do parâmetro S_{31}.

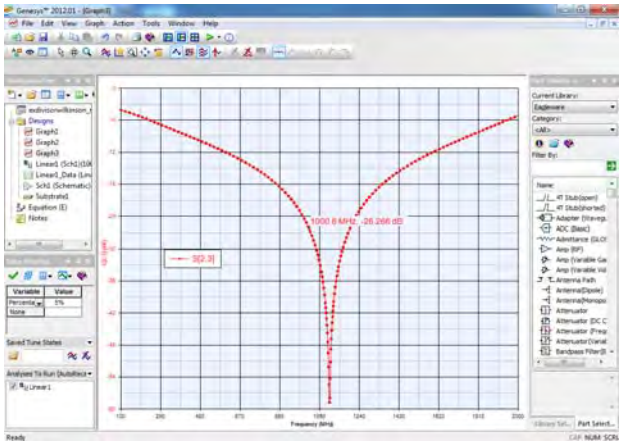


Fig. 12. Gráfico do parâmetro S_{23}.

VI. Comentários finais

Com este artigo pode-se verificar a importância do estudo dos dispositivos passivos na faixa de radiofreqüência para diversas aplicações da engenharia, principalmente no projeto de divisores e combinadores de sinais utilizando a microlinha de fita. Através de simulações numéricas realizadas pelo programa computacional Gensys, todo conteúdo deste artigo pode ser comprovado, viabilizando sua utilização.

Referências

[1] J. A. J. Ribeiro. “Engenharia de microondas: Fundamentos e aplicações”, São Paulo: Érica, 2008.

[2] A. A. Ferreira Júnior, Notas de Aula de Dispositivos e Circuitos de Radiofreqüência.

[3] R. E. Collin. “Foundations for microwave engineering”, 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 2001.

[4] D. M. Pozar. “Microwave Engineering”, 3rd ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2005.

[5] R. Ludwig, P. Bretchko. “RF circuit design: theory and applications”, New Jersey: Prentice Hall, 2000.

[6] G. Gonzalez. “Microwave transistor amplifiers: analysis and design”, 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall, 1997.

[7] E. J. Wilkinson, “An N-Way Hybrid Power Divider,” *IRE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, pp. 116-118, January 1960.

Implementação em FPGA de Bloco para Inserção de Tempo de Guarda

Luan Antônio da Paixão Claudino
Instituto Nacional de Telecomunicações
luanc@gee.inatel.br

Luciano Leonel Mendes
Instituto Nacional de Telecomunicações
luciano@inatel.br

Resumo: As técnicas de transmissão de dados empregando múltiplas portadoras já estão popularizadas nos mais recentes e importantes padrões de comunicação digital de banda larga. O Projeto *Design House* do Instituo Nacional de Telecomunicações, fomentado pela FAPEMIG, visa o desenvolvimento de um MODEM OFDM empregando princípios de microeletrônica voltados para FPAGA. Este artigo apresenta os requisitos para o desenvolvimento do bloco deste MODEM que é responsável pela inserção do tempo de guarda.
Palavras-chaves: OFDM, Tempo de Guarda, FPGA.

I. INTRODUÇÃO

O projeto *Design House* do Inatel (Instituto Nacional de Telecomunicações) [1], implantado em 2011, tem como objetivos: i) desenvolver a cultura de microeletrônica no APL (Arranjo Produtivo Local) de Santa Rita do Sapucaí; ii) desenvolver soluções de núcleos de propriedade intelectual e; iii) formar mão-de-obra especializada em microeletrônica. Diversas ações estão sendo realizadas para atingir estes objetivos como: i) palestras para alunos, técnicos e engenheiros; ii) cursos de formação em linguagens descritivas de hardware e; iii) desenvolvimento tecnológico de sistemas de telecomunicações empregando conceitos em microeletrônica.

A principal atividade dentro do escopo do desenvolvimento tecnológico e formação de recursos humanos é a concepção e implementação de um MODEM (modulador/demodulador) OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) [2] empregando linguagem descritiva de hardware VHDL (*Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language*) [3]. A tecnologia de múltiplas portadoras presente no OFDM está disseminada nos atuais padrões de comunicação sem fio de alta vazão, como Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) [4], WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) [5], além de ser utilizado em sistemas de TV Digital [6] como DVB (*Digital Video Broadcasting*) [7] e ISDB (*Integrated Services of Digital Broadcasting*) [8].

O sistema que corresponde ao MODEM OFDM é complexo e este trabalho não tem como objetivo exaurir os aspectos técnicos de sua implementação.

Manuscrito recebido em 3 de Abril de 2013; revisado em 30 de Março de 2013.

L. Claudino (luanc@gee.inatel.br) e L. Mendes (luciano@inatel.br) pertencem ao Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel. Av. João de Camargo, 510 - Santa Rita do Sapucaí - MG - Brasil - 37540-000.

O objetivo deste artigo é descrever a funcionalidade e os requisitos de um dos blocos deste MODEM, que é o bloco de inserção do tempo de guarda.

Este artigo está organizado da seguinte forma: a Seção II apresenta o modelo do transmissor OFDM. A Seção III apresenta os princípios e a importância do tempo de guarda, enquanto que a Seção III apresenta os parâmetros definidos para implementação do MODEM e os requisitos de *hardware* necessários para a construção do bloco de inserção do tempo de guarda. Finalmente, a Seção IV traz as conclusões finais deste artigo.

II. MODELO DO TRANSMISSOR OFDM

O princípio de funcionamento do OFDM consiste em dividir o feixe de dados de alta taxa em N sub-feixes de dados independentes que modulam N subportadoras independentes, tal como apresentado no diagrama em blocos da Figura 1.

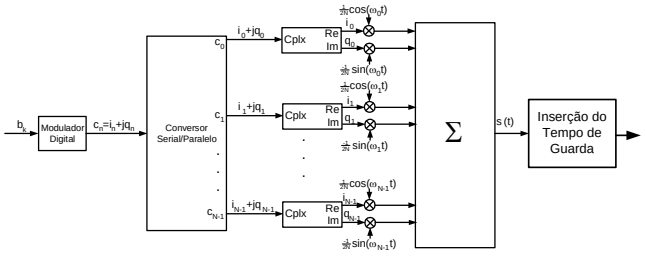


Figura 1. Diagrama em blocos de um modulador OFDM.

Os dados provenientes da fonte de informação, b_k, são mapeados em símbolos complexos, c_n, empregando um modulador M-QAM [9]. O feixe de símbolos é dividido em N sub-feixes, onde N é o número de subportadoras empregadas no sistema. O espaçamento de frequência entre as subportadoras é definido de tal forma que estas sejam ortogonais entre si [2]. Uma vez moduladas, todas as subportadoras são somadas, originando no sinal OFDM no domínio do tempo. Em seguida, o tempo de guarda, cujo detalhamento será dado na seção a seguir, é adicionado e o sinal é entregue para o *front-end* [10] de transmissão.

III. PRINCÍPIOS SOBRE O TEMPO DE GUARDA

O OFDM é amplamente utilizado devido a sua robustez frente a seletividade em frequência de canais com múltiplos percursos [11]. No entanto, canais com múltiplos percursos introduzem interferência inter-simbólica, que consiste na interferência de um símbolo OFDM no símbolo adjacente. Um tempo de guarda nulo pode ser inserido entre dois

símbolos OFDM adjacentes para evitar esta degradação, tal como mostra a Figura 2.

O problema da inserção de um tempo de guarda nulo ´´e que isso introduz um ponto de inflexão ao longo do símbolo OFDM, o que leva a uma maior emissão fora da faixa de operação do sistema [12].

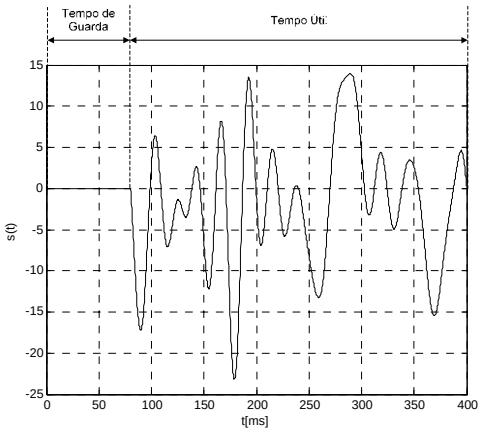


Figura 2. Tempo de guarda obtido através da inserção de um intervalo nulo.

No entanto, devido à característica de periodicidade do sinal OFDM [13], é possível utilizar um tempo de guarda obtido através do prefixo cíclico, ou seja, uma parcela do final do símbolo OFDM é copiada para o seu início, tal como mostra a Figura 3, onde T é o tempo útil de sinalização e ΔT é o tempo de guarda.

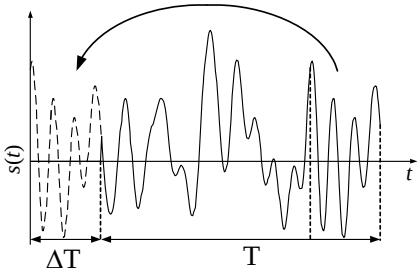


Figura 3. Tempo de guarda obtido através do prefixo cíclico.

Devido a periodicidade de símbolo OFDM, as primeira e última amostras do símbolo OFDM são idênticas, o que significa que a inserção do prefixo cíclico não adiciona pontos de inflexão no sinal, reduzindo a emissão fora da faixa.

A Figura 4 apresenta como o prefixo cíclico impede a ocorrência de interferência entre símbolos OFDM adjacentes em canais com múltiplos percursos, desde que o tempo de guarda seja maior do que o espalhamento temporal do canal.

O prefixo cíclico impede que haja sobreposição temporal entre dois símbolos distintos, ou seja, elimina a ISI (*Intersymbol Interference*). No entanto, a interferência intra-símbolo, que é a interferência que o símbolo desejado sofre de sua versão atrasada, não é removida. Esta interferência causa diferentes variações de amplitude e rotações de fase em cada subportadora, que devem ser compensadas no receptor. Esse processo de equalização pode ser realizado no domínio da frequência de forma simples, graças à utilização de portadoras pilotos [14].

Conforme apresentado nesta seção, a correta inserção do tempo de guarda é fundamental para garantir maior robustez ao sistema de comunicação que emprega OFDM, além de reduzir a emissão fora da faixa.

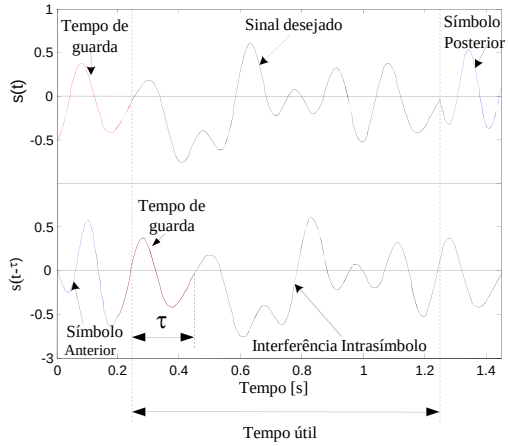


Figura 4. Eliminação da interferência entre símbolos OFDM com o uso do prefixo cíclico.

IV. PARÂMETROS PARA IMPLEMENTAÇÃO DO TEMPO DE GUARDA

O MODEM previsto no Projeto *Design House* deve atingir taxa de transmissão elevadas. Por esta razão, utilizou-se como referência os parâmetros empregados no padrão ISDB-T [8], apresentados na .

Tabela 1. Parâmetros do MODEM OFDM.

Parâmetro	Valor
Largura de faixa	6 MHz
Número de subportadoras	4096
Comprimento do quadro	204 símbolos OFDM
# bits/amostra	14
Valores de tempo de guarda	T/4; T/8; T/16 ou T/32
Frequência de amostragem	8,127 MHz

Para implementar a inserção do prefixo cíclico será utilizado uma memória circular, onde serão escritas as N amostras do símbolo OFDM, e um sistema de controle que irá gerenciar a leitura destas amostras. Basicamente, as amostras do símbolo OFDM serão armazenadas em um *buffer* circular. A posição inicial de leitura deste *buffer* é dada por

$$N_i = N - N_{TG} \quad (1)$$

onde N é o número total de amostras do símbolo OFDM e N_{TG} é o número de amostras que compõem o tempo de guarda. O sistema de controle primeiramente faz a leitura das N_{TG} amostras do tempo de guarda e em seguida faz a leitura da N amostras do tempo útil, tal como apresentado na .para o caso de $N=8$ e $N_{TG}=2$. Note que, neste exemplo, as posições de memórias P6, P7 e P8 serão lidas duas vezes: a primeira durante a inserção do tempo de guarda e a segunda durante a leitura do tempo útil.

A Figura 6 mostra o diagrama do bloco de inserção de tempo de guarda com suas respectivas entradas e saídas. A

Tabela 2 apresenta a descrição destes sinais.

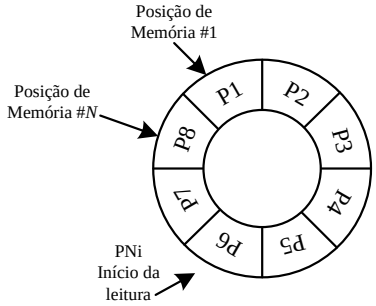


Figura 5. Implementação da inserção do prefixo cíclico utilizando a estrutura de *buffer* circular.

Figura 6. Diagrama do bloco de inserção de tempo de guarda com os sinais de entrada e saída.

Tabela 2. Descrição dos sinais do bloco de inserção de tempo de guarda.

Sinal	Descrição
Data In	Vetor do sinal de entrada complexo com N amostras de 14 bits, totalizando 28N bits.
Valid Data In	Sinal proveniente do bloco anterior que indica que o vetor presente no sinal Data In é válido e pode ser processado
Enable In	Sinal de habilitação do bloco de inserção de tempo de guarda.
N_{TG}	Sinal de 2 bits que indica o número de amostras do tempo de guarda através das proporções N/4, N/8, N/16 ou N/32.
Reset	Sinal de reinicialização do bloco. Esse sinal é retransmitido para o bloco seguinte.
Clock	Sinal de relógio que controla a taxa de operação do bloco.
Data Out	Sinal de saída complexo com $N+N_{TG}$ amostras de 14 bits, totalizando 28($N+N_{TG}$).
Data Out Valid	Sinal que indica ao próximo bloco que o vetor presente no barramento Data Out é válido e pode ser processado.
Enable Out	Sinal que habilita o próximo bloco.

A implementação deste bloco em FPGA (*Field Programmable Gate Array*) [15] garante a flexibilidade necessária para a integração do mesmo em diferentes projetos que requeiram o controle de armazenamento em memórias. Novas aplicações podem ser implementadas através de alterações no bloco de controle.

V. CONCLUSÃO

A proposta do Projeto Design House é abrangente, pois visa o desenvolvimento de um MODEM OFDM com todas as funcionalidades necessárias para que o mesmo seja flexível e atenda a diferentes aplicações. Este trabalho descreve apenas um dos diversos blocos necessários neste MODEM, que é o bloco de inserção do tempo de guarda. Este bloco permite controlar a robustez do sinal OFDM frente a canais com múltiplos percursos. Quatro diferentes comprimentos de tempo de guarda foram implementados, permitindo configurar a relação custo-benefício entre robustez e vazão. Quanto maior for o tempo de guarda, maior será a robustez e menor será a vazão útil. Assim, este bloco permite a operação a altas taxas em canais sem múltiplos percursos, através da utilização do tempo de guarda de T/32 e também permite a utilização em canais com elevado espalhamento temporal, com a utilização do tempo de guarda de T/4. A utilização de VHDL e FPGA garante o bloco desenvolvido possa ser utilizado em outras aplicações que demandem o controle de escrita e leituras em memórias. Através de modificações no bloco de controle é possível utilizar esta solução para atender diferentes aplicações.

REFERÊNCIAS

[1] "Inatel - Instituto Nacional de Telecomunicações - Cursos de telecomunicações, mestrado, pós-graduação, consultoria para empresas e treinamentos". [Online]. Available: http://www.inatel.br/. [Accessed: 30-ago-2012].

[2] A. R. S. Bahai e B. R. Saltzberg, *Multi-carrier digital communications theory and applications of OFDM*. New York: Kluwer Academic/Plenum, 1999.

[3] D. L. Perry, *VHDL programming by example*. New York: McGraw-Hill, 2002.

[4] Radio Electronics, "Wi-Fi: Standards and Applications Tutorial", *IEEE 802.11 Standards Tutorial*, 09-fev-2012. [Online]. Available: http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/ieee-802-11-standards-tutorial.php.

[5] A. Nusairat e X.-Y. Li, "WiMAX/OFDMA Burst Scheduling Algorithm to Maximize Scheduled Data", *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 11, nº 11, p. 1692–1705, nov. 2012.

[6] F. Rancy, E. Zilles, e J.-J. Guitot, "Transition to digital TV and digital dividend", 2011, p. 13–20.

[7] European Broadcasting Union, "Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television", European Telecommunications Standards Institute, ETSI EN 300 744 V1.4.1, 2001.

[8] ITU-R 205/11, "Channel Coding, Frame Structure and Modulation Scheme for Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T)", International Telecommunication Union, Technical Specifications, 1999.

[9] Bernad Sklar, *Digital Communications: Fundamentals and Applications*, 2º ed. New York: Prentice Hall, 2001.

[10] M. J. Canet, F. Vicedo, J. Valls, e V. V. Almenar, "Design of a digital front-end transmitter for ofdm-wlan systems using fpga", in *Proceedings of First International Symposium on Control, Communications and Signal Processing*, Gandia, Spain, p. 503–506.

[11] S. Benedetto e E. Biglieri, *Principles of digital transmission with wireless applications*. New York: Kluwer Academic/Plenum Press, 1999.

[12] J. Van De Beek e F. Berggren, "Out-of-Band Power Suppression in OFDM", *IEEE Communications Letters*, vol. 12, nº 9, p. 609–611, set. 2008.

[13] J. M. Cioffi, "A Multicarrier Primer", Stanford University, Stanford, CA, ANSI T1E1, 1991.

[14] Ahmad Bahai, Manonnet Singh, Andrea Goldsmith, e Burton Saltzberg, "A New Approach for Evaluating Clipping Distortion in Multicarrier Systems", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 20, no 5, nº 5, p. 1037–1046, jun. 2002.

[15] E. Stavinov, *100 power tips for FPGA designers*. [S.l.]: Evgeni Stavinov, 2011.

Novos Resultados sobre a Distribuição Empírica da Estatística de Teste para o Sensoriamento Espectral por sob a Hipótese $\mathcal{H}_1$

Cissa Costa
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
cissacosta@hotmail.com

Rausley Adriano Amaral de Souza
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
rausley@inatel.br

***Resumo*—Este artigo demonstra que além da distribuição Log Pearson III ser uma boa aproximação para a função densidade de probabilidade da estatística de teste para a detecção por máximo autovalor (MED), ela também se encaixa de forma similar em outras técnicas de detecção como a (MMED), detecção baseada na relação entre o máximo e o mínimo autovalores da matriz de covariância do sinal recebido, e a (GLRT), detecção baseada no máximo autovalor da matriz de covariância do sinal sobre o traço da matriz de covariância. Todas elas utilizando o sensoriamento espectral cooperativo, sob a hipótese de que o sinal transmitido pela rede primária está presente. Este resultado complementa os estudos já existentes, podendo agora dizer que a distribuição Log Pearson III realmente é a que melhor se ajusta em várias situações de detecção por autovalores.**

***Palavras chave*—autovalores, sensoriamento espectral cooperativo, matriz de covariância, MMED, MED, GLRT**

I. Introdução

Os órgãos regulatórios que controlam a banda de frequência hoje no Brasil utilizam uma politica de alocação fixa, porém como o espectro é limitado [1,2], o que se nota é a escassez cada vez maior de lacunas no espectro para a concessão de novas faixas de frequências. Logo, surge o conceito de rádio cognitivo (RC) [3-5], uma tecnologia que permite explorar a subutilização do espectro.

Dentro as funções de um RC, uma das mais importantes é o sensoriamento espectral que, basicamente, são as técnicas especialmente desenvolvidas para encontrar "lacunas" no espectro.

O sensoriamento espectral possui duas formas de realização. Pode ser de forma independente no qual cada rádio faz a busca isoladamente, ou de forma cooperativa, na qual se tem mais de um rádio sob cooperação. Pesquisas mais recente estão voltadas para o sensoriamento cooperativo devido aos ganhos obtidos nesta técnica de detecção [6-11].

C. Costa (cissacosta@hotmail.com) e R. A. A. de Souza (rausley@inatel.br) pertencem ao Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel. Av. João de Camargo, 510 - Santa Rita do Sapucaí - MG - Brasil - 37540-000. Este artigo foi parcialmente financiado com recursos da Fapemig (Demanda Universal TEC - APQ-01255-12 e bolsa de Iniciação Científica).

Para o sensoriamento espectral, existem dois parâmetros que definem o seu desempenho. Primeiro, a Probabilidade de Falso Alarme conhecida como P_{FA}, onde se decide que o sinal primário está na banda sensoriada, sendo que na verdade não está. Segundo, é a Probabilidade de Detecção P_{D}, onde se decide pela presença do sinal primário e de fato o sinal está presente na banda sensoriada.

A determinação teórica da P_{FA} e da P_{D} passa pelo conhecimento da fdp (função densidade de probabilidade) da variável de detecção. Sob a hipótese $\mathcal{H}_0$, ou seja, considerando que o sinal primário não está presente na banda de frequência sensoriada, já se sabe que a matriz de covariância do sinal recebido, no caso da técnica MED, é uma matriz *Wishart* [12].

Devido à complexa matemática envolvendo o cálculo da distribuição sob $\mathcal{H}_1$, ou seja, considerando que o sinal primário está presente, ainda não há solução exata para a distribuição dos autovalores da matriz de covariância do sinal recebido. Recentemente, foi demostrado que a distribuição Log-Pearson III é uma boa aproximação para a função densidade de probabilidade da estatística de teste para detecção por máximo autovalor (MED) [13].

Capitalizando os resultados em [13], este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de se encontrar uma expressão empírica para a distribuição dos autovalores da matriz de covariância do sinal recebido considerando duas técnicas de detecção por autovalores sob a hipótese $\mathcal{H}_1$: MMED (*maximum-minimum eigenvalue detection*) e GLRT (*generalized likelihood ratio test*). A partir desta expressão, será possível o cálculo da P_{FA} e P_{D}.

Portanto, este estudo tem como intuito contribuir para o desenvolvimento dos rádios cognitivos (RC), através de uma análise empírica em que a fdp da estatística de teste sobre a hipótese $\mathcal{H}_1$ na técnica MMED e GLRT é determinada, permitindo que se obtenha uma expressão fechada para o cálculo da probabilidade de detecção.

Este artigo é dividido da seguinte forma: a Sessão II apresenta o principio de operação de cada uma das técnicas com suas respectivas estatísticas de testes. A Sessão III discorre sobre o método utilizado para a estimação da fdp do

máximo autovalor da matriz de covariância do sinal recebido sobre a hipótese $\mathcal{H}_1$.

II. Desenvolvimento

Para introduzir as técnicas é necessário entender o princípio de funcionamento de ambas. No sensoriamento cooperativo aqui estudado os dados coletados por cada RC são enviados a um centro de fusão por meio de um canal de controle.

Após processar os dados recebidos, o centro de fusão (CF) toma uma decisão sobre o canal sensoriado, ou seja, se está vazio ou ocupado. A esse processo dá-se o nome de fusão de dados (*data-fusion*). Mas existe outra forma de decisão, na qual o centro de fusão recebe informações já antes decididas por cada RC. Após recebidas, essas informações são combinadas no CF através de operações aritiméticas binárias até que a decisão final seja tomada. Neste caso dá-se o nome de fusões de decisão (*decision-fusion*) [14].

Lembrando que em ambos os esquemas, a decisão final é sempre tomada pelo CF, e em seguida enviada pelo canal de controle para cada RCs. Neste trabalho, considera-se o sensoriamento cooperativo do tipo fusão de dados, no qual normalmente se utiliza o canal do tipo MIMO *(multiple input, multiple output*).

Para desenvolver o algoritmo, adota-se que haja *m* antenas, cada uma coletando *n* amostras do sinal recebido de *p* transmissores primários durante um tempo de sensoriamento. Da mesma forma, as amostras referentes aos sinais transmitidos pelos *p* transmissores são arranjadas em uma matriz **X**. A matriz **H** é a matriz do canal que representa o ganho entre o transmissor primário e o RC. E finalmente, a matriz **V**, que contém amostras do ruído que contamina o sinal recebido, lembrando que o ruído aqui adotado é o AWGN (*additive white Gaussian noise*). Tomando como base essa estrutura, a matriz que contém as amostras do sinal recebido é então

$$\mathbf{Y} = \mathbf{HX} + \mathbf{V}. \tag{1}$$

No sensoriamento cooperativo por autovalores, os espaços no espectro são detectados por meio de testes a partir da matriz de covariância do sinal recebido na qual tem sua estimação de máxima verossimilhança dada pela sua média amostral. Portanto, a matriz de covariância pode ser calculada por

$$\mathbf{R} = \frac{1}{n}\mathbf{YY}^{\dagger}, \tag{2}$$

onde $(\cdot)^{\dagger}$ significa o conjugado complexo composto.

A. MMED

A variável de decisão na técnica MMED é calculada através da seguinte equação

$$T_{\text{MMED}} = \frac{\lambda_1}{\lambda_m}, \tag{3}$$

onde λ_1 e λ_m são, respectivamente, o máximo e o mínimo autovalores.

B. GLRT

A técnica GLRT é calculada pela razão entre o máximo autovalor e o traço da matriz de covariância, **R**, do sinal recebido. Lembrando que o traço nada mais é do que uma função matricial que associa a matriz à soma dos elementos da sua diagonal principal. Essa matriz tem que ser necessariamente uma matriz quadrada. Então

$$T_{\text{GLRT}} = \frac{\lambda_1}{\frac{1}{m}\text{tr}(\mathbf{R})} = \frac{\lambda_1}{\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\lambda_i}. \tag{4}$$

A partir de (3) e (4) utiliza-se o algoritimo de detecção: se $T > \gamma$, considera-se que o sinal primário está presente na banda de frequência sensoriada. Caso contrário, considera-se que o sinal primário não está presente. Vale ressaltar que γ representa o limiar de decisão utilizado pelo CF.

III. Procedimentos de teste

A. O teste de Kolmogorov- Smirnov

A partir do conjunto de valores encontrados na observação da variável aleatória de decisão *T*, é possível selecionar distribuições de probabilidades teóricas que possam representar os valores encontrados. Assim o teste escolhido aqui foi o teste de aderência Kolmogorov-Smirnov [15], selecionado através do programa EasyFit [16].

Assim os testes foram feitos de forma separada para cada uma das técnicas aqui estudadas, de forma a encontrar uma tabela de classificação das dez distribuições mais bem colocadas para cada técnica.

B. Dados

A partir do programa MATLAB foi possível obter uma amostra de tamanho *N* da variável de decisão *T*. Foram geradas também cada uma das matrizes citadas na sessão II, as matrizes **X**, **V** e **H**, e finalmente, **Y**.

Para a geração das matrizes foram considerados 34 conjuntos de valores para os seguintes parâmetros: *m* (número de RCs), *n* (número de amostras colhidas) e SNR (relação sinal ruído). Lembrando que todos os testes foram feitos sempre considerando um transmissor primário (*p*=1).

Com estes valores foram obtidos 32 amostras de tamanho *N*= 5000 da varíavel de decisão *T*.

C. Análise e determinação da distribuição T sobre a hipótese $\mathcal{H}_1$

Para ser feita a análise, a determinação empírica da distribuição de probabilidade de cada técnica, utilizou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov, como citado acima.

As Tabelas I e II demonstram a classificação das 10 distribuições mais bem colocadas no teste de aderência, assim como o número de vezes em que cada uma esteve presente entre as 12 primeiras colocadas nos 34 testes realizados. Observando a tabela obtida com os testes, pode se observar que a distribuição Log Pearson III esteve sempre a frente das outras distribuições em ambas as técnicas aqui estudadas.

De acordo com a Tabela I, referente à técnica GLRT, a distribuição Log Pearson III esteve entre as 10 primeiras

colocadas 32 vezes dos 32 testes obtidos, alcançando o primeiro lugar sem deixar qualquer dúvida. Desta forma conclui-se que a distribuição Log Pearson III representa uma boa estimativa para a técnica GLRT.

De acordo com a Tabela II, referente à técnica MMED, a distribuição Log Pearson III esteve novamente entre as 10 primeiras colocadas 32 vezes dos 32 testes obtidos, sendo classificada como a mais próxima para a estimação empírica da técnica. Assim, conclui-se que além da Log Pearson III ser compatível com a técnica GLRT, mostrou-se é também com a técnica MMED.

A função densidade de probabilidade da distribuição Log Pearson III é dada por

$$f_T(t) = \frac{1}{t\,|b|\,\Gamma(a)}\left(\frac{\ln(t)-c}{b}\right)^{a-1}\exp\left(-\frac{\ln(t)-c}{b}\right), \qquad (5)$$

onde a, b e c são, respectivamente, os parâmetros de forma, escala e posição de tal distribuição e $\Gamma(\cdot)$ é a função Gamma.

A expressão fechada para P_D será

$$P_D = \frac{\Gamma\left(a, \dfrac{\ln(t)-c}{b}\right)}{\Gamma(a)}, \qquad (6)$$

onde $\Gamma(\cdot,\cdot)$ é a função Gamma incompleta.

A Figura 1 demonstra, como exemplo, as fdps geradas para a técnica MMED considerando m = 5 e m = 10 RCs, n = 100 amostras coletadas e SNR = 7 dB. No Anexo I encontra-se o código em Matlab utilizado para plotar a Figura 1. A Figura 2 demonstra, como exemplo, as fdps geradas para a técnica GLRT considerando m = 10 e m = 5 RCs, n = 100 amostras coletadas e SNR = 7 dB e SNR = 10 dB. O mesmo código em Matlab demonstrado no Anexo I pode ser usado para plotar a Figura 2, bastando apenas usar a expressão para o cálculo da variável de decisão referente á técnica GLRT.

TABELA I
FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIAS DAS DISTRIBUIÇÕES PARA GLRT.

Classificação	Distribuição	Frequência
1	Log Pearson III	32
2	Pearson 6 (4P)	31
3	Gen.Gamma(4P)	30
4	Lognormal(3P)	29
5	Fatigue Life(3P)	29
6	Gen Extreme Value	27
7	Inv Gaussiana(3P)	26
8	Pearson 5(3P)	25
9	Johnson SB	23
10	Gamma 3P	20

TABELA II
FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIAS DAS DISTRIBUIÇÕES PARA MMED.

Classificação	Distribuição	Frequência
1	Log Pearson III	32
2	Gen.Gamma(4P)	30
3	Pearson 6 (4P)	30
4	Lognormal	28
5	Gen Extreme Value	27
6	Pearson 5	27
7	Fatigue Life(3P)	26
8	Pearson 5(3P)	24
9	Johnson SB	24
10	Gamma	23

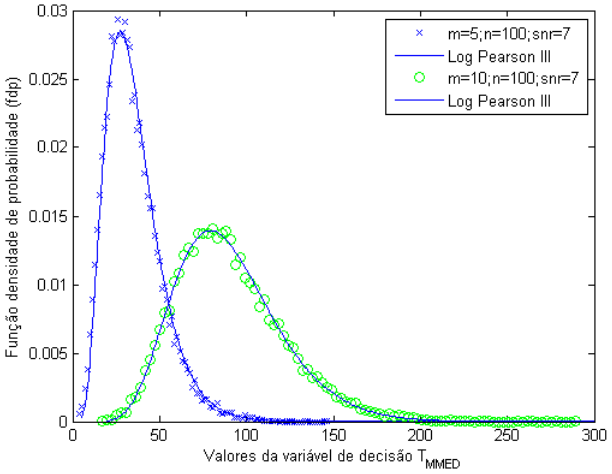


Fig. 1. Função densidade de probabilidade obtida por simulação (empíricas) para a técnica MMED.

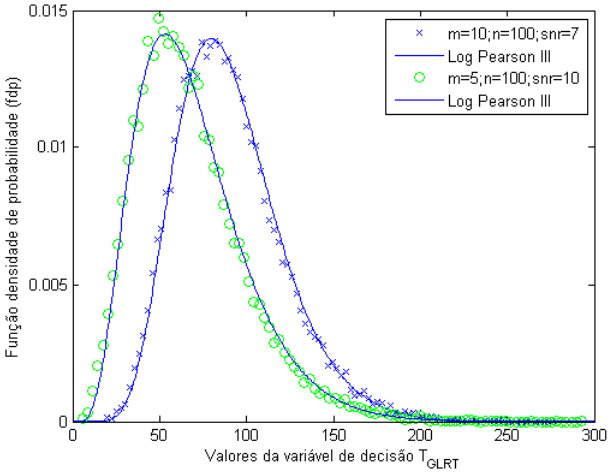


Fig. 1. Função densidade de probabilidade obtida por simulação (empíricas) para a técnica GLRT.

IV. CONCLUSÕES

Usando uma análise empírica baseada no teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov foi possível estimar a função

densidade de probabilidade das estatísticas de teste das técnicas MMED e GLRT para o caso onde cada RC recebe sinal mais ruído, isto é, quando o sinal primário está presente na banda de frequências sensoriada. Portando, é possível encontrar facilmente a probabilidade de detecção do algoritmo de sensoriamento baseado em tais técnicas de detecção.

V. Agradecimentos

À Fapemig pelo apoio financeiro através de recursos provenientes dos projetos de bolsa de Iniciação Científica e Demanda Universal TEC - APQ-01255-12.

Apêndice I

O programa em Matlab apresentado a seguir tem como objetivo gerar uma amostra de tamanho *N* da variável de decisão *T* definida em (3), MMED, ou (4), GLRT. Os parâmetros de entrada são *N*, *m*, *n*, *p* e σ^2, sendo que este último pode assumir qualquer valor sem provocar alterações nos resultados.

```
bins=100; N=20000; m=10; n=100; sigma=1;
SNR=7; p=1;

for u=1:N;
H=sqrt(1/2)*randn(m,p)+1i*sqrt(1/2)*randn
(m,p);
X=sqrt((10^(SNR/10)*sigma^2)/2)*randn(p,n
)+1i*sqrt((10^(SNR/10)*sigma^2)/2)*randn(
p,n);
V=sqrt(sigma^2/2)*randn(m,n)+1i*sqrt(sigm
a^2/2)*randn(m,n);
      Y=H*X+V;
      nr=Y*Y';
D(u,1)=max(eig(nr))/min(eig(nr));%MMED
%D(u,1)=max(eig(nr))/(1/m).*trace(nr);
%GLRT

End

h=hist(D,bins);
e=0;
x=linspace(min(D),max(D),bins);
d=x(1,2)-x(1,1);
e=d*N;
f=h/e;
plot(x,f,'o')
xlabel('Valores da variável de decisão
T_{MMED}')
ylabel('Função densidade de probabilidade
(fdp)');
```

Referências

[1] M. A. McHenry, P. A. Tenhula and D. McCloskey, “Chicago Spectrum Occupancy Measurements & Analysis and a Long-term Studies Proposal”, Shared Spectrum Co. report, November 2005.

[2] M. H. Islam et al., “Spectrum survey in Singapore: occupancy measurements and analysis”, in Proceedings of the CROWNCOM’08, Singapore, May 2008.

[3] J. Mitola, Cognitive radio: An integrated agent architecture for software defined radio, Doctor of Technology, KTH, Sweden, 2000.

[4] Y. Zeng, et al., “A Review on Spectrum Sensing for Cognitive Radio: Challenges and Solutions”, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, vol. 2010.

[5] I. F. Akyildiz, B. F. Lo, and R. Balakrishnan, “Cooperative Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks: A Survey”, Elsevier Physical Comm. 4, pp. 40-62, 2010.

[6] A. Kortun, et al., “On the Performance of Eigenvalue-Based Cooperative Spectrum Sensing for Cognitive Radio”, IEEE J. of Selected Topics In Signal Processing, vol. 5, no. 1, February 2011.

[7] B. Nadler, F. Penna, and R. Garello, “Performance of Eigenvalue-based Signal Detectors with Known and Unknown Noise Level”, In: Proc. of the IEEE ICC, Kyoto, Japan, June 2011.

[8] A. Kortun, T. Ratnarajah, and M. Sellathurai, “Exact Performance Analysis of Blindly Combined Energy Detection for Spectrum Sensing”, IEEE PIMRC’10, 2010.

[9] D. A. Guimarães e R. A. A. de Souza, “Implementation-Oriented Model for Centralized Data-Fusion Cooperative Spectrum Sensing”, *Communications Letters, IEEE*, vol. 16, no 11, p. 1804–1807, nov. 2012.

[10] R. A. A. de Souza, D. A. Guimarães and A. A. dos Anjos (2013). Simulation Platform for Performance Analysis of Cooperative Eigenvalue Spectrum Sensing with a Realistic Receiver Model Under Impulsive Noise, Vehicular Technologies - Deployment and Applications, Dr. Lorenzo Galati Giordano (Ed.), ISBN: 978-953-51-0992-1, InTech, DOI: 10.5772/55432. Disponível em: http://www.intechopen.com/books/vehicular-technologies-deployment-and-applications/simulation-platform-for-performance-analysis-of-cooperative-eigenvalue-spectrum-sensing-with-a-reali.

[11] D. A. Guimarães de Souza, R. A. A. de Souza e A. N. Barreto. 2013. "Performance of Cooperative Eigenvalue Spectrum Sensing with a Realistic Receiver Model under Impulsive Noise." *J. Sens. Actuator Netw.* 2, no. 1: 46-69. Disponível em: http://www.mdpi.com/2224-2708/2/1/46.

[12] Wikipedia contributors, “Wishart Distribution,” Wikipedia, The Free Encyclopedia: Disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/Wishart_distribution.

[13] J. S. Neto, D. A. Guimarães e R. A. A. de Souza, “Estimação Empírica da Distribuição da Estatística de Teste para o Sensoriamento Espectral por Máximo Autovalor sob a Hipótese H_1”, in *XXX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBrT’12)*, Brasília, DF, 2012.

[14] S. Cheng (Ed.), “Foundation of Cognitive Radio Systems”. Croatia: Intech Inc. 2012.

[15] J. E. Gentle, *Random Number Generation and Monte Carlo Methods*, 2nd edition. Springer, 2005.

[16] EasyFit - Distribution Fitting Software. http://www.mathwave.com/products/easyfit.html (Acesso em 15 de Março de 2012).

Desafios do Streaming de Vídeo pela Internet

Robson Noriaki Yamada
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - IFAM
yamada.robson@hotmail.com

João Guilherme de Moraes Silva
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - IFAM
guilerme@ifam.edu.br

***Resumo* - Com o surgimento de novas aplicações para o Serviço de *streaming* de vídeo pela Internet, como, por exemplo, o IPTV, existe uma crescente demanda por melhorias na qualidade deste tipo de serviço. As características deste tipo de mídia, como complexidade e volume de informações, faz com que a sua transmissão e recepção seja uma fonte de desafios para a pesquisa. Neste artigo, é apresentada uma arquitetura básica de um sistema de streaming de vídeo e em seguida alguns dos desafios relevantes desta área, os quais quando devidamente atacados geram melhorias significativas na qualidade do serviço.**

***Palavras-chave*: Internet, *IPTV*, *streaming*, vídeo;**

***Abstract* - With the emergence of new applications for video streaming service over the Internet, for example IPTV, there is a growing demand for improvements in the quality of this type of service. The characteristics of this type of media, such as complexity and volume of information, makes its transmission and reception is a source of research challenges. In this article, we present a basic architecture of a system for streaming video and then some of the important challenges of this area, which when properly attacked generate significant improvements in service quality.**

***Keywords:* Internet, IPTV, streaming, video;**

I. INTRODUÇÃO

A transmissão de conteúdo multimídia pela Internet continua crescendo e evoluindo à medida que mais usuários passam a ter acesso a conexões com maior velocidade. Com a popularização de aplicações como, por exemplo, a IPTV, que permite assistir programas de televisão na Internet, a pesquisa sobre transmissão e recepção (*streaming*) de vídeo digital, torna-se essencial para garantir que estes serviços sejam aperfeiçoados em termos de qualidade, tanto do serviço (QoS) quanto da experiência do usuário (QoE).

Dentre os conteúdos multimídia que podem ser transmitidos pela Internet, o vídeo está certamente entre os que apresentam maior complexidade devido as suas características intrínsecas, como o grande volume de informações e a necessidade de manter o sincronismo entre áudio e vídeo. Além disso, existem as dificuldades relacionadas ao processo de codificação e de transmissão via rede, principalmente uma rede com características peculiares como a Internet.

Em [1], o streaming de vídeo é dividido em seis áreas chave: compressão de vídeo, controle de QoS no nível de aplicação, serviços de distribuição de mídia de forma continua, servidores de streaming, mecanismos de sincronização de mídia e protocolos de streaming de mídia. Grande parte dos desafios relacionados com streaming de vídeo na Internet está de alguma forma relacionada a uma destas áreas, entretanto, o objetivo principal deste artigo não é apresentar detalhes sobre as mesmas, mas listar e comentar de forma sucinta, alguns dos problemas de streaming de vídeo na Internet atacados pelos pesquisadores nos últimos anos.

A divisão proposta em [1] servirá para facilitar o entendimento das partes que compõe um sistema de streaming de vídeo e como estas partes estão correlacionadas, assim, será mais fácil entender em que momento ocorre cada problema apresentado e quais elementos estão envolvidos no processo.

A arquitetura básica de um sistema de streaming de vídeo pode ser vista na figura [1]. Nesta figura pode ser notado o fluxo dos dados, iniciando pelo vídeo e áudio sem compressão nos seus formatos originais de captura, em seguida cada um passa por um processo de compressão, geralmente com algoritmos diferentes, apropriados para cada tipo de mídia. O resultado da compressão é armazenado em um dispositivo especial para esse fim no servidor de streaming. No próximo passo, inicia-se a transmissão do conteúdo comprimido e já no nível de aplicação, várias ações relacionadas com adaptação a diferentes condições da rede e de requisitos de usuário podem ser tomadas para garantir uma boa QoS e consequentemente melhorias na QoE.

Em um nível mais baixo na rede, os protocolos de comunicação, quando utilizados para transmissão de conteúdo de multimídia, poderão apresentar comportamentos otimizados para esse fim e em alguns casos, novos protocolos são desenvolvidos acima dos já existentes, como o protocolo *real-time streaming protocol* (RTSP). Através destes protocolos, o conteúdo é transmitido para o destino da comunicação, o cliente ou receptor, onde áudio e vídeo serão descomprimidos ou decodificados em separado, necessitando de um processamento por mecanismos de sincronização para que, somente então, o resultado final seja apresentado ao usuário.

R. N. Yamada (yamada.robson@hotmail.com) e J. G. M. Silva (guilherme@ifam.edu.br) pertencem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - IFAM. Av. Sete de Setembro, 1975 - Manaus - AM - Brasil - 69020-120.

Nas próximas sessões, serão expostos alguns dos problemas encontrados durante o processo de streaming de vídeo pela Internet, citando esforços mais recentes da academia na resolução dos mesmos. Para simplificar o entendimento, os problemas serão divididos em apenas duas categorias: problemas relacionados ao tipo do conteúdo, os quais serão vistos na seção II, problemas relacionados à rede, na seção III. A conclusão, seção IV, apresenta um comentário geral sobre os problemas expostos e sobre o possível direcionamento das pesquisas nesta área.

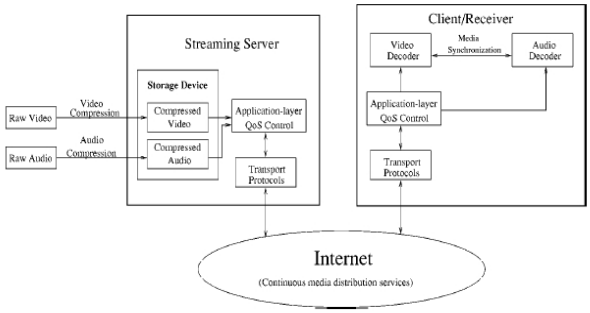


Figura 1. Arquitetura básica de um sistema de streaming de vídeo na Internet. Baseada na figura 1 em [1]

II. PROBLEMAS RELACIONADOS AO TIPO DE CONTEÚDO

A transmissão de conteúdo multimídia através de redes de computadores seja no formato de áudio, imagens ou vídeo, representa um desafio maior que a transmissão de conteúdo baseado somente em texto. O próprio formato e volume dos dados são bem diferentes nas duas situações, sendo que para armazenar e transmitir conteúdo no formato de vídeo, o grande volume de dados desse tipo de conteúdo é uma característica que precisa ser considerada. Além disso, como o vídeo agrega imagens e áudio, o processamento destes dois componentes deve garantir que os mesmos estejam sempre sincronizados, ou a qualidade da percepção dos usuários será seriamente comprometida.

A seguir, serão descritos os problemas relacionados ao volume de dados e à necessidade de sincronismo no processamento de conteúdo no formato de vídeo.

A. Grande Volume de Dados

Uma sequência de vídeo, quando convertida para o formato digital, necessita de uma grande quantidade de bytes para representá-la, o que significa uma necessidade maior em termos de espaço em dispositivos de armazenamento em servidores e de largura de banda em caso de transmissão deste conteúdo. Como geralmente existem restrições destes recursos, uma solução para esse problema tem sido utilizar métodos para comprimir o conteúdo, aumentando assim a eficiência, tanto no armazenamento quanto na transmissão de vídeo, principalmente através da Internet, onde em muitos casos, as restrições de recursos como largura de banda são mais frequentes.

Grande parte das soluções de compressão de dados atualmente é baseada em melhorias nos padrões propostos pelo *Moving Picture Experts Group* (MPEG), que desde suas primeiras versões utiliza técnicas de compressão baseadas em predição e interpolação de quadros do vídeo [2]. Recentemente, o padrão MPEG-4 parte 10 ou H.264 [3], tem sido amplamente utilizado, tanto na indústria de eletrônica de consumo, em tocadores de discos *Blu-ray*, como em serviços de streaming de vídeo na Internet amplamente utilizados como o *Youtube* [4]. Este padrão foi criado para proporcionar uma boa qualidade de vídeo com uma baixa taxa de bits, sem que houvesse um grande aumento na complexidade da implementação. Além disso, o padrão também apresenta flexibilidade em termos de taxa de bits e resolução de vídeo, o que o qualifica para ser utilizado por um maior número de aplicações.

Trabalhos recentes procuram melhorias em pontos específicos, como, por exemplo, em [5], onde o autor propõe um novo filtro para ser usado na compressão de vídeo, o qual apresenta melhor desempenho em termos de velocidade de compressão e qualidade de vídeo quando comparado aos filtros usados no padrão H.264. Outras abordagens, como em [6], combinam a utilização de algoritmos de software como transformações *wavelets* em 3D com otimizações em *hardware* usando DSP e FPGA, para melhorar o desempenho da taxa de compressão e suavizar o efeito mosaico no padrão MPEG-4.

III. PROBLEMAS RELACIONADOS À REDE

Após reduzir a quantidade de informação a ser transmitida utilizando-se técnicas de compressão, o vídeo precisa ser enviado ao receptor através da rede. Neste momento, vários fatores devem ser levados em consideração para que se obtenha uma recepção de vídeo com qualidade aceitável. Avaliando a questão de forma simplificada, podemos notar que, para que o vídeo seja exibido de forma contínua no receptor, os quadros que o compõe e o respectivo fluxo de áudio deve chegar a uma taxa que, ao mesmo tempo, não sobrecarregue o receptor, mas que também não demore demais causando interrupções na hora de executar o vídeo.

Apesar do desempenho do mecanismo de decodificação também estar entre os fatores a serem considerados, a rede detém grande parte da responsabilidade em manter o fluxo contínuo e garantir uma melhor QoE. Como as redes não estão livres de falhas, pode ocorrer que parte da informação seja perdida durante o processo de comunicação, o que certamente tem impacto na forma como o vídeo será exibido, dependendo dos mecanismos utilizados para amenizar este problema.

Nesta seção, serão listados alguns dos problemas mais comuns relativos às redes de comunicação e em especial à rede em questão neste artigo, a Internet.

A. Ausência de garantia de QoS

Internet é uma rede extremamente heterogênea, o que dificulta tentativas de implementar mecanismos de controle

para garantir tratamento especial para aplicações ou fluxo de dados, desta forma ela trabalha como uma rede do tipo melhor-esforço (*best-effort*), ou seja, não existe mecanismos de garantia de QoS no nível de rede. Para aplicações multimídia, como *streaming* de vídeo, essa ausência de QoE gera grandes problemas devido esse tipo de aplicação requerer mais recursos do que a maioria das outras aplicações.

Uma forma de amenizar este problema é a utilização de técnicas no nível da aplicação para garantir algum nível de controle de qualidade. Estas técnicas são utilizadas principalmente para o controle de congestionamento e para controle de erros [1].

Neste tipo de sistema, a aplicação monitora as características da rede através de mensagens de controle trocadas entre o servidor de *stream* e o receptor e tenta adaptar-se a cada momento aos recursos disponíveis, controlando, por exemplo, a taxa de transmissão do vídeo. O uso destas técnicas de controle de congestionamento ajuda a evitar a perda de pacotes e o atraso, mas não corrige erros de transmissão [7], sendo assim, técnicas para controle e correção de erros são igualmente necessárias.

Uma forma de corrigir erros na transmissão é a *Forward Error Correction* (FEC), que consiste em inserir *bits* redundantes no conteúdo original. Esta técnica apesar de não ser nova, continua sendo utilizada e aperfeiçoada em pesquisas recentes como em [8]. Uma outra forma é a retransmissão de pacotes, que no caso do streaming de vídeo, necessita de um mecanismo de controle mais sofisticado na hora de decidir quando um pacote deve ser retransmitido. Uma terceira forma de corrigir erros é tornar os algoritmos de codificação mais robustos em relação à ocorrência de erros. Uma outra forma elegante é utilizar o fato de que os olhos humanos são tolerantes a determinados níveis de distorção no vídeo e usar interpolação para reconstruir o sinal original quando ocorrerem falhas [7].

B. *Protocolos não projetados para streaming de vídeo*

Os protocolos de rede usados na Internet, em grande parte baseados na pilha de protocolos TCP/IP, não foram inicialmente projetados visando a transmissão de vídeo. Isso faz com que alguns protocolos adicionais precisem ser utilizados para permitir o controle necessário nesse tipo de transmissão, como exemplo, o *Real Time Streaming Protocol* (RTSP) [9] que, além do controle de sessão, ajuda a disponibilizar funcionalidades semelhantes aos dos antigos aparelhos de vídeo cassete, como stop (parar), pause (pausar), resume (continuar do ponto onde foi colocado em pausa), *fast forward* (avanço rápido) e *fast rewind* (retrocesso rápido).

Além dos protocolos bem estabelecidos como o RTSP, diversas propostas de novos protocolos têm sido apresentadas focando em nichos específicos, como o CUSTP [10], voltado para comunicação *peer-to-peer* (P2P).

IV. PROBLEMAS RELACIONADOS AO CLIENTE OU RECEPTOR

Quando o conteúdo chega ao receptor, ele precisa ser decodificado e processado para manter o sincronismo entre o áudio e o vídeo e ser exibido da forma mais próxima à forma original em que foi codificado no servidor de streaming. Tanto o desempenho do receptor na decodificação, quanto problemas de sincronismo podem afetar o resultado final da operação.

A. *Desempenho do decodificador*

Ao receber o *streaming* de vídeo codificado, o cliente ou receptor deve decodificá-lo, geralmente em tempo real para então exibir o vídeo em fluxo contínuo para o usuário. Caso o sistema não seja capaz de decodificar o vídeo na velocidade necessária, é provável que isso cause problemas, tanto no processo de comunicação, como, por exemplo, o descarte de pacotes por indisponibilidade do receptor, como no processo de exibição do vídeo, com interrupções não desejadas. Esforços têm sido realizados para melhorar o desempenho do processo de decodificação. Existem propostas tanto em software [11] como em hardware [12].

B. *Sincronismo*

Mesmo que o conteúdo de áudio e vídeo seja entregue com ótima qualidade no receptor, ainda existe um último desafio que consiste em garantir o sincronismo dos mesmos, visto que, um problema de sincronismo causará uma desagradável experiência para o usuário. Um exemplo importante é o sincronismo da voz com o movimento labial no vídeo. Em [13] podem ser encontradas algumas técnicas de como manter este sincronismo.

V. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou alguns desafios da área de *streaming* de vídeo pela Internet. Apesar destes desafios não serem recentes, é interessante notar, pelas referências utilizadas, que a maioria destes continua sendo objeto de pesquisa e que melhorias em processos, *software* e *hardware* têm sido propostas para otimizar a transmissão e recepção de vídeo pela Internet. As pesquisas mais recentes convergem para a criação de novos protocolos e aperfeiçoamento dos algoritmos de compressão existentes, que combinados com uma maior disponibilidade de recursos na Internet, poderão gerar uma melhoria significativa no serviço de *streaming* de vídeo nos próximos anos, atendendo assim à crescente demanda por esse tipo de serviço.

REFERÊNCIAS

[1] D. Wu, Y. T. Hou, W. Zhu, Y.-Q. Zhang, and J. M. Peha, “Streaming video over the Internet: approaches and directions,” Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on, vol. 11, no. 3, pp. 282–300, 2001. [Online]. Available: http://dx.doi.org/ 10.1109/76.911156

[2] D. Le Gall, “MPEG: a video compression standard for multimedia applications,” Commun. ACM, vol. 34, n° 4, pp. 46–58, April 1991. [Online]. Available: http://dx.doi.org/ 10.1145/103085.103090

[3] H.264: Advanced video coding for generic audiovisual services. [Online]. Available: http://www.itu.int/itudoc/itut/aap/sg16aap/recaap/h264/h264.html
[4] YouTube, “Youtube - bradcast yourself,” December 2010, http://www.youtube.com.
[5] Y. Liu, “Unified loop filter for video compression,” IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2010.
[6] L. Z. Chunlei Jiang, “Design and optimization of video compression system based on mpeg-4,” International Conference on Computer Application and System Modeling, 2010.
[7] S. Hao, X. Huang, and Y. Ma, “Application qos for video: benchmarking, control strategies and business systems,” in Proceedings of the 5th International Conference on Wireless communications, networking and mobile computing, ser. WiCOM’09. Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 2009, pp. 4364–4367. [Online]. Available: http://portal.acm.org/ citation.cfm?id=1738467.1738527
[8] A. Fujimoto, K. Murakami, and H. Tode, “Highly reliable inter/intra-stream fec method for multi – server content distribution,” in Proceedings of the 7th IEEE conference on Consumer communications and networking conference, ser. CCNC’10. Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 2010, pp. 184–188. [Online]. Available: http://portal.acm.org/ citation.cfm?id=1834217.1834254
[9] H. Schulzrinne, A. Rao, and R. Lanphier, “Real time streaming protocol (rtsp),” United States, 1998.
[10] S. A. A.-T. A. M. M. Saleh A. AlOmari, Putra Sumari, “Custp: Custom protocol for audio and video conferencing system over p2p networks,” International Journal of Digital Content Technology and its Applications, 2010.
[11] E. Bezati, M. Mattavelli, and M. Raulet, “RVC-CAL dataflow implementations of MPEG AVC/H.264 CABAC decoding,” in Conference on Design and Architectures for Signal and Image Processing, DASIP 2010, 2010.
[12] D. C. Honghua Hu, “Optimization techniques for a dsp based h.264 decoder,” International Conference on Signal Processing Systems, 2010.
[13] N. Laoutaris, I. Stavrakakis, A. Survey, and P. Schedulers, “Intrastream synchronization for continuous media streams: A survey of playout schedulers,” 2002.

Solução em Automação Residencial com Gerenciamento via Página WEB

Alled Ghazale de Paiva

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
alledpaiva@gmail.com

Larissa de Souza Pereira Rosa

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
larissarosa@get.inatel.br

Rodrigo de Barros Vimieiro

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
rodrigo.vimieiro@hotmail.com

Yan Real

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
real.yan@yahoo.com.br

Carlos Alberto Ynoguti

Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
ynoguti@inatel.br

***Resumo*— Este trabalho tem por objetivo o estudo e a implementação de um sistema de automação residencial wireless que permita o controle remoto de qualquer dispositivo eletrônico ligado à tomada, visando automatizar e simplificar as rotinas de uma residência. O acesso ao sistema automatizado é realizado através de uma página WEB, podendo ser acessada de qualquer smartphone, tablet ou mesmo computador de qualquer lugar do mundo.**

***Palavras chave*— Automação, domótica, gerenciamento, wireless, WEB.**

***Abstract*— This work aims at the study and implementation of a wireless home automation system that allows remote control of any electronic device plugged in, in order to automate and simplify the routines of a residence. The automated system access is performed through a web page and can be accessed from any smartphone, tablet or computer from anywhere in the world.**

***Keywords* — Automation, home automation, management, wireless, WEB.**

I. INTRODUÇÃO

Durante décadas, países em desenvolvimento deixaram o planejamento urbano e social em segundo plano. As cidades cresceram de forma desordenada e hoje se paga um alto preço por um mínimo de qualidade de vida [1]. Nesta visão, a chamada "casa inteligente" tem seu papel social ampliado, pois além de proporcional o conforto com a interligação de equipamentos eletrônicos, possibilita o controle destes equipamentos de forma remota. A ciência que estuda essa relação entre o homem e sua casa é chamada de Domótica.

O termo "Domótica" resulta da junção da palavra latina "Domus" (casa) com "Robótica" (controle automatizado de algo). Quando a domótica surgiu (com os primeiros edifícios, nos anos 80) pretendia-se controlar a iluminação, climatização, a segurança e a interligação entre estes 3 elementos. [2]

A Automação Residencial é um ramo da Automação Predial especializada no controle de operações no âmbito doméstico. Ela se utiliza de sistemas de controle para gerenciar equipamentos eletroeletrônicos e eletromecânicos reduzindo a intervenção humana.[3]

A Figura 1 [4] exemplifica uma rede de Automação Residencial baseada nos conceitos domóticos.

Figura 1 - Exemplo de uma rede de Automação Residencial

Manuscrito recebido em 2 de abril de 2013; revisado em 06 de abril de 2013.

A. G. Paiva (alledpaiva@gmail.com), L. S. P. Rosa (larissarosa@get.inatel.br), R. B. Vimieiro (rodrigo.vimieiro@hotmail.com), Y. Real (real.yan@yahoo.com.br) e C. A. Ynoguti (ynoguti@inatel.br) pertencem ao Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel. Av. João de Camargo, 510 - Santa Rita do Sapucaí - MG - Brasil - 37540-000.

A evolução tecnológica dos diferentes sistemas domésticos, aliados ao crescimento explosivo da Internet e os resultados dos investimentos em infraestrutura de comunicações têm estimulado a indústria de construção civil a incorporar soluções inovadoras de automação residencial em seus novos empreendimentos.

Utilizando conceitos vindos do estudo da Domótica e técnicas da Automação Residencial, o projeto "Solução em Automação Residencial com Gerenciamento via Página WEB" tem como objetivo permitir o controle de qualquer dispositivo eletrônico ligado à tomada. Distinguindo-se dos controles comuns que possuem uma central de comando, esta solução possibilita o controle remoto dos dispositivos através de um Servidor WEB. Sendo assim, o usuário pode controlar sua casa via Internet, através de um celular, tablet ou computador a qualquer hora e de qualquer lugar do mundo.

II. FUNCIONALIDADES E APLICAÇÕES

Dentre as funcionalidades já implementadas no projeto pode-se citar:

- Controlar os dispositivos eletroeletrônicos via rede local ou pela Internet;
- Selecionar o cômodo desejado;
- Selecionar o dispositivo que se deseja acionar/desacionar no cômodo correspondente;
- Programar a temporização de uma tarefa;
- Monitorar os cômodos através de uma câmera IP rotacional através da Internet;
- Fluxo bidirecional de informações: o comando é enviado e uma resposta é emitida com o status do dispositivo controlado;
- Possibilidade de se controlar até 6 dispositivos eletroeletrônicos por cômodo;
- Acessar a página WEB de gerenciamento através de qualquer aparelho com acesso à Internet, em qualquer lugar, qualquer hora.

Com estas funcionalidades já implementadas, o usuário é capaz de acender luzes ou acionar alarmes, por exemplo, via Internet, basta que ele possua um aparelho com conexão.

O foco para as aplicações deste projeto estão nas áreas de uso racional da energia elétrica, auxílio aos portadores de deficiência e telemedicina [5].

A. *Uso racional da energia elétrica*

A economia de energia ou o cuidado com o desperdício foi um dos principais determinantes do desenvolvimento dos sistemas automatizados. Segundo pesquisa feita pela prefeitura de São Paulo sobre o consumo de energia elétrica, os gastos com iluminação chegam a 24% em prédios públicos e a 70% em unidades escolares. [6] Este alto consumo pode ser resolvido com o controle automatizado ou temporização de lâmpadas, função atendida por este projeto.

B. *Auxílio aos portadores de deficiência*

Para um portador de deficiência, faz muita diferença ser capaz de ligar ou desligar luzes e equipamentos a partir de uma cadeira de rodas ou da cama. Os sistemas de câmeras conectadas à Internet proposto neste trabalho são um exemplo perfeito de como monitorar pessoas e equipamentos à distância.

C. *Telemedicina:*

A medicina aliada à telemetria pode monitorar pessoas em suas próprias casas, evitando tanto o deslocamento até o posto médico como sendo um apoio à medicina preventiva. Através da página WEB, o médico pode monitorar seu paciente coletando dados de exames diários, batimentos cardíacos entre outros.

III. TECNOLOGIAS UTILIZADAS

A fim de demonstrar a viabilidade de se juntar tecnologias diferentes para atingir um sistema integrado, este projeto utiliza como base um microcontrolador que se comunica com um circuito transmissor, um roteador Wireless, um circuito receptor e drivers de acionamento.

No microcontrolador foi embarcada uma página WEB que pode ser acessada por sua interface de rede, possibilitado seu compartilhamento na Internet. Os portais do microcontrolador são ligados serialmente a um módulo Zigbee Central que envia os comandos AT recebidos aos módulos Zigbee Escravos, instalados nos cômodos da residência. Estes escravos estão ligados a drivers que acionam/desacionam os dispositivos eletrônicos.

A Figura 2 ilustra o funcionamento do projeto.

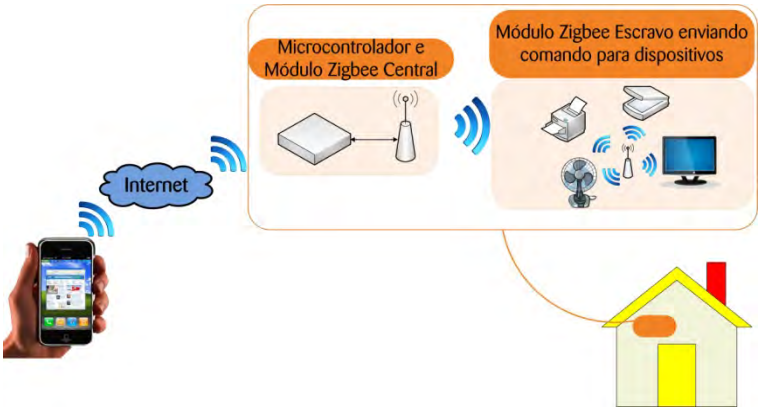


Figura 2 - Funcionamento do projeto

Todo o monitoramento é feito, internamente via WiFi e externamente através da Internet de forma trivial para qualquer usuário, não necessitando de conhecimentos específicos, isto é, qualquer pessoa pode operá-lo.

IV. CONCLUSÕES

Ao final do desenvolvimento do projeto obteve-se êxito no controle do acionamento de dispositivos eletroeletrônicos via Internet.

Testes foram realizados para verificar o real funcionamento da solução. Embora tenham sido satisfatórios, é evidente que se pode implementar outras funcionalidades tais como controle de temperatura, umidade e tempo dos ambientes.

Concluiu-se então, que é concebível automatizar residências utilizando soluções e tecnologias com padrões abertos e de baixo custo, sendo possível o seu controle via rede local e Internet.

REFERÊNCIAS

[1] BOLZANI, Caio Augustus Morais. Residências Inteligentes – Domótica, Redes Domésticas, Automação Residencial. São Paulo: Livraria da Física, 2004.

[2] ALIEVI, César Adriano. **Automação Residencial com Utilização de Controlador Lógico Programável.** Novo Hamburgo: Centro Universitário Feevale. Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas, 2008, 86p. Trabalho de Conclusão de Curso.Disponível em: http://www.aureside.org.br/temastec/tcc_0410.pdf. Acesso em 28 de fevereiro de 2013.

[3] BOLZANI, Caio Augustus Morais. **Análise de arquiteturas e desenvolvimento de uma plataforma para residências inteligentes**.São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2010, 155p. Tese (doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de engenharia de sistemas eletrônicos.

[4] O que é a domótica? Disponível em; http://instalacoes08.blogspot.com.br/2012/11/o-que-e-domotica-diogo-marques-n6.html. Acesso em 20 de fevereiro de 2013.

[5] BOLZANI, Caio Augustus Morais. Residências Inteligentes – Domótica, Redes Domésticas, Automação Residencial. São Paulo: Livraria da Física, 2004.

[6]Como reduzir o consumo de energia elétrica. Prefeitura Municipal de São Paulo. Disponível em: http://ww2.prefeitura.sp.gov.br/arquivos/secretarias/gestaopublica/projeto/0008/Cartilha_Consumo-Energia.pdf. Acesso em 28 de fevereiro de 2013.

Automação Residencial: Protótipo de Varal Inteligente por meio de Sensores Eletrônicos

Camila Andrade de Almeida
Universidade Federal de Rondônia - UNIR
camila_aalmeida@hotmail.com

Jéssica Vieira Hartmann
Universidade Federal de Rondônia - UNIR
jessicavieirahartmann@hotmail.com

Ricardo Bussons da Silva
Universidade Federal de Rondônia - UNIR
rbussons.eng@hotmail.com

Thayná Baptista Moroso
Universidade Federal de Rondônia - UNIR
thayna_moroso@hotmail.com

Ciro José Egoavil Montero
Universidade Federal de Rondônia - UNIR
ciro.egoavil@unir.br

***Resumo*— Este artigo apresenta um modelo para a construção de um protótipo de varal inteligente baseado em sensores eletrônicos para automação residencial. No Brasil, em regiões que apresentam o clima equatorial, característico de elevados índices de precipitação anual, o varal inteligente adequa-se eficientemente no auxílio de tarefas domésticas. Para tanto foram desenvolvidos circuitos eletrônicos que utilizam como componentes sensores para monitoração e outros dispositivos para o acionamento dos motores, permitindo a movimentação do varal com desempenho apropriado apresentado nos testes laboratoriais. Este protótipo caracteriza-se por ser economicamente viável e de fácil implementação, possibilitando ainda, seu desenvolvimento em escala normal para sua fabricação.**

***Palavras chave*—Sensor de Chuva, LDR, Porta Lógica, Ponte H.**

I. INTRODUÇÃO

O Brasil, dada sua vasta extensão territorial, possui uma tipologia climática variada. O clima equatorial que prevalece na região da Floresta Amazônica apresenta alto índice pluviométrico de médias superiores a 2.500 mm/ano.

O clima subtropical que abrange os estados sulistas, com exceção do norte do Paraná, apresenta índice pluviométrico variando entre 2.000 e 1.500 mm anuais.

Uma vez que, estas regiões do Brasil possuem precipitações elevadas, revelam a necessidade de uma possível automação residencial de um varal inteligente [2].

II. METODOLOGIA EMPREGADA

A metodologia utilizada baseou-se em pesquisa inicial sobre as necessidades para aplicação, elaboração do circuito, levantamento e especificação dos componentes, implementação e testes do protótipo.

A parte circuital do projeto foi subdivido em blocos, os quais desempenham funções específicas, e quando interligados exercem a operação do mecanismo do varal inteligente.

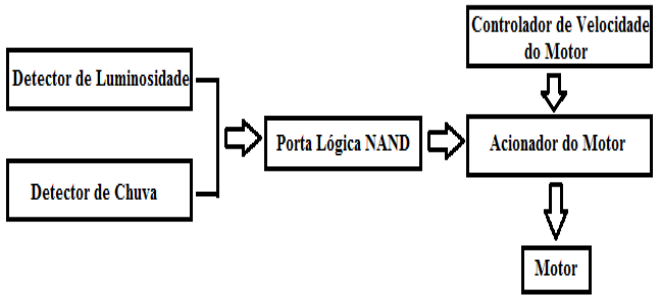


Fig. 1. Diagrama de Blocos dos circuitos.

Definem-se os circuitos como:

- Detector de Luminosidade;
- Detector de Chuva;
- Controlador de Velocidade do Motor;
- Acionador do Motor

III. Circuito Detector de Luminosidade

A. *Sensor resistivo (LDR)*

O LDR (Light Dependent Resistor ou em português Resistor Dependente de Luz) é um componente eletrônico que consiste num transdutor de entrada (sensor) que converte a luz em valores de resistência (sulfeto de cádmio) fazendo com que sua resistência aumente ou diminua conforme a quantidade de luz que nele incide [5].

B. *Funcionamento do Circuito Detector de Luminosidade*

Este bloco representado na figura 2 foi projetado com o intuito de detectar variações luminosas (Dia ou Noite). A queda de tensão no LDR varia conforme a luminosidade, enquanto a luz incidir sobre o mesmo a tensão será insuficiente para saturar o transistor (aproximadamente 0,7V) [1]. Quando não houver a incidência de luz a tensão na base do transistor será suficiente para saturar o transistor, fornecendo a corrente necessária para acionar todo o circuito que recolherá o varal. O trimpot foi utilizado para ajustar a sensibilidade do sensor.

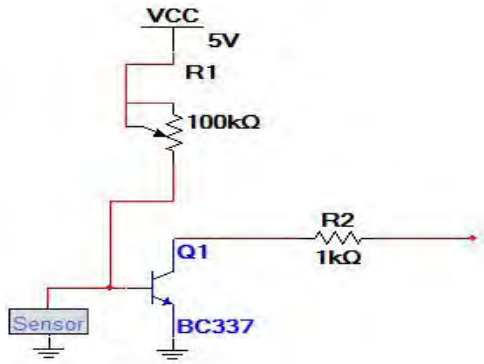


Fig. 2. Circuito Detector Dia/Noite com o LDR.

IV. Circuito Detector de Chuva

A. *Sensor de Chuva*

Placas de circuito impresso como a mostrada abaixo, servem como sensores de chuva. Suas trilhas em forma de labirinto permitem que com o contanto da água, estabeleça um curto-circuito entre os terminais da trilha, caso contrário na ausência de água existirá uma configuração de circuito aberto [6].

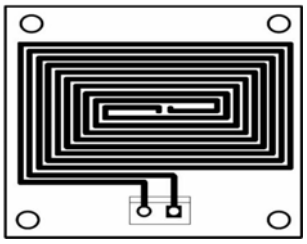


Fig. 3. Placa do sensor de chuva [6].

B. *Funcionamento do Circuito Detector de Chuva*

Este bloco foi projetado com o intuito de detectar a ocorrência ou não de chuva. Os resistores conectados às portas lógicas estão com a função de regular a corrente que entrará no mesmo. Quando o sensor de chuva detectar a precipitação, o circuito entrará em curto-circuito, e na ausência de precipitação o mesmo permanecerá em aberto. Após o levantamento das possibilidades a lógica a ser implementada é apresentada na figura a seguir.

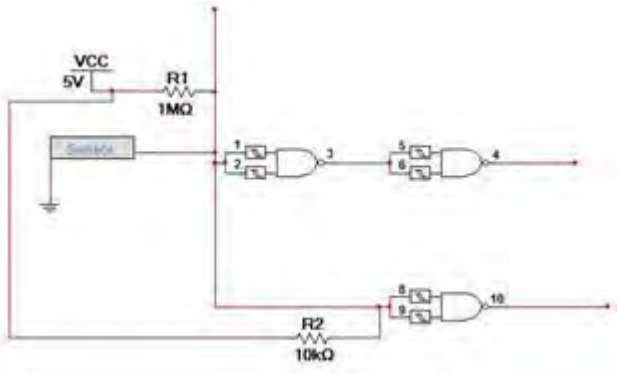


Fig. 4. Circuito Detector Chuva com portas lógicas do tipo NAND .

Nos terminais 4 e 10 são as saídas do sinal das portas NAND as quais são conectadas às entradas do circuito para acionamento do motor com a Ponte H.

V. Circuito Controlador de Velocidade do Motor

A. *Circuito Integrado 555*

O circuito integrado 555 foi criado originalmente para funcionar como timer e oscilador de uso geral. No entanto, esse circuito integrado se mostrou tão versátil, que milhares de aplicações foram criadas e continuam criadas ainda hoje.

O CI 555 tem três modos de operação [1]:

- Modo monoestável: funciona como um disparador. Suas aplicações incluem temporizadores, detector de pulso, chaves imunes a ruído, interruptores de toque.
- Modo astável: opera como um oscilador. Os usos incluem pisca-pisca de LED, geradores de pulso, relógios, geradores de tom, alarmes de segurança.
- Modo biestável: operar como um flip-flop, se o pino DIS não for conectado e se não for utilizado capacitor. As aplicações incluem interruptores imunes a ruído

B. Funcionamento do Circuito Controlador de Velocidade do Motor

Este bloco representado na figura 5 foi projetado com o intuito de ajustar a velocidade do motor.

Com o CI 555 no modo astável foi possível a construção do PWM (Pulse Width Modulation ou Modulação de Largura de Pulso) para gerar sinais retangulares com a largura variável. O capacitor C1, juntamente com R2, R3 e o potenciômetro P1 determinam a largura dos pulsos que vão ser gerados. O capacitor C1, componente importante, determina a frequência média dos pulsos.

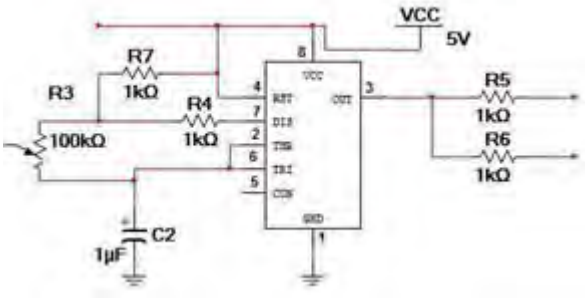


Fig. 5. Circuito PWM com o temporizador.

VI. CIRCUITO ACIONADOR DO MOTOR

A. Ponte H – L298

A ponte H tem como principal função possibilitar o acionamento de motores em ambos os sentidos, fornecendo a potência exigida por eles, já que tais mecanismos necessitam de amplitudes de correntes e de tensões as quais um MCU convencional não consegue suprir.

O dispositivo L298 é um circuito monolítico integrado de 15 pinos, composto por duas pontes H completas, permitindo dessa forma o acionamento de até dois motores DC para ambos os lados, independentemente [8].

B. Funcionamento do Circuito Acionador do Motor

O bloco identificado na figura 6 foi projetado com o intuito de acionar o motor em ambas as rotações, uma vez que o varal eletrônico deverá recolher-se e estender-se respondendo apropriadamente aos sinais enviados pelos sensores.

Para tanto, as saídas das portas lógicas ativadas pelos sinais recebidos dos sensores, estão conectadas as entradas do L298 para habilitar o funcionamento do protótipo. As chaves fim de curso, identificadas como fim na figura a seguir, presentes no circuito possuem a função de interromper o fornecimento de corrente ao motor do varal.

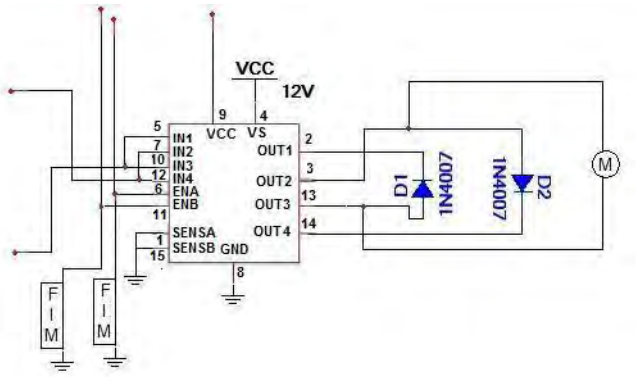


Fig. 6. Circuito Acionador do Motor com a Ponte H.

Com o intuito de auxiliar na troca de rotação do motor foram inseridos diodos nas saídas da Ponte H, impedindo o retorno da corrente para o drive, pois na ausência dos mesmos acarretariam em operações inadequadas do motor.

VII. RESULTADOS

Quando todos os circuitos explicitados foram interligados, foi obtido o funcionamento adequado do motor e juntamente com a estrutura do protótipo do varal inteligente foi possível obter o resultado esperado, conforme pode ser visto nas figuras 7 à 10.

O circuito apresentado na figura 7 representa a interligação dos blocos para o acionamento do varal inteligente.

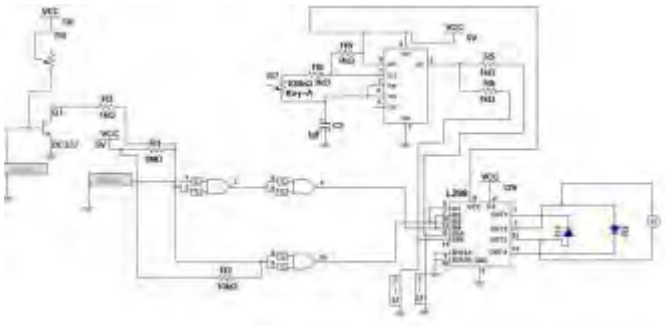


Fig. 7. Circuito Completo do Varal Inteligente.

A placa de circuito impresso para o acionamento do varal eletrônico com seus devidos componentes pode ser visualizada na figura 8.

Fig. 8. Placa do Circuito Completo do Varal Inteligente.

Segue na figura 9, o aparato mecânico do protótipo construído para demonstração do funcionamento para a simulação de situações reais.

Fig. 9. Maquete de uma Varanda com o Varal Inteligente Instalado.

Os sensores eletrônicos que estão acoplados à placa de circuito impresso podem ser observados na figura que segue.

Fig. 10. Sensor de Chuva e LDR no Telhado da Maquete.

VIII. CONCLUSÕES

O alto índice pluviométrico do país motivou o desenvolvimento do protótipo do varal inteligente, que visa facilitar os trabalhos domésticos.

Este objetivo foi alcançado através da utilização de sensores eletrônicos (analógico e digital) de baixo custo, que acionam adequadamente o motor do protótipo.

Para a implementação em escala real desse projeto seria necessário substituir componentes do circuito de acionamento apresentados, por componentes de potência que acionem motores que suportem maiores cargas mecânicas, visando assim, a automação residencial.

Tal projeto ainda pode ser aprimorado com a inserção de dispositivos eletrônicos de ventilação para a secagem das roupas na ausência das condições favoráveis.

REFERÊNCIAS

[1] BOYLESTAD, Robert; NASHELSKY, Louis. Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos, 6aedição. Rio de Janeiro: LTC, 1998.

[2] Portal do Governo Federal do Brasil. Tipos de clima. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/sobre/meio-ambiente/geografia/tipos-de-clima> Acessado em 10/09/12.

[3] Mecatrônica Atual. CMOS 4093 - Disponível em: <http://www.mecatronicaatual.com.br/secoes/leitura/92> Acessado em 10/09/12.

[4] Eletronica Org. PWM - Disponível em: <http://www.eletronica.org/arg apostilas=apostilapwm:pdf> Acessado em 13/09/12.

[5] Aprender Eletrônica. LDR - Disponível em: <http://www.aprendereletronica.com.br/como-funciona-ldr-screletronica.php> Acessado em 13/09/12.

[6] Varal Eletrônico. Sensor de chuva - Disponível em: <http://varaleletronico.webnode.com.br/pesquisa-cientifica/ sensordechuva/> Acessado em 19/09/12.

[7] Circuito Integrado 555 - Disponível em: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/philips/NE_SA_SE555_C_2.pd> Acessado em 01/10/12.

[8] Ponte H L298- Disponível em: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/SGSThomsonMicroelectronics/mXrqqxz.pdf> Acessado em: 01/10/12.

Construção de uma planta didática de baixo custo com dois graus de liberdade para aplicação de técnicas de controle

Jonathan Lopes Florêncio
Universidade do Estado de Santa Catarina
reddy.lopes@gmail.com

Amanda Santina Rodrigues Beloli
Universidade do Estado de Santa Catarina
amandabeloli@gmail.com

Mariana Santos Matos Cavalca
Universidade do Estado de Santa Catarina
dee2msmc@joinville.udesc.br

***Resumo*—Neste trabalho serão abordados os aspectos de planejamento, elaboração e construção de uma planta didática auxiliar ao processo de educação em engenharia. Sendo assim, essa estação de trabalho seria otimizada para a aplicação de técnicas de controle, tanto em projetos de iniciação científica como em roteiros de laboratórios de disciplinas da graduação em Engenharia Elétrica. Diversas opções foram estudadas a fim de que, ao final, fosse feita a escolha que melhor atendesse aos requisitos de versatilidade, aplicabilidade e baixo custo de construção. Listados os aspectos, a planta foi construída e ensaiada para validar a sua utilização como ferramenta de pesquisa e ensino no âmbito acadêmico.**

***Palavras chave*—Baixo custo, educação em engenharia, planta didática, versatilidade.**

***Abstract*—In this paper will be presented the aspects about the planning, the formulation and the construction of a didactic workstation to enhance the engineering education process. In this way, this workstation would be optimized for the control techniques application, both in projects of undergraduate research and in teaching laboratories of Electrical Engineering. Several options were studied to in the end, was made the choice that best fitted the requirements of versatility, applicability and low construction cost. Listed the aspects, the workstation was built and tested to validate its use as a tool for research and education in the academic scope.**

***Keywords*—Low cost, engineering education, didactic workstation, versatility.**

I. Introdução

É de senso comum que os cursos de graduação em exatas, principalmente as engenharias, possuem uma carga teórica extremamente elevada em detrimento à prática em suas grades curriculares. Essas mesmas atividades práticas, quando aplicadas, envolvem em grande parte simulações numéricas e computacionais, utilizando recursos pouco interativos e deveras distantes das situações que um engenheiro enfrentará ao se deparar com problemas reais no mercado de trabalho.

No que tange à área de controle e automação, surgem como alternativa para amenizar esse problema as plantas didáticas. Estas, em sua essência, permitem uma maior familiaridade por parte dos acadêmicos com sistemas complexos, caros e não acessíveis à iniciação científica universitária, visto que tais experimentos simulam aspectos físicos e comportamentais. Porém, devido ao seu alto custo, a aquisição de tais plantas em uma universidade pública pode se tornar um processo demorado e sem garantias de sucesso.

Dado o contexto acima, surge a ideia de desenvolver uma planta didática de baixo custo para aplicação de técnicas de controle, disponibilizando um recurso laboratorial aplicável em projetos de iniciação científica e laboratórios disciplinares de graduação.

II. Planejamento e Elaboração

Em um primeiro momento, foram feitas discussões com doutores e mestrandos da área a fim de levantar os tipos de plantas didáticas comerciais existentes e, com isso, definir qual linha seria seguida. Em paralelo foram feitas buscas nos sites dos fabricantes como Quanser®, Festo® e FeedBack® com o propósito fazer comparações com as ideias discutidas.

Algumas das plantas propostas foram levitadores magnéticos, controladores de trajetória e de posicionamento de objetos, pêndulos invertidos e sistemas aerodinâmicos.

Antes de definir qual seria a estrutura, foram levantados requisitos desejados na referida planta. Como o intento dessa plataforma era ser vastamente utilizada tanto em linhas avançadas de iniciação científica como linhas básicas de graduação, almejava-se que a mesma possuísse a versatilidade entre comportamentos de alta e baixa complexidade, possibilitando variadas dinâmicas de velocidade e, prioritariamente, tendo um baixo custo de desenvolvimento.

A partir dessas características, chegou-se a decisão de construir uma plataforma de simulação de um helicóptero fixo com dois graus de liberdade (arfagem e guinada), lançando mão do emprego de materiais reutilizados. Além disso, projetou-se uma estrutura que viabilizasse um sistema tanto

MIMO (*Multiple Inputs*, *Multple Outputs*, em português, Múltiplas Entradas, Múltiplas Saídas) quanto SISO (*Single Input, Single Output*, em português, Única Entrada, Única Saída). Dada a dinâmica lenta dessa planta, aliada aos fatores acima, podem ser elaborados trabalhos de diversos níveis de conhecimento e complexidade, desde controle clássico a controle ótimo ou preditivo.

III. Construção Do Protótipo

A elaboração da estrutura foi feita a partir de uma revisão bibliográfica de trabalhos previamente elaborados e publicados envolvendo plataformas semelhantes, como em [1] e [2]. Baseada nessa revisão, a planta didática foi projetada com os seguintes aspectos: uma estrutura armada de rolamentos afixados em placas de madeira, servindo de apoio para uma haste vertical, caracterizando o grau de liberdade de guinada. No topo, uma peça usinada com rolamentos perpendiculares ao esquema anterior, que controlam a movimentação de uma haste horizontal, caracterizando o grau de liberdade de arfagem. Nessa mesma haste vertical, dois motores realizam a movimentação da estrutura, a qual é sustentada por uma base sólida. Na Figura 1 é possível identificar as características previamente descritas.

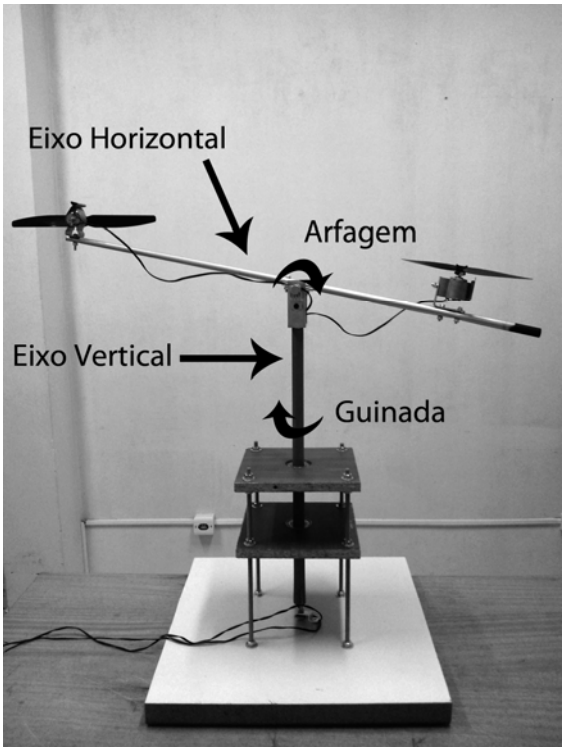


Fig. 1. Estrutura física da planta didática.

O projeto do sensoriamento foi previamente planejado com divisores resistivos lineares acoplados às hastes dos graus de liberdade. A escolha dos sensores mais eficazes baseou-se na realização de ensaios utilizando resistores variáveis de precisão e comuns. Os resistores de precisão, apesar da estabilidade, tornavam a leitura de tensão pouco suscetível a pequenas oscilações da planta, comprometendo a leitura precisa da posição. Por tal motivo, optou-se pelo emprego de potenciômetros comuns no esquema de sensoriamento da plataforma. Tal estrutura de acoplamento pode ser observada na Figura 2.

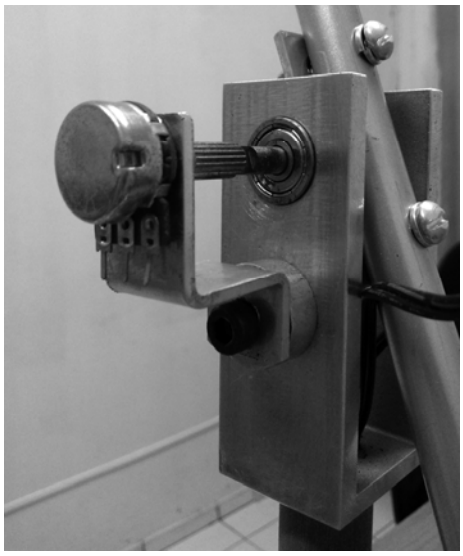


Fig. 2. Acoplamento do eixo de arfagem ao eixo do potenciômetro.

Desse momento em diante, o trabalho focou na aquisição e montagem dos materiais, além da usinagem das placas de suporte horizontais e da peça de apoio da haste de arfagem, realizada por empresas parceiras do projeto. A confecção dessa peça de apoio justifica-se pela sua complexidade e importância, visto que toda a dinâmica de arfagem depende da mesma.

IV. Conclusões

Os trabalhos desenvolvidos até o momento constatam que a estrutura montada se mostrou funcional e, portanto, aplicável tanto em atividades de pesquisa quanto de ensino. Já em fase de execução, alguns trabalhos de iniciação científica abordam a modelagem da planta didática utilizando artifícios fenomenológicos (modelagem caixa branca) e de identificação paramétrica (modelagem caixa preta) e a aplicação de técnicas de controle. Para perspectivas futuras, intenta-se aplicá-la em roteiros de disciplinas de graduação de engenharia elétrica, tais como controle clássico, moderno ou digital, além de linhas de pesquisa mais avançadas, a saber, controle ótimo e preditivo.

Referências

[1] H. H. F. Miranda e A. P. L. Bo. Concepção de uma Plataforma Experimental para Estudo de Controle de um Modelo Reduzido de Helicóptero. Brasília, 2004.

[2] Quanser Inc. Quanser 2 DOF Helicopter: User and Control Manual. 2006.

Pista para Estudos de Movimentos Retilíneos Utilizando Tecnologia Embarcada

Lígia Silvéria Vieira da Silva
Fundação Universidade Federal de Rondônia
ligia_pvh@hotmail.com

Ricardo Bussons da Silva,
Fundação Universidade Federal de Rondônia
rbussons.eng@hotmail.com

Stephanie Santana Pinto
Fundação Universidade Federal de Rondônia
stephaniesp@hotmail.com

Mrs. Ciro José Egoavil Montero
Fundação Universidade Federal de Rondônia
ciro.egoavil@unir.br

***Resumo*— No presente artigo serão descritos os detalhes da implementação de uma pista de baixo custo para realização de experimentos em aulas práticas de cinemática. Inicialmente, é descrita a parte teórica em que foi embasado o experimento e suas aplicações na física. Em seguida, é descrito o material que foi necessário para sua montagem, prosseguindo, teremos a apresentação de um fluxograma das rotinas a serem executadas pelo microcontrolador que foi incluído ao projeto pela necessidade de precisão quanto ao segundo em que o sinal dos sensores for cortado pela esfera metálica, possibilitando assim um menor percentual de erro que, comumente, acontece em aulas experimentais, buscando, assim, melhorar a abstração do aluno e seu entendimento quanto aos fenômenos da mecânica.**

***Palavras chave* — Ensino, Cinemática, Eletrônica embarcada, Baixo custo.**

Abstract— In this paper we describe implementation details' of a low cost track that will be used in experimental classes of kinematics. Firstly, it is described the theoretical part which guides the experiment and its applications in physics. Then, it is described the material that was used to the building process of the track, after that, there will be a flowchart of the routines that the embedded system will run. The microcontroller was included in this project to supply the necessity of precision when the metallic ball crosses the sensor, therefore resulting in a lesser error percentage, which naturally occurs in experimental classes. This ultimately contributes to increase the student's abstraction capabilities and his knowledge on mechanics.

***Keywords*— Teaching, Kinematics, Embedded electronics, Low cost.**

I. INTRODUÇÃO

O objetivo do trabalho é construir uma pista para aferição de velocidade monitorada por sensores que estão ligados a um sistema embarcado constituído por um microcontrolador Arduino, para aplicação em aulas experimentais dos conteúdos de mecânica no ensino médio e superior.

O conteúdo de mecânica é o primeiro contato que o aluno tem com a disciplina de física em todos os tipos de modalidades de ensino.

Considerando que é uma área facilmente relacionável com diversos acontecimentos aplicados diretamente no cotidiano dos alunos, isso ainda não é suficiente para a total assimilação da teoria nas aulas tradicionais. A matemática é um dos principais motivos para as dificuldades, principalmente a necessidade de abstração da parte do aluno com os fenômenos estudados. Diante disso surge a necessidade de achar alternativas para complementar o ensino e aprendizado de física.

Para a realização de aulas experimentais, necessita-se de um alto investimento para implementação de estrutura física, obtenção de equipamento e manutenção. Em instituições que não possuem laboratório próprio, há a necessidade de adequar outros meios para a realização de aulas experimentais de física, como a construção dos próprios kits separados em módulos com material de baixo custo.

Com um considerável conhecimento de eletrônica é possível desenvolver módulos para os kits de laboratório. Diante disso foi elaborado um projeto para a construção de uma pista para demonstrar e verificar na prática o fenômeno de movimento retilíneo uniformemente variado.

Para a diminuição de erros experimentais se tornou necessária à utilização de sensores e micro controladores, aumentando por meio destes a exatidão dos resultados obtidos.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

A. MOVIMENTO RETILÍNEO UNIFORMEMENTE VARIADO (MRUV)

Um ponto material esta em MRUV quando sua trajetória é retilínea e a velocidade varia de maneira uniforme. Isso significa que o módulo da velocidade aumenta ou diminui em valores iguais em intervalos de tempo iguais.

Há duas grandezas que variam com o tempo-velocidade e posição -, e a aceleração é constante. Por isso a descrição de MRUV se baseia, principalmente, nas funções e nos gráficos da velocidade e da posição em relação ao tempo [1].

SILVA, L. S. V. (ligia_pvh@hotmail.com), SILVA, R. B (rbussons.eng@hotmail.com) e PINTO, S.S. (stephaniesp@hotmail.com), pertencem a Fundação Universidade Federal de Rondônia – UNIR Campus – BR364, Km 9,5 CEP: 76801-059 – Porto Velho - RO Fone: (69)2182-2100

B. MOVIMENTO EM QUEDA LIVRE

Segundo Galileu se não houvesse a influência do ar, todos os corpos, de qualquer peso ou forma, abandonados da mesma altura levariam o mesmo tempo para atingir o solo. Em outras palavras, nesse movimento conhecido como queda livre, todos os corpos têm trajetória retilínea, vertical, e a mesma aceleração: a aceleração da gravidade, cujo valor é, aproximadamente, $g = 9{,}8\ m/s^2$ [1].

C. ATRITO

É a força natural que atua sobre os corpos quando estes estão em contato com outros corpos e sofrem a ação que tende a colocá-lo em movimento, e ela é sempre contrária ao movimento. O atrito depende da força normal entre o objeto e a superfície de apoio, quanto maior for a força normal, maior será a força de atrito [2].

D. VELOCIDADE MÉDIA E VELOCIDADE ESCALAR MÉDIA

A velocidade escalar média é uma forma diferente de descrever "com que rapidez uma partícula está se movendo". Enquanto a velocidade média envolve o deslocamento da Δx, a velocidade escalar média é definida em termos da distancia total percorrida (o número de metros percorridos, por exemplo), independente da direção.
Como a definição de velocidade escalar média não inclui a direção do movimento, ela não possui um sinal algébrico. Em alguns casos, a distancia média é igual (a não ser pela ausência de sinal) aceleração média[3].

E. TERCEIRA LEI DE NEWTON

É conhecida como *"Lei da Conservação da Quantidade de Movimento"*. As forças de ação e reação entre dois corpos que interagem são iguais em módulo e direção, e são opostas no sentido[3].

F. ARDUINO

"*Um Arduino é um microcontrolador de placa única e um conjunto de software para programá-lo. O hardware consiste em um processador Atmel AVR e suporte embutido de entrada/saída. O software consiste de uma linguagem de programação padrão e bootloader que roda na placa* [3]".
Em termos práticos, um Arduino é um pequeno computador que você pode programar para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele. O Arduino é o que chamamos de plataforma de computação física ou embarcada, ou seja, um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de hardware e software [4].

G. SENSORES INFRAVERMELHOS

Um diodo emissor de luz infravermelha **(**LED) é um tipo de dispositivo eletrônico que emite luz infravermelha não visível a olho nu. Um LED infravermelho funciona como um diodo emissor de luz normal, mas pode utilizar diferentes materiais para produzir a luz infravermelha. Esta luz infravermelha pode ser utilizada em um controle remoto, na transferência de dados entre os dispositivos, para fornecer iluminação aos equipamentos de visão noturna ou para uma variedade de outros fins.

Um LED infravermelho é, como todos os LEDs, um tipo de diodo ou um semicondutor simples. Os diodos são projetados de modo que a corrente elétrica só pode fluir em uma direção. Como os fluxos de corrente, os elétrons saem de uma parte do díodo para outra parte. Para isso, os elétrons devem lançar energia na forma de fótons, que produzem luz [5].

III. METODOLOGIA

Para a construção da pista levou-se em consideração a necessidade de obter um módulo de fácil manuseio e de ótimo entendimento pelo aluno, então utilizando eletrônica embarcada foi programado para que o circuito principal funcionasse da seguinte maneira:

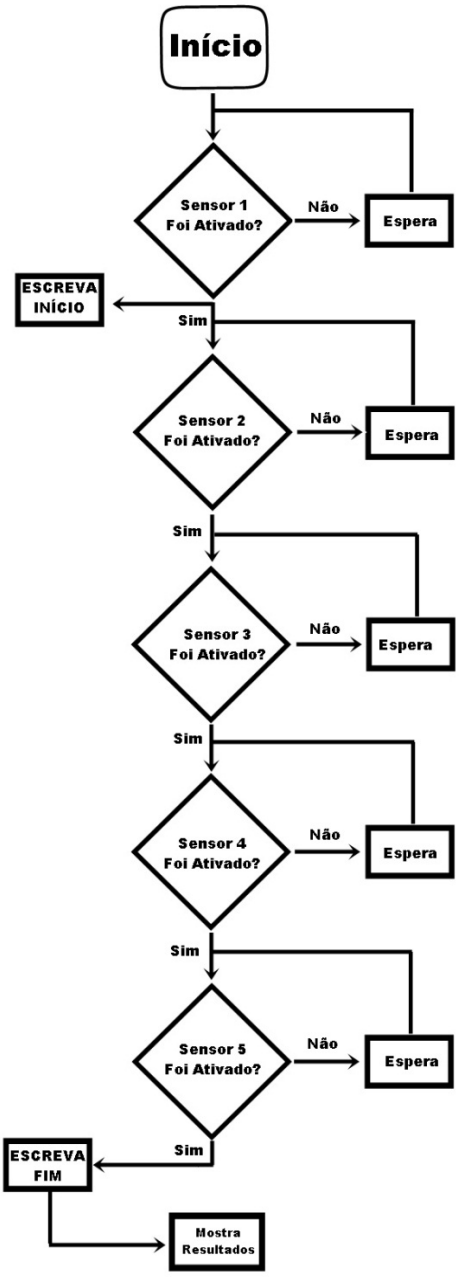


Fig. 1. Fluxograma do funcionamento lógico da pista.

IV. RESULTADOS

Após a montagem da pista foi possível realizar diversas simulações em que se obtiveram resultados coerentes com o que era esperado.

Foram montados pequenos circuitos com os sensores que foram organizados cautelosamente para que seu funcionamento não fosse comprometido.

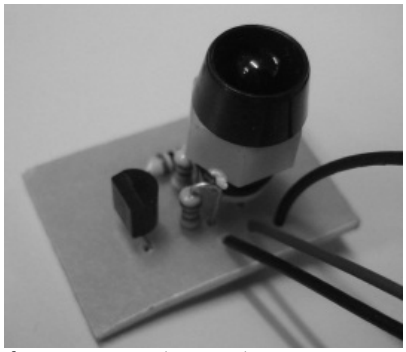


Fig. 2. Módulo de sensoriamento (Receptor).

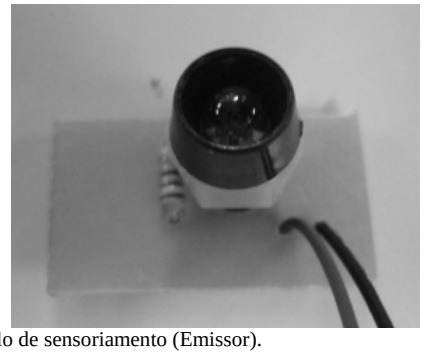


Fig. 3. Módulo de sensoriamento (Emissor).

Para obtenção dos tempos, foram colocados no total de cinco sensores separados a cada 25 cm, totalizando em 1 m de comprimento, visando assim poder calcular a velocidade da esfera em diferentes distâncias.

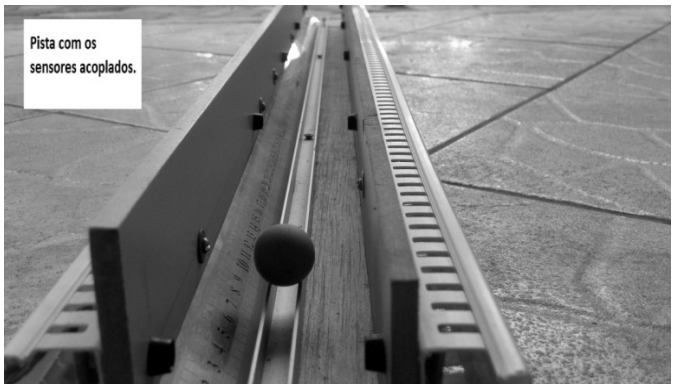


Fig. 4. Estrutura física da pista.

Fig. 5. Protótipo de controle do sistema central.

Fig. 6. Mensagem inicial do sistema .

Cada sensor é constituído por um emissor infravermelho e um receptor, sendo sua utilização ativada somente no momento em que a esfera atravessa cada sensor sequencialmente, evitando assim que a contagem seja ativada em momentos indesejados.

V. CONCLUSÃO

Visto que somente os cálculos e a fundamentação teórica não são suficientes para a absorção do conteúdo pelo aluno. O projeto desenvolvido tem baixo custo de produção comparado aos utilizados em laboratórios de física experimental e também oferece ao aluno ótimos resultados quando são realizados os experimentos.

Partindo do princípio de obter os tempos que a esfera leva para atravessar a pista, os resultados com a realização dos testes foram de grande valia para o cálculo da velocidade do objeto, tanto num plano retilíneo quanto em um plano inclinado, em que comprando um equipamento próprio para medição de velocidade, os resultados ficaram bem próximos, considerando assim a margem de erro que temos ao arredondar certos valores.

Com base em todos os testes e análises realizadas, consideramos que podemos oferecer ao aluno várias possibilidades de testes e cálculos em diversas situações, já que o projeto é versátil podendo ser aplicado tanto em movimento em plano inclinado, quanto retilíneos. Havendo assim, a possibilidade de melhoramento do projeto, como por exemplo, a implantação de um eletroímã para aumentar a precisão quando o equipamento for utilizado para queda livre,

adicionar também uma mola de propulsão para lançamento do projétil, trocar o microcontrolador por um PIC que baixaria ainda mais o custo do projeto, tornando-o assim muito mais acessível para que com isso o objetivo de democratização do conhecimento seja realmente alcançado.

REFERÊNCIAS

[1] A. Gaspar, *Física*, São Paulo, BR: Ática, 2005.

[2] Atrito. Disponível: http://www.brasilescola.com/fisica/forca-atrito.htm. Data de acesso: 04/02/13

[3] Halliday, Resnick, Jearl Walker 1926 – Fundamentos de física, volume 1: Mecânica/ Rio de Janeiro: LTC, 8ª Edição 2011.

[4] McRoberts, Michael Arduino básico / Michael McRoberts ; [tradução Rafael Zanolli]. -- São Paulo : Novatec Editora, 2011.Título original: *Beginning Arduino.*

[5] O que é um diodo infravermelho. Disponível: http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/3902-o-que-e-um-diodo-emissor-de-luz-infravermelha/

[6] Boylestad, Robert L, Dispositivos eletrônicos e teoria de circuito, 8ª edição / Robert L. Boylestad, Luis Nashelsky; tradução Rafael Monteiro Simon; revisão técnica José Bueno de Camargo, José Lucimar do Nascimento, Antonio Pertence Júnior.- São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.

[7] Malvino, Albert Paul, Eletrônica: volume 1/Albert Malvino, David J. Bates; revisão técnica Antônio Pertence Junior. -- 7. ed. -- São Paulo: McGraw-Hill,2007.

[8] CUNHA, C. *Construção e Utilização de Equipamentos de Baixo Custo para Ensino de Física.* 2008. 100 f. Dissertação (Mestrado em Física Laboratorial, Ensino e História da Física - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa. 2008.

[9] PROESI. Componentes Eletrônicos e Manutenção Industrial. Disponível em: http://www.proesi.com.br .

Um Modelo de Predição de Trincas em Dormente de Aço Utilizando o Método de Quatro Pontas

Aline Almeida de Oliveira	Ricardo Adriano	Moacir de Souza Júnior	Carlos Henrique N. Resende Barbosa	Glauco Ferreira Gazel Yared
Graduação em Engenharia Elétrica - UFMG	Depto. de Engenharia Elétrica - UFMG	Depto. de Engenharia de Telecomunicações e Mecatrônica – UFSJ	Departamento de Ciências Exatas Aplicadas - UFOP	Departamento de Ciências Exatas Aplicadas - UFOP
oliveira.alinealmeida@gmail.com	rluiz@cpdee.ufmg.br	msouzajr27@hotmail.com	cbarbosa@decea.ufop.br	glauco@decea.ufop.br

Resumo – O crescente aumento no peso da carga transportada no sistema ferroviário brasileiro tem afetado diretamente a estrutura ferroviária utilizada. Para que esse desgaste não coloque em risco a segurança e confiabilidade das linhas férreas deve haver manutenção constante e precisa. Neste artigo será apresentado um modelo de predição de trincas em dormentes de Aço, utilizando o método de medição de resistência de quatro pontas. A correlação entre o valor da resistência medida e a extensão da trinca é obtida solucionando-se a equação da dispersão de corrente elétrica no dormente com o auxílio do método de elementos finitos.

Palavras chave — dormentes de aço, ensaios não destrutivos, método de medição de quatro pontas.

Abstract – This paper presents a model of prediction of cracks in steel railway sleepers. The model is based on the four-point probe method. The relation between the measured value of the resistance and the extension of the crack is obtained by solving the Laplace equation for the electric current flow in a railway sleeper with the aid of the finite element method.

Key words – four-point probe method, non-destructive essays, railway sleepers.

I. Introdução

A partir de 1996, quando as ferrovias começaram a ser privatizadas, a quantidade de carga movimentada pelo sistema ferroviário cresceu notoriamente. O aumento da capacidade de carga no sistema ferroviário é implantado, principalmente, usando vagões com maior capacidade de carga. Entretanto, aumentar a carga por eixo pode interferir nas estruturas que compõem a via, como dormentes e trilhos. O surgimento de sinais de desgastes, como oxidação, fissuras ou fraturas é inevitável, o que pode gerar gastos e danos no tráfego da ferrovia.

Com o intuito de reduzir o impacto ambiental, os dormentes tradicionais feitos de madeira vêm sendo gradativamente substituídos por dormentes de concreto ou de aço. Apesar de esses materiais apresentarem maior custo na instalação eles são mais resistentes, comparados ao dormente de madeira. Para que o dormente cumpra satisfatoriamente sua função é necessário que, entre outros, tenha suficiente resistência, durabilidade, que se oponha aos deslocamentos da via e que permita uma boa fixação, sem ser excessivamente rígido [1], o dormente de aço atende bem a essas especificações. A Vale, controladora da Estrada de Ferro Vitória-Minas e Estrada de Ferro Carajás [2], ferrovias que se destacam pelo volume de transporte, utiliza, desde 2003, dormentes de aço [3].

O que possibilita uma ferrovia estável e confiável, além da utilização de materiais mais resistentes, é a manutenção das estruturas que compõe a via férrea. Ainda não existe um processo automatizado de verificação de problemas nos dormentes de aço, sendo que é difícil detectar problemas em locais não visíveis, como abaixo do trilho ou nas partes que estão sob o solo, tornando esse processo mais trabalhoso. O monitoramento e a manutenção de problemas na via é de fundamental importância para manter a segurança, evitar acidentes e gastos, já que o mau funcionamento em um dormente pode sobrecarregar outros causando defeitos em dormentes adjacentes a ele.

Existem várias formas de se detectar problemas estruturais em determinado objeto, como o método de elementos de

Artigo escrito em 06 de Dezembro de 2012; revisado em 23 de Fevereiro de 2013.

A. A. Oliveira (oliveira.alinealmeida@gmail.com) e R. Adriano (rluiz@cpdee.ufmg.br) pertencem à Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. Av. Antônio Carlos, 6627 - Belo Horizonte - MG - Brasil - 31270-901.

M. S. Junior (msouzajr27@hotmail.com) pertence à Universidade Federal de São João del-Rei - UFSJ. Rodovia MG 443 - Ouro Branco - MG - Brasil - 36420-000.

C. H. N. R. Barbosa (cbarbosa@decea.ufop.br) e G. F. G. Yared (glauco@decea.ufop.br) pertencem à Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP. Rua 36, 115 - João Monlevade - MG - Brasil - 35931-008.

Agradecimento à FAPEMIG pelo fomento da Pesquisa.

contorno [4], mecânica da fratura [5] e ensaios experimentais [6,7]. Em [8], é proposta uma metodologia baseada na aquisição de sinais acústicos e uso de redes neurais para a detecção das trincas nos dormentes metálicos. Os resultados obtidos apresentam uma taxa de erro na detecção de aproximadamente 6%. Embora bem preciso, o método proposto em [8] exige a digitalização e o processamento de um sinal acústico para a determinação da trinca. Nesse trabalho, utilizaremos um circuito elétrico conectado ao dormente e, utilizando o método de medição de resistência de quatro pontas, será possível detectar qualquer alteração nos resultados encontrados e, partindo desses resultados, chegar a uma forma analítica de detectar uma trinca sem a necessidade de se tratar um sinal variante no tempo.

II. METODOLOGIA

O método de quatro pontas não é recente, foi proposto por F. Wenner [9], em 1915, para medir a resistividade elétrica do solo, e é um dos métodos mais utilizados para medição de resistência, por ser simples, rápido e preciso. Ele funciona da seguinte maneira: nas extremidades do objeto conecta-se uma fonte de tensão e um amperímetro, e entre dois pontos internos onde se pretende medir a resistência conecta-se um voltímetro. Como na figura 1:

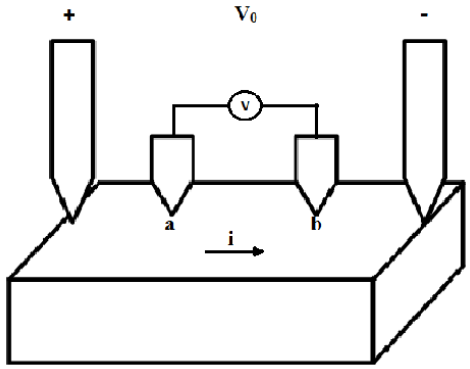


Figura 1 – Método das quatro pontas. Tensão nas extremidades (V_0), produzindo uma corrente (i). E medição da tensão entre os pontos **a** e **b**.

Temos que, pela lei de Ohm que:

$$V = \frac{R}{I} \tag{1}$$

Sendo assim, pela equação (1), podemos calcular a resistência entre os pontos **a** e **b** (figura 1). Nesse trabalho, utilizaremos o método de quatro pontas para medir resistências entre vários pontos dos dormentes com e sem trincas, podendo, dessa maneira, estabelecer uma relação entre o tamanho da trinca e a resistência encontrada. A relação entre o valor de resistência medida e o tamanho da trinca é obtida dividindo-se a resistência encontrada em duas parcelas, sendo uma dependente apenas das propriedades do dormente e da separação entre os pontos de medição e outra relacionada à influência da rachadura.

A primeira parcela e encontrada assumindo-se que a seção transversal do dormente é constante. Nesse caso, a resistência medida entre dois pontos da superfície de um dormente sem trinca, separados por uma distância *l*, pode ser aproximada por:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \tag{2}$$

Onde ρ é a resistividade do material e A é a área da seção transversal do dormente. Nesse caso, como ρ e A são constantes, a resistência dependerá apenas dos pontos de medição. Sendo assim, definiremos *K(l)*, como uma função linear que relaciona a resistência com a distância entre os pontos de medição.

A segunda parcela será definida como o incremento na resistência ocasionada pelo surgimento de uma trinca. O aumento na resistência será representado por uma função *G(t)*, onde *t* é o tamanho da trinca medido a partir da extremidade do dormente. Assim, a resistência total será dada por:

$$R = K(l) + G(t) \tag{3}.$$

As funções *G* e *K* serão obtidas da solução da equação de dispersão no interior do dormente. Assim, é possível encontrar uma forma fechada para a predição do tamanho da trinca em função da resistência medida.

III. MODELO COMPUTACIONAL

A seção transversal do dormente é apresentada na figura 2. O dormente é feito de aço UIC 865 e possui uma condutividade elétrica σ = 5.6e6 S/m. Quando se conecta uma fonte de tensão entre dois pontos do dormente, a variação da tensão ao longo do aço será regida pela equação da dispersão:

$$div(\sigma\ grad\ V) = 0 \tag{4}$$

Onde *V* é o potencial elétrico no dormente. Usando o método de elementos finitos, é possível encontrar a distribuição do potencial elétrico no dormente e posteriormente encontrar a densidade de corrente elétrica que flui no dormente (***J*** = - σ *grad V)*. Conhecidas a tensão e a corrente, a resistência é obtida diretamente pela lei de ohm.

Para avaliar o efeito das trincas, uma seção do dormente com 60 mm de comprimento foi discretizada, conforme apresentado na figura 3.

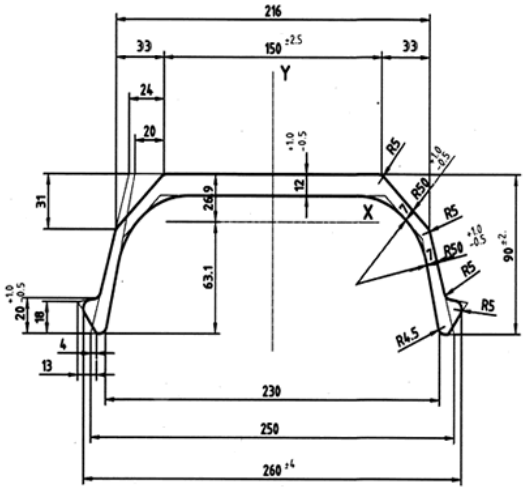


Figura 2 – Perfil transversal do dormente com as respectivas medidas.

Para representar as trincas, foram subtraídos do dormente regiões retangulares com espessuras de 2 mm de modo a fazer a trinca avançar no dormente em intervalos de 10 mm.

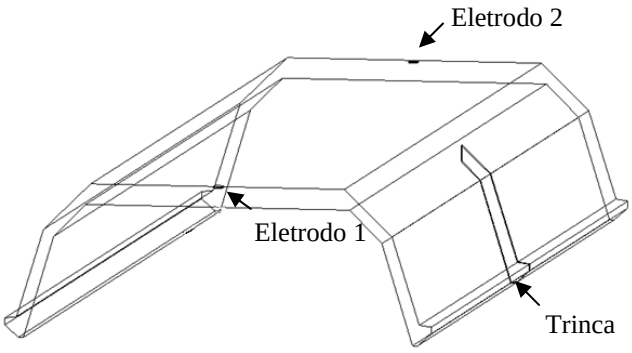


Figura 3 – Vista tridimensional do dormente, indicando os pontos onde o circuito será ligado e uma trinca.

IV. CÁLCULO DE K(L) E G(T)

Deu-se, então, início às simulações com o dormente. Primeiramente, foi encontrada a função *K(l)*, que independe da trinca. Modelou-se o dormente sem trinca, aplicou-se uma diferença de potencial de um volt entre os eletrodos e, utilizando o método das quatro pontas calculou-se a resistência no dormente entre alguns pontos de medição.
Após a regressão linear dos dados coletados, ver figura 4, e forçando-se o ponto (0,0), pois quando a distância entre os pontos de medição for zero a resistência também deve ser zero, chegou-se ao seguinte resultado:

$$K(l) = 6.24 \cdot 10^{-5} \cdot l \qquad (5)$$

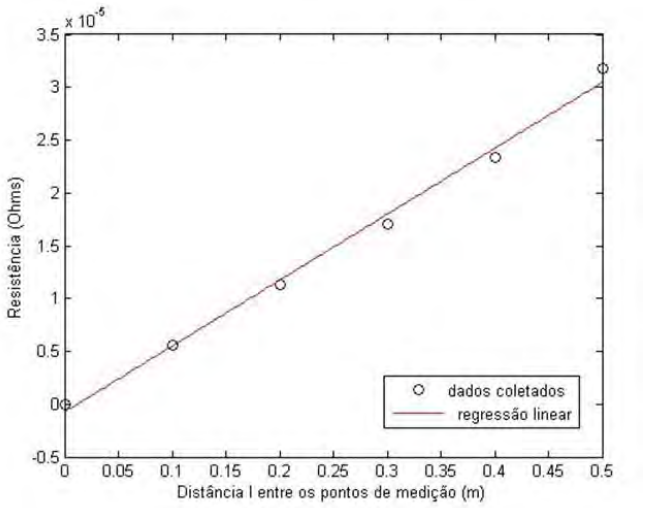


Figura 4 – Gráfico da resistência total do dormente sem trinca em função da distância dos pontos de medição.

Posteriormente, a parcela da resistência gerada pela trinca *G(t)* foi encontrada. Para isso, coletou-se a resistência do dormente sem trinca e subtraiu-se a resistência do dormente com trinca (ambas encontradas através do método de elementos finitos), tendo, assim, a resistência apenas da parte trincada. A figura 5 ilustra o resultado da simulação para uma trinca com 60 mm.

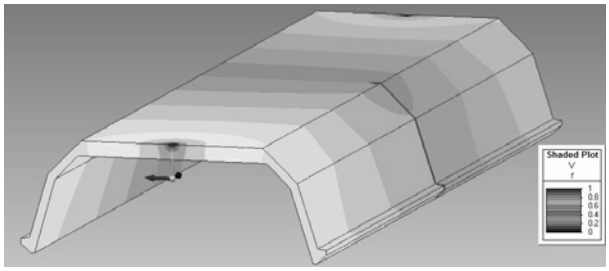


Figura 5 - simulação indicando a distribuição de tensão pelo dormente.

Podemos reescrever a equação (2) da seguinte forma:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{(x - t) \cdot h} \qquad (6)$$

Onde, *x* é a largura do dormente, *t* é o tamanho da trinca e *h* a altura da seção. Considerando ρ, *l* e *h* como constantes podemos fazer o gráfico e a regressão linear da resistência da parte trincada em função de *1/(x-t)*.

Temos que a largura do dormente é de 333,1 mm. A figura 6 apresenta a resistência da parte trincada em função de *1/(x-t)* para vários comprimentos *l*, e o valor médio, que dará origem ao *G(t)* que utilizaremos.

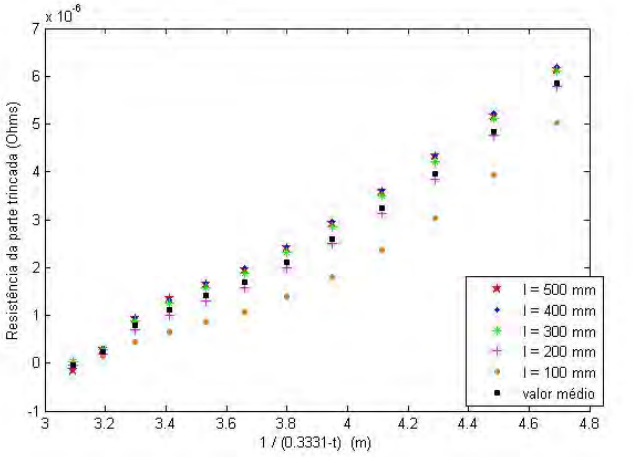


Figura 6 – Gráfico mostrando a curva de G(t), para vários valores de *l*.

Chegando à seguinte equação:

$$G(t) = 3.74 \cdot 10^{-6}\left(\frac{1}{0.3331 - t}\right) - 1.16 \cdot 10^{-5} \qquad (7)$$

Substituindo (5) e (7) em (3), obtemos a fórmula para a resistência em função dos pontos de medição e o tamanho da trinca. Entretanto, o objetivo do trabalho é o de obter a trinca através da resistência medida, portanto, precisamos da equação da trinca em função da resistência e da distância *l*.

$$t(R,l) = \frac{-0.374}{\frac{R}{10^{-5}} - 6.24 \cdot (l - 0.002) + 1.16} + 0.3331 \qquad (8)$$

Assim, é possível encontrar uma expressão fechada para estimar o tamanho de uma trinca no dormente em função do valor medido da resistência obtida pelo método de quatro pontas. Assumindo-se que a corrente utilizada na medição é conhecida, a estimativa do tamanho da trinca pode ser

obtida diretamente do valor de tensão medido entre os pontos *a* e *b*. Os resultados obtidos por meio de (8) foram comparados com os valores obtidos nas simulações. Os resultados são apresentados na figura 7.

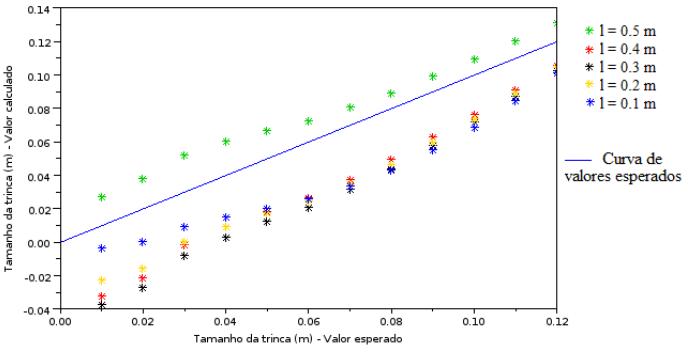


Figura 7 - gráfico valor real X valor calculado.

Analisando os resultados, é possível perceber que quanto maior o comprimento da trinca, mais precisa a equação (8). Temos também que o melhor ponto pra medição da resistência, para, através desta, detectar trincas no dormente foi obtido com *l* igual a 50 centímetros, ou seja, com os pontos de medição equidistantes da trinca (a priori, no centro do dormente) a 25 centímetros da mesma. Essa condição é fácil de ser respeitada na prática uma fez que as trincas ocorrem, na sua grande maioria, na região localizada abaixo do ponto de contato entre o trilho e o dormente.

V. Conclusões

Foi construída uma equação para, através da resistência de um dormente e dos pontos de medição da mesma, chegar a uma análise estrutural dele. Para isso, foram feitas simulações computacionais e, através dos resultados, construídos modelos matemáticos.

As simulações feitas e os resultados alcançados mostram que é possível, através de medição da resistência de um dormente utilizando o método das quatro pontas, saber se este está ou não trincado, utilizando a fórmula (8). O modelo fica mais preciso quando se aumenta o tamanho da trinca e se diminui a distância entre os pontos de medição.

Temos que o melhor ponto para medição encontrado foi com *l* igual a 50 cm, pois, neste ponto, temos *K(l)* muito mais expressivo que o *G(t)*, e podemos dizer, através da comparação entre as figuras (4) e (6), que os erros obtidos na aproximação de *K(l)* influenciam mais fortemente os resultados. Assim, para minimização dos erros de aproximação, é recomendável definir a priori os pontos de medição e encontrar uma aproximação para *K(l)* utilizando pontos apenas no entorno dos pontos de medição.

O modelo apresenta erros, devido, principalmente, à geometria do dormente, que não se encaixa na modelagem linear apresentada aqui. Pode-se perceber isso ao observar a figura (5), as curvas apresentadas encaixam-se melhor em um polinômio cúbico, porém, este não será utilizado aqui por ser mais complexo. O modelo linear é mais simples e atende perfeitamente às especificações deste trabalho, sendo possível detectar facilmente trincas maiores que 60 mm.

Agradecimentos

Esse trabalho foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG.

Referências

[1] H. L. Brina. “Estradas de Ferro. Vol 1 – Via Permanente”. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. 1979. 21.

[2] S. de A. Marques. “Privatização do Sistema Ferroviário Brasileiro”. Agosto de 1996.

[3] Vale – Histórico. Disponível em http://www.vale.com/pt-br/o-que-fazemos/logistica/ferrovias/estrada-de-ferro-vitoria-a-minas/historico/Paginas/default.aspx. Acesso em 25 de Outubro de 2012.

[4] E. D. Leonel. “Método dos Elementos de Contorno Aplicados à análise de Sólidos Multi-fraturados”. São Carlos, SP. 2006.

[5] M.L. M. Borges. “Análise de Propagação de Trincas Por Meio de Mecânica de Fratura”. UFMG. 2010.

[6] M. I. Serrano; HAAN, H.; AVALOS C. D.; FURTADO, G.G.; STROHAECKER, T. “Medidor de Trincas Superficiais Através da Diferença de Potencial Elétrico”. Porto Alegre, RS. 2006.

[7] LIMBERGER, I. da F. Limberger. “Estudo da Propagação de Trincas Transversais por Fadiga em Trilhos Ferroviários”. Porto Alegre, RS. 2000.

[8] G. F. G Yared. “Utilização de Sinais Acústicos para a Detecção de Trincas em Dormentes de Aço”. Congresso Brasileiro de Automática. 2010. Bonito

[9] F. Wenner. “Bulletin of the Bureau of Standards”. 1915. 12, 469.

Análise dos Percentuais de Potência Ativa Associados às Principais Estratégias de Modulação Utilizadas em Inversores Multiníveis em Cascata

Wandry Rodrigues Faria

Instituto Federal de Goiás - IFG
wandryrodrigues@hotmail.com

Sérgio Pires Pimentel

Universidade Federal de Goiás - UFG
pimentel@emc.ufg.br

***Resumo*— O estudo dos inversores é um dos principais temas pesquisados em Eletrônica de Potência. Uma das possíveis formas de desenvolver um inversor é através da estrutura multinível, criada para permitir que os níveis de alta tensão sejam atingidos a partir de simples associações em série de alguns inversores ponte-H operados em baixa tensão. Além disso, a estrutura multinível pode ser aplicada para minimizar a distorção harmônica total produzida pelo inversor e superar as limitações dos dispositivos semicondutores geralmente empregados, como tensão máxima de bloqueio e máxima frequência de comutação. A principal topologia adotada para a estrutura multinível é em a cascata. Ao se optar pelo inversor multinível em cascata, é preciso que sejam definidas a quantidade de níveis no sinal de saída, a configuração da topologia, os valores das fontes de corrente contínua em cada módulo e a estratégia de modulação mais adequada. Este trabalho propõe que, além dos critérios acima referidos, uma análise do percentual de potência ativa associado a cada módulo possa também ser verificada. Este parâmetro adicional poderia ser adotado para escolher a estratégia de modulação mais adequada para o inversor multinível em cascata e também os valores adequados para compor o barramento CC do inversor. Resultados são apresentados para representar essas questões.**

***Palavras chave*—Inversor Multinível, Eletrônica de Potência, Qualidade da Energia Elétrica.**

***Abstract*— The study of inverters is one of the main topics researched in Power Electronics. One of the possible ways to developing an inverter device is using the multilevel structure, whose had been created to allow that high voltage levels could be reached by a series association of some low voltage H-bridge inverters. Besides, it could be applied to minimize the total harmonic distortion produced by the inverter and to transpose the limitations of semiconductor devices usually employed, like maximum break voltage and maximum switching frequency. The main topology used for the multilevel structure is the cascade. By choosing the cascade multilevel inverter structure, it is also necessary to define the amount of levels, the topology configuration, the values of DC sources on each module and the appropriated modulation strategy. This paper proposes that, in addition to the criteria above, an analysis of the percentage of active power in each module produced by the chosen modulation strategy could be verified. This additional parameter could be used to choose the most appropriate modulation strategy for cascaded multilevel inverter and also the values needed to elaborate the inverter DC bus. Results are presented to represent those issues.**

***Keywords*—Multilevel Inverter, Power Electronics, Power Quality.**

Manuscrito recebido em 08 de março de 2013; revisado em 31 de março de 2013.

W. R. Faria (wandryrodrigues@hotmail.com) é aluno de graduação em Engenharia Elétrica no campus Itumbiara do IFG. Av. de Furnas, 55 – Vilage Imperial – Itumbiara – GO – 75524-010

S. P. Pimentel (pimentel@emc.ufg.br) é professor adjunto na Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação da UFG. Av. Universitária, 1488 – Setor Leste Universitário – Goiânia – GO – 74605-010

I. INTRODUÇÃO

Os estudos relacionados aos inversores são motivados principalmente pelo crescente avanço da Eletrônica de Potência associada a aplicações de Geração Distribuída (Smart Grids) ou de Qualidade da Energia Elétrica. Muitos bons trabalhos têm sido elaborados com relação à utilização de inversores em alguma das aplicações acima [1][2]. Porém, há pouca preocupação com o comportamento interno do inversor no que diz respeito à potência ativa associada aos seus componentes e em uma possível adoção dessa análise como um dos critérios de escolha do inversor requerido.

Sabe-se que análise da potência ativa em cada módulo pode auxiliar a elaboração de métodos de proteção e de sistemas de controle em malha fechada desenvolvidos para cada um dos módulos e para o inversor multinível em si [3].

Para análise dos níveis de potência ativa em cada módulo segundo a variação do índice de modulação – que foi variado a cada décimo partindo de 0,0 até 1,2 – foram feitas simulações no software PSIM® [4] constituídas por elementos de potência, elementos de controle e elementos de análise baseados em rotinas escritos na linguagem C++. Tais rotinas

foram elaboradas especificamente para se obter os valores corretos no cálculo da potência ativa, conforme definição da grandeza apresentada na equação 1.

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T p(t)\,\mathrm{d}\,t \tag{1}$$

No software MATLAB® [5] foram criados gráficos dos níveis de potência ativa em cada módulo os quais foram plotados a partir de medições realizadas no software PSIM®.

II. INVERSORES MULTINÍVEIS

São chamados inversores qualquer equipamento que, quando alimentado por tensão/corrente contínua, disponibiliza em seus terminais de saída tensão/corrente alternada, conforme representa a figura 1.

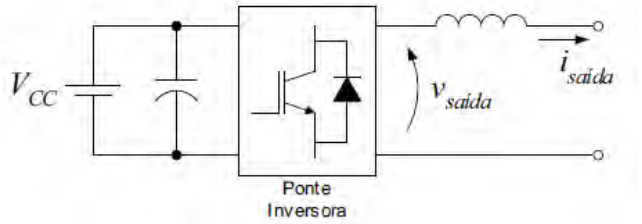


Fig. 1. Estrutura básica de um inversor de tensão.

A denominação de estrutura multinível refere-se à forma de onda nos terminais de saída do inversor. Por exemplo, a figura 2 representa um possível de sinal de saída de um inversor multinível de 5 níveis (total de degraus na forma de onda).

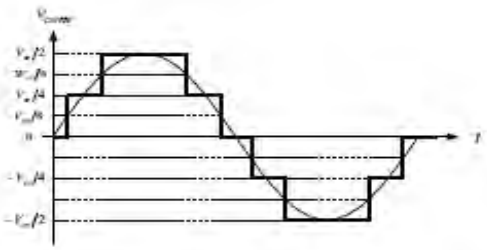


Fig. 2. Forma de onda nos terminais de um inversor multinível.

III. TOPOLOGIA CASCATA

A topologia cascata é uma forma de conectar os módulos inversores em série, somando assim as formas de onda dos terminais.

Essa topologia divide-se ainda em cascata simétrica – caracterizada por baixa potência em todos os módulos e tensão contínua equivalente em todos os módulos – e cascata assimétrica – chaveamento em menor frequência e discrepância na corrente contínua fornecida aos módulos do inversor permitindo gerar grande quantidade de níveis a partir de poucos módulos.

A figura 3 representa a topologia cascata bem como a diferença física entre cascata simétrica e cascata assimétrica, isto é, o fornecimento de tensão contínua aos módulos.

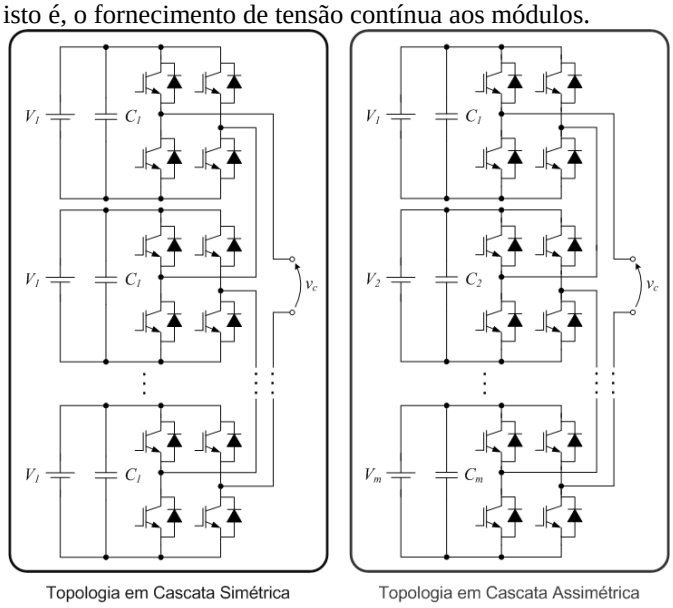


Fig. 3. Topologias cascata simétrica e cascata assimétrica.

A. *"Cascata Simétrica Dinâmica"*

Especificamente para a topologia em cascata simétrica, existe uma estratégia de modulação a qual chamaremos "Cascata Simétrica Dinâmica". O nome se justifica pela consecutiva substituição de cada módulo ao longo do tempo e por cada módulo assumir uma parte da potência ativa total durante um intervalo de tempo constante, conforme a figura abaixo.

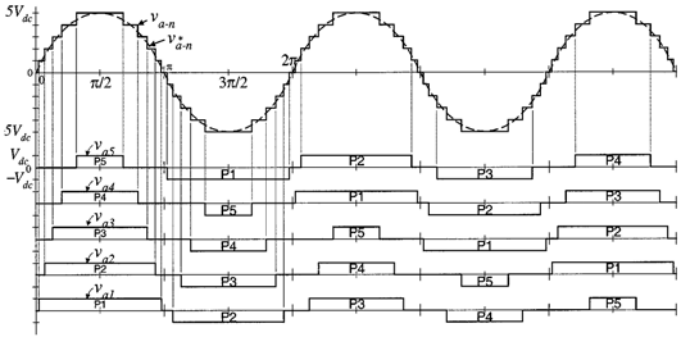


Fig. 4. Representação da cascata simétrica dinâmica [2].

B. *Modulação PWM*

Existe ainda a modulação PWM (*Pulse Width Modulation*, [1]) que consiste na comparação de uma forma de onda referencial a uma forma de onda triangular periódica. A principal característica desse tipo de topologia é o chaveamento em alta frequência.

Especificamente para a estrutura multinível, tal estratégia de modulação PWM pode ser dividida em [6][7]:

- PD (*Phase Disposition*) – todos os sinais das formas de onda triangulares utilizadas na comparação estão em fase.

- POD (*Phase Opposition Disposition*) – os sinais das formas de onda triangulares acima do nível zero estão em oposição de fase em relação à seus respectivos sinais abaixo do nível zero.
- APOD (*Alternative Phase Opposition Disposition*) – os sinais das formas de onda triangulares estão em oposição de fase em relação a todos os sinais adjacentes.

A figura 5 apresenta as estratégias de modulação PD (a), POD (b) e APOD (c).

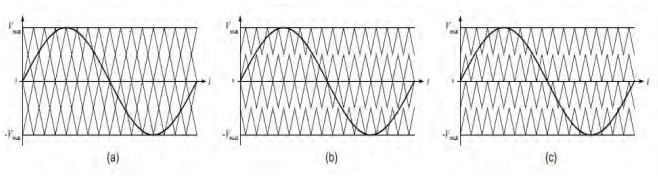


Fig. 5. Modulações PWM em inversores multiníveis em cascata.

As topologias com modulação PWM da figura 5 são utilizadas, basicamente, apenas na topologia cascata simétrica pois, conforme [7], o chaveamento em alta frequência se combinado à alta potência – no caso de se trabalhar com cascata assimétrica, o módulo de maior tensão também possui grande potência – pode diminuir consideravelmente a vida útil dos equipamentos (chaves semicondutoras e inversor).

IV. RESULTADOS

Os resultados apresentados foram obtidos a partir de simulações envolvendo os programas PSIM e MATLAB. O procedimento para a realização das simulações para a topologia cascata assimétrica é listado na tabela abaixo:

TABELA I
SIMULAÇÕES REALIZADAS PARA CASCATA ASSIMÉTRICA

Cascata Assimétrica		
Configuração 1:3:9:27	Configuração 1:2:4:8	Configuração 1:2:6:18
3 níveis	3 níveis	3 níveis
9 níveis	7 níveis	7 níveis
27 níveis	15 níveis	19 níveis
81 níveis	31 níveis	55 níveis

As informações apresentadas na última linha da tabela I sugerem que a topologia em cascata assimétrica é formada por 4 módulos em série. Assim, um dos módulos operaria com o menor valor de tensão CC (módulo 1) e outro, com o maior valor de tensão CC (módulo 4). Os demais módulos operariam com valores intermediários. Os valores corretos dessas tensões CC podem ser calculados a partir das equações 2, 3, 4 e 5, nas quais o termo V_c corresponde ao valor máximo desejado para a tensão de saída do inversor (valor absoluto).

$$V_{cc1} = 1\frac{V_c}{(1+3+9+27)} = 1\frac{V_c}{40} \qquad (2)$$

$$V_{cc2} = 3\frac{V_c}{40} \qquad (3)$$

$$V_{cc2} = 9\frac{V_c}{40} \qquad (4)$$

$$V_{cc4} = 27\frac{V_c}{40} \qquad (5)$$

É possível notar que os valores das tensões obtidas nas equações 3, 4 e 5 são múltiplos da equação 2. Os fatores de multiplicação estão coerentes com a denominação da configuração escolhida (1:3:9:27). Tal propriedade é característica da topologia em cascata assimétrica no intuito de se obter um número alto de níveis no sinal de saída a partir de um número pequeno de módulos do tipo ponte-H [3].

A Tabela II apresenta as simulações realizadas para a topologia cascata simétrica:

TABELA II
SIMULAÇÕES REALIZADAS PARA CASCATA SIMÉTRICA

Cascata Simétrica				
Fixo	Dinâmico	PWM - PD	PWM - POD	PWM - APOD
3 níveis	3 níveis	3 níveis	3 níveis	3 níveis
7 níveis	7 níveis	7 níveis	7 níveis	7 níveis
15 níveis	15 níveis	15 níveis	15 níveis	15 níveis
19 níveis	19 níveis	19 níveis	19 níveis	19 níveis
27 níveis	27 níveis	27 níveis	27 níveis	27 níveis

Para o cálculo da tensão CC em cada módulo quando a topologia empregada é cascata simétrica, não se faz necessária uma configuração. Isto porque a tensão é equivalente em todos os módulos. A tensão CC para cada módulo nos casos da Tabela II pode ser calculada a partir da equação 6.

$$V_{cc,\text{módulo}} = \frac{2V_c}{\left[(\text{nº de níveis})-1\right]} \qquad (6)$$

Todas as simulações foram feitas considerando dois tipos de carga: uma carga linear – um resistor; e um retificador monofásico não-controlado com filtro capacitivo de saída.

A figura 6 exibe o comportamento dos percentuais de potência ativa em cada módulo para a cascata assimétrica 19 níveis considerando os dois tipos de carga. A potência da carga é utilizada como referência para os valores e é de 1pu.

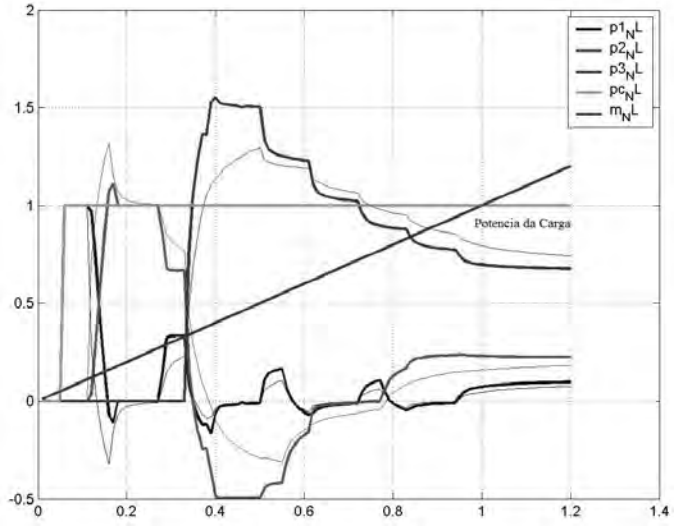


Fig. 6. Representa a potência ativa – eixo Y – versus índice de modulação – eixo X – onde os traços largos são resultados para carga não-linear.

A figura 7 mostra o comportamento da potência ativa nos módulos da topologia cascata simétrica 27 níveis "fixa" (assim denominada para se diferenciar da cascata simétrica dinâmica):

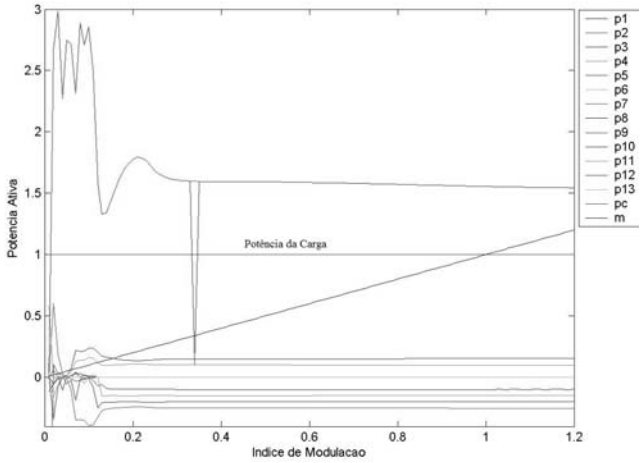


Fig. 7. Comportamento da potência ativa cascata simétrica 27 níveis fixa.

O gráfico que representa a potência ativa nos módulos da topologia PWM PD 7 níveis se assemelha ao gráfico da cascata simétrica fixa conforme é exibido na figura 8.

O comportamento da potência ativa na topologia cascata simétrica dinâmica apresenta a menor variação entre módulos dentre as topologias analisadas conforme a figura 9.

Os gráficos exibidos correspondem à representação das medições realizadas para todas as condições listadas nas tabelas I e II. A partir dos resultados apresentados, da análise das equações para determinação da tensão em cada módulo e da simples análise física de cada topologia, é possível comparar as principais características das topologias trabalhadas conforme descrição apresentada na tabela III.

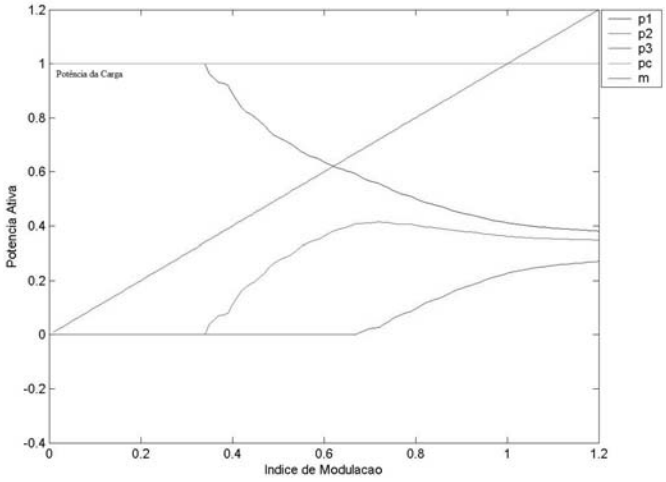


Fig. 8. Comportamento da potência ativa na cascata simétrica PWM PD 7 níveis.

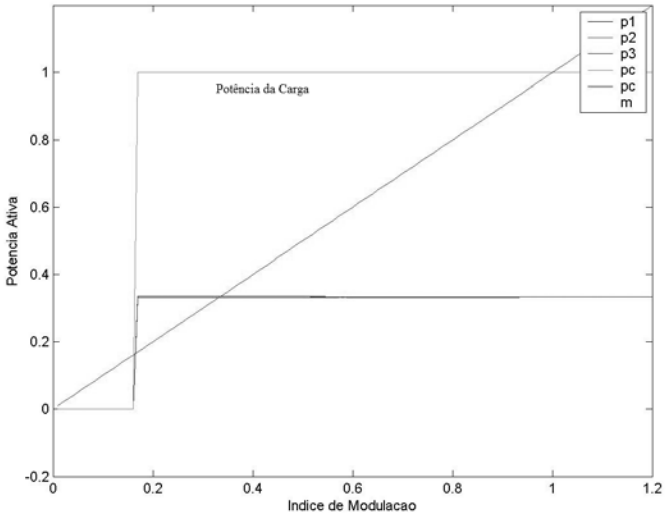


Fig. 9. Índice de potência ativa para cada módulo da cascata simétrica dinâmica 7 níveis.

TABELA III
DIFERENÇAS ENTRE CASCATA SIMÉTRICA E ASSIMÉTRICA

Item Considerado	Cascata Simétrica	Cascata Assimétrica
Diferenças de potência ativa entre módulos	Praticamente Zero	Grande Diferença
Quantidade máxima de níveis gerados com 4 módulos	9 níveis	81 níveis
Chaveamento	Alta frequência	Frequência menor
Diferença em relação à forma de onda referencial	Pequena diferença	Diferença maior (diminui com aumento de níveis)
Espaço físico necessário	Grande espaço físico (vários módulos)	Pequeno espaço físico (poucos módulos)

TABELA IV
ÍNDICE DE MODULAÇÃO A PARTIR DO QUAL O MÓDULO DE MAIOR TENSÃO FORNECE A MAIOR PARTE DA POTÊNCIA ATIVA

Quantidade de módulos	Quantidade de níveis	Valor do índice de modulação no qual o módulo de maior tensão assume o maior percentual de potência ativa
2	7 níveis Config. 1:2:4:8	Entre 0,15 e 0,20
	7 níveis Config.1:2:6:18	Entre 0,50 e 0,55
	9 níveis	Entre 0,40 e 0,45
3	15 níveis	Entre 0,20 e 0,25
	19 níveis	Entre 0,40 e 0,45
	27 níveis	Entre 0,35 e 0,40
4	31 níveis	Entre 0,25 e 0,30
	55 níveis	Entre 0,35 e 0,40
	81 níveis	Entre 0,35 e 0,40

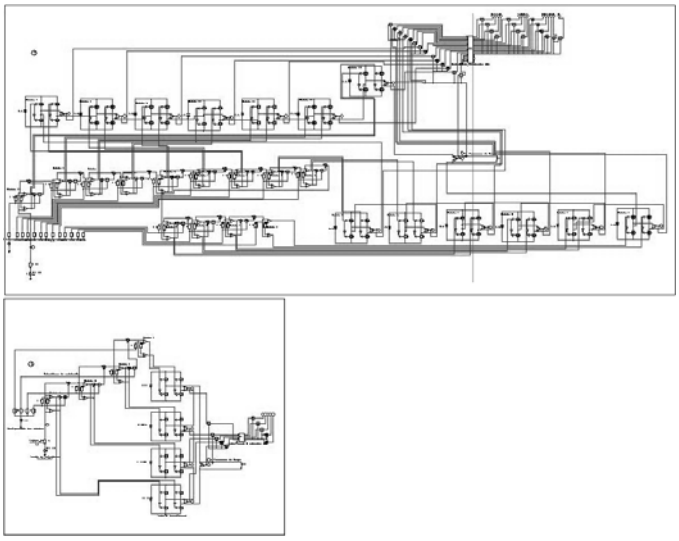


Fig. 10. Diferença nas estruturas dos inversores cascata simétrica de 27 níveis (acima) e cascata assimétrica de 81 níveis (abaixo) adotados durante a análise por simulações.

Com os dados da tabela III, nota-se que é necessária maior rigidez no controle da tensão sobre o módulo de maior tensão uma vez que sua grande potência tende a desestabilizar a tensão e, caso isto ocorra, todo o processo pode ser comprometido visto que cerca de 70% da potência ativa da carga é fornecida por esse módulo. Essa análise é válida para índices de modulação acima de 0,8.

Se por um lado a cascata assimétrica exige gastos com equipamentos para o controle eficaz da tensão sobre os módulos, por outro lado o espaço físico demandado por essa topologia é bem menor que o espaço demandado pela cascata simétrica. Para se obter 27 níveis, por exemplo, são necessários 13 módulos empregando a cascata simétrica e a mesma quantidade pode ser obtida utilizando apenas 3 módulos caso empregada a cascata assimétrica. A figura 10 exibe um exemplo de tal diferença física em termos do *layout* durante a análise de ambas as topologias nas simulações. Nota-se que a cascata assimétrica é capaz de atingir 81 níveis em seu sinal de saída a partir de 4 dispositivos do tipo ponte-H. Na cascata simétrica, são necessários 13 dispositivos para atingir um número menor de níveis.

A principal característica, e também a desvantagem, observada para a topologia cascata assimétrica é, sem dúvida, a grande potência do módulo de maior tensão. Para conseguir um bom controle sobre a tensão desse módulo é imprescindível saber a partir de qual índice de modulação o gráfico da potência ativa assume essa característica de ter a maior parte da potência fornecida por um módulo. A tabela IV mostra o índice de modulação no qual o módulo de maior tensão passa a fornecer a maior parte da potência ativa à carga.

V. CONCLUSÕES

A partir da tabela IV, é possível escolher um índice de modulação tendo como critério de escolha a potência ativa nos módulos, principalmente no módulo de maior tensão.

Tal escolha além de prolongar a vida útil do equipamento, por não trabalhar com potência elevada, contribui para o controle da tensão sobre o módulo de maior tensão, visto que a grande potência que tendia à instabilidade na tensão será drasticamente diminuída.

Pela tabela III também é possível criar um critério de escolha entre cascata simétrica ou assimétrica: é indicada a cascata simétrica quando existe uma exigência muito alta em relação a diferença entre a forma de onda de saída e a forma de onda referencial e existe grande espaço físico; já a cascata assimétrica é indicada quando não há grande espaço físico, não exista uma exigência tão alta quanto a diferença entre a forma de onda de saída e a forma de onda referencial e, caso adotada a tabela IV, a maior desvantagem da cascata assimétrica pode ser driblada.

REFERÊNCIAS

[1] HOLMES, D. G.; LIPO T. A. *Pulse width modulation for power converters: principles and practice* (livro). ISBN: 978-0-471-20814-3, Wiley-IEEE Press, New York, USA, 2003.

[2] Rodriguez, J. et al. “Multilevel inverters: a survey of topologies, controls, and applications”. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, v. 49, n. 4, p. 724-738, August 2002.

[3] Pimentel, Sérgio Pires. “Aplicação de inversor multinível como filtro ativo de potência”. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, 2006.

[4] POWERSIM, INC. PSIM Software. URL: http://www.powersimtech.com/index.php?name=psim. Fevereiro, 2013.

[5] MATHWORKS, INC. MATLAB Software. URL: http://www.mathworks.com. Fevereiro, 2013.

[6] Carrara, G. “A new multilevel PWM method: a theoretical analysis”. *IEEE Transactions on Power Electronics*, v. 7, n. 3, July 1992.

[7] McGrath, B. P., Holmes, D.G. “Multicarrier PWM strategies for multilevel inverters”. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, v.49, n. 4, p. 724-738, August 2002.

[8] Encarnação, L. F. C.; Monteiro, M. A. A “Comparative Analysis Of Pwm Strategies For Asymmetric Cascaded Converters”. XVIII Congresso Brasileiro De Automática - 2010, Bonito-Ms.

[9] Rech, C. et al. “Uma metodologia de projeto generalizada para inversores multiníveis híbridos”. Revista Controle & Automação, vol. 15, no. 2, Campinas, 2004.

[10] Pimentel, S. P. et al. “Single-phase distributed generation system based on asymmetrical cascaded multilevel inverter”. Congresso Brasileiro de Eletrônica de Potência COBEP'2009. Bonito/MS: [s.n.]. 2009.

Sistema Térmico
Para o Monitoramento de Vacinas

Amanda de Souza Silva
amanda.souza@gec.inatel.br
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

Jéssica Amaro Ribeiro Maglioni
jessicaa@gee.inatel.br
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

Wallacy Coelho Sá
wallacycoelho@gee.inatel.br
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

Marco Túlio Perlato
marco-tulio@inatel.br
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

Abstract – The objective of this study is to monitor the ambient temperature storage of vaccines, through a temperature sensor, storing the data in a computer. In this design will use a sensor mounted in a cooler to measure the temperature variations at given time intervals. The captured signals from the sensor are processed by a circuit that converts analog signals into digital serving as a "bridge" data between the sensor and the computer. For this we use a Launchpad for the transmission of data read.

Keywords – Temperature control, thermal sensor, vaccine monitoring.

Resumo – O objetivo do trabalho é monitorar a temperatura do ambiente de armazenamento de vacinas, através de um sensor de temperatura, arquivando os dados em um computador. Neste projeto foi utilizado um sensor acoplado em um refrigerador para medir as variações de temperatura em determinados intervalos de tempo. Os sinais capturados do sensor são processados por um circuito que converte os sinais analógicos em digitais servindo como uma “ponte” de dados entre o sensor e o computador. Para isso usamos um Launchpad para a transmissão dos dados lidos.

Palavras-chaves – Controle de temperatura, monitoramento de vacinas, sensor térmico.

I. INTRODUÇÃO

Vacina é uma substância produzida com bactérias ou vírus mortos ou enfraquecidos [1]. Ao ser injetada no corpo humano, a mesma leva a uma reação do sistema imunológico promovendo a produção de anticorpos contra aquela substância. Desta forma, a vacina prepara o organismo para que em caso de infecção por aquele agente patogênico, o sistema de proteção do corpo humano possa atuar com força e rapidez. Assim a doença não se desenvolve ou, em alguns casos, se desenvolve de forma branda.

Em termos científicos, vacina é todo e qualquer imunógeno empregado para ativar uma resposta imune, específica a um determinado agente infeccioso e/ou toxina produzida por estes, com o objetivo de aperfeiçoar uma resposta imune primária, e consequentemente desenvolver uma memória imunológica protetora de longo tempo. Elas são compostas por adjuvantes, que são substâncias administradas juntamente com os antígenos vacinais e têm como função aumentar o potencial imunogênico da vacina. As imunizações são dividas em dois grupos: ativa – que tem por característica induzir a resposta imunológica, com a produção de células de memória e imunidade de longo tempo; passiva – formar uma resposta imunológica, sem a indução da formação de memória ou imunidade de longo tempo [1].

A variação de temperatura abaixo de 2°C+ e acima de 8°C+ interfere diretamente na qualidade da vacina devido algumas propriedades essenciais serem perdidas. Por tratar-se de um material com um custo elevado e extremamente sensível às variações de temperatura, o controle da mesma é fundamental para o processo de estocagem.

Pela necessidade do produto manter-se resfriado, foi desenvolvido um sistema de monitoração de temperatura que pode ser acoplado em geladeiras comerciais comumente encontradas em hospitais e clínicas com a finalidade de manter vacinas e medicamentos em uma temperatura controlada.

O projeto tem a finalidade de promover o controle de temperatura em um ambiente específico e é composto por dois itens principais: o hardware, responsável pela coleta e envio de dados e o software que por sua vez é responsável por receber os dados lidos, tratá-los e exibi-los para o usuário.

A figura 1 mostra o diagrama em blocos do projeto

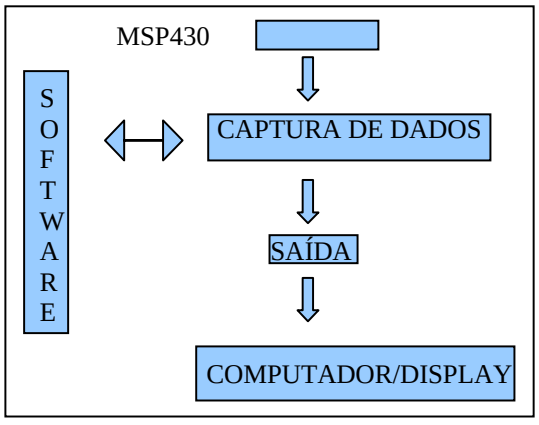


Figura 1 - Visão Geral do Projeto

A. S. Silva (amanda.souza@gec.inatel.br), J. A. R. Maglioni (jessicaa@gee.inatel.br) e W. C. Sá (wallacycoelho@gee.inatel.br) pertencem ao Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel. Av. João de Camargo, 510 - Santa Rita do Sapucaí - MG - Brasil - 37540-000.

II – HARDWARE

Um sistema para a leitura da temperatura das vacinas foi proposto para a obtenção dos dados de forma contínua. Foi escolhido um equipamento de fácil implantação e mobilidade, alta precisão na leitura das temperaturas coletadas e reduzido custo de aquisição. Após diversas comparações entre sensores foi escolhido o MSP430G2231 para uso no projeto [2].

Levou-se em consideração para a escolha do sensor a necessidade de se monitorar um recipiente fechado além da precisão nas medidas.

O MSP430G2231 é um microcontrolador que apresenta um consumo de energia baixo e uma arquitetura de 16 bits voltada para a programação em linguagens de alto nível.

Ele possui uma arquitetura peculiar. Tem a memória dividida em regiões distintas que são acessadas por instruções especializadas. O MSP430 possui uma estrutura de 16 bits tanto nos registradores de trabalho e no endereçamento de memória como na capacidade de processamento da unidade lógica aritmética. Flash, RAM e controle dos periféricos compartilham este mesmo espaço de endereçamento e são manipulados pelas mesmas instruções de acesso á memória.

O MSP430 não possui memória EEProm interna, mas possui 4 áreas de 64 bytes de memória Flash que podem ser usadas para salvar parâmetros. Também dispõe de 16 registradores de 16 bits, dos quais 12 são de uso geral e os restantes são contadores de programa, ponteiro da pilha, status do processador e geradores de constantes.

Os sinais provenientes do MSP430 são enviados para um Launchpad que é um conjunto de funções baseado em plataforma web para o desenvolvimento de código aberto [3]. Na figura 2 podemos ver o MSP acoplado no Launchpad.

Figura 2 – Launchpad com MSP acoplado

O Launchpad possui interface web e um modelo de dados que representa o FOAF (friend-of-a-friend) e DOAP (description-of-a-project); estas especificações oferecem um framework para restringir as aplicações em uma melhor perspectiva para o usuário final. Por exemplo, em vez de exibir todos os erros, exibirá ao usuário uma perspectiva possuindo apenas os erros de um determinado projeto.

O projeto também é composto por um circuito para acionar um alarme caso as temperaturas saiam das faixas pré-determinadas. Para a montagem do circuito foram usados: dois resistores de 2.2k (qualquer tolerância e potência), dois diodos 1N4148, dois transistores BC548, dois relés de 5V, duas fontes de alimentação de 5V de 500 mA e duas lâmpada de cores diferentes para indicar subtemperaturas e sobretemperaturas (foi usada no projeto uma vermelha e uma verde).

O sensor de temperatura ativa uma de suas saídas quando a temperatura sai da faixa ideal. Quando isso ocorre o circuito do relé é ativado acendendo uma das lâmpadas. Vermelha se a temperatura estiver acima da faixa e verde se estiver abaixo. Na figura 3 é possível ver o esquema elétrico do circuito do relé.

O intuito de fazer tal circuito foi com a ideia de que uma vez que as vacinas podem ser alocadas em caixas de isopor, antes mesmo de medir com um termômetro a temperatura atual das mesmas já é possível saber se ela esta muito alta ou baixa. Assim é possível um controle imediato das mesmas nas caixas de isopor enquanto um novo local de armazenamento possa ser providenciado.

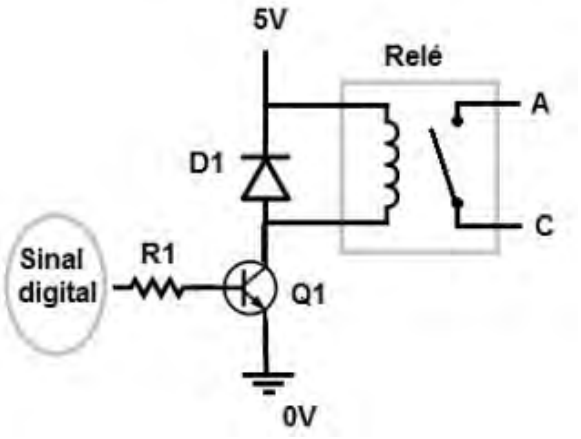


Figura 3 – Esquema elétrico do relé

III – SOFTWARE

O software deste projeto foi dividido em duas partes: Firmware e Software Desktop.

O Firmware implementado no MSP430 possui a tarefa de tratar os sinais provenientes do sensor de temperatura, executar a conversão do sinal analógico para digital e obter o valor de temperatura correspondente em Celsius. O LAUNCHPAD emula a saída do sinal para USB, que originalmente é serial e então envia os dados para o computador, como mostra o diagrama da figura 4:

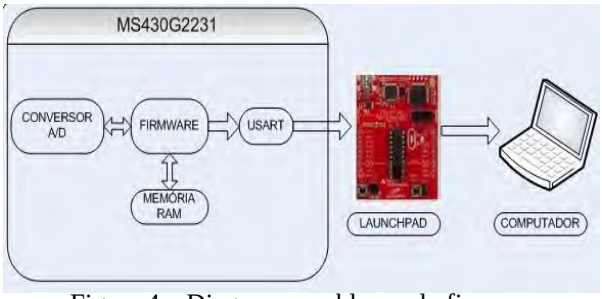


Figura 4 – Diagrama em blocos do firmware

O Firmware foi desenvolvido no software Code Composer Studio para a criação de um programa em C, onde estão todos os comandos para a realização da conversão analógica/digital, do cálculo da temperatura e da transmissão via USB conforme o diagrama em blocos da figura 5.

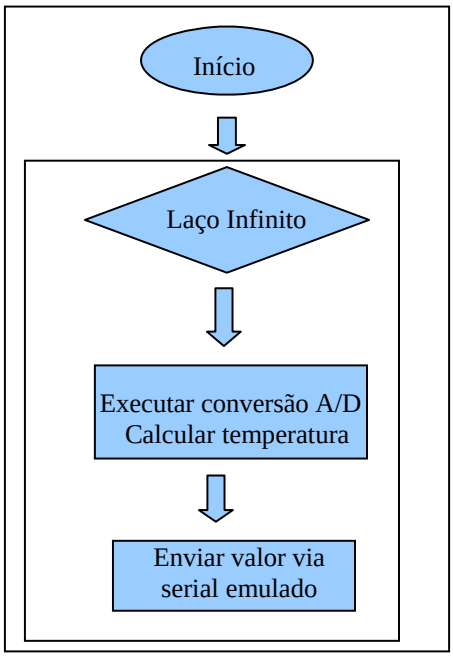


Figura 5 – Fluxograma da tarefa do firmware

O Software Desktop escolhido, que é utilizado para receber os dados provenientes do hardware via porta USB, foi o Processing versão 1.5.1[4]. O programa gera uma tela com: as temperaturas coletadas em tempo real e as máximas e mínimas temperaturas medidas, salvam as mesmas se estiverem fora da faixa especificada além de acionar um alarme sonoro. A figura 6 mostra o diagrama em blocos do software desenvolvido.

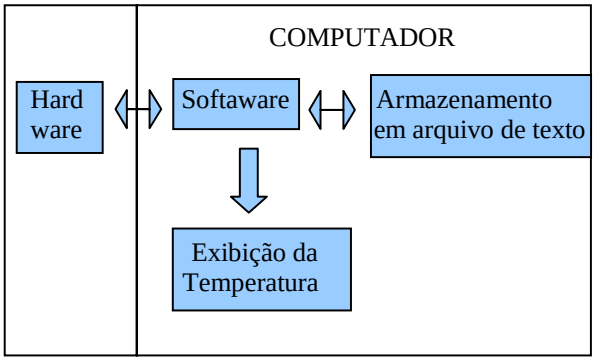


Figura 6 – Diagrama de blocos do software desenvolvido

A figura 7 mostra a tela do software.

Figura 7 – Tela do software

IV – CONCLUSÃO

O principal motivo para o desenvolvimento do projeto foi à busca de uma alternativa para monitorar a temperatura a temperatura das vacinas. Juntando as versatilidades de aplicações dos circuitos integrados, aplicações Desktop e desenvolvendo circuitos eletrônicos relativamente pequenos foi possível interligar as áreas de computação, elétrica e biomédica em um mesmo projeto.

O sistema uniu funcionalidades básicas, como medições de temperaturas e acionamento automático de alarmes.

Este projeto pode ser modificado para a medição e controle de temperatura em outras aplicações que não a proposta, tais como: estufas de culturas microbiológicas e ambientes que demandam este controle, setores hospitalares, bibliotecas, entre outros, bastando para isso modificar a faixa de leitura e valores dos alarmes das temperaturas máxima e mínima.

V - REFERÊNCIAS

[1]Labimuno. Laboratório **de Imunologia e Biologia Celular – ICS – UFBA.** Disponível em <http://www.labimuno.org.br/index.cfm>. Acesso em 03 de abril de 2012.

[2] Microchip. **MSP430G2231 Datasheet.** Disponível em: <http://www.ti.com>. Acesso em 29 de agosto de 2012.

[3]Launchpad. **Collaboration Platform**. Disponível em: <https://www.launchpad.net>. Acesso em 17 de setembro de 2012.

[4]Processing. **Software Free.** Disponível em: <http://www.processing.org>. Acesso em 08 de outubro de 2012

Andador Micro controlado

Alison Raí Ferreira Pereira
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
alisonp@geb.inatel.br

Marco Túlio Perlato
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
marco-tulio@inatel.br

***Resumo*— O desenvolvimento tecnológico propiciou o surgimento de novas técnicas de confecção de dispositivos voltados tanto para as áreas relacionadas ao conforto da população quanto à recuperação e reabilitação de pacientes. O avanço dos estudos possibilitou a abertura de um amplo campo de atuação na área medica, seja em desenvolvimento de novos equipamentos de assistência hospitalar ou em novos métodos de diagnostico e tratamento. O artigo em questão apresenta o desenvolvimento de um andador micro controlado cuja função é auxiliar a correção postural e auxiliar o posicionamento correto de marcha dos pacientes, contribuindo para uma recuperação mais rápida e de forma menos prejudicial à saúde.**

***Palavras chave* — Tecnologia Assistiva, pacientes com deficiência, andador, reabilitação.**

INTRODUÇÃO

Quando o organismo não funciona de maneira íntegra e harmoniosa, uma lesão pode ocorrer, provocando uma deficiência nas funções e estruturas do corpo. Quando isso acontece, o indivíduo deve receber assistência médica e o ambiente deve ser modificado para que as pessoas com incapacidade possam participar da vida social. [1]

Os dados do Censo de 2010 mostraram um aumento de dez pontos percentuais na quantidade relativa de pessoas com deficiência em relação ao total da população brasileira em dez anos. Em 2000, as pessoas com deficiência correspondiam a 14%, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Dez anos depois, o percentual subiu para 24%, equivalente a 45,6 milhões de pessoas, ou cerca de um quarto dos brasileiros. [2]

A reabilitação de membros inferiores é uma constante prática em clínicas de fisioterapia. Vários cuidados são tomados, pois a sobrecarga nos membros inferiores em reabilitação pode comprometer a cicatrização e provocar novas lesões no paciente. Quanto maior for a gravidade da lesão, mais difícil será a movimentação, a marcha correta e o equilíbrio postural. Por isso, em alguns casos, é aconselhável o uso de dispositivos de auxílio à marcha, como bengalas, muletas e andadores, que reduzem a carga de peso nas pernas. [3]

Para tratar especificamente do assunto, é de grande importância o domínio de temas relacionados à fisioterapia, principalmente naquilo onde a necessidade de equipamentos como um andador se faz necessário, bem como sua forma de utilização. Tais cuidados são importantes, pois facilitará a recuperação de uma pessoa com deficiência física permanente ou transitória, independente de idade e/ou condição física. [4]

A fisioterapia tem a função de ajudar e contribuir para o aprendizado do paciente e de como ele deve agir diante de suas lesões físicas. Isto se deve ao fato de que através de exercícios como fortalecimento dos músculos, alongamentos, treinamento de marcha entre outros, promovam a função principal da fisioterapia, que é restituir a independência física do portador. [5]

O andador, sendo um equipamento auxiliar da marcha, vem contribuir com esta independência e também com a autonomia destas pessoas. Ele é um equipamento de tecnologia assistiva e é utilizado por pessoas que possuem deficiência física temporária ou permanente. O seu uso é geralmente auxiliado por profissionais da fisioterapia ou médicos, os quais detêm a técnica para a sua perfeita utilização. [6]

Sendo assim, o presente trabalho visa apresentar o desenvolvimento de um andador micro controlado, capaz de suprir o desconforto de idosos e pacientes em recuperação que precisam utilizar um andador simples.

I. ANDADORES TRADICIONAIS

Quando o andador foi projetado, sua utilidade inicial era de ensinar recém-nascidos, ou crianças de colo a dar seus primeiros passos. Tradicionalmente pensava-se que o uso dos andadores pelas crianças causaria uma aceleração na aprendizagem do andar. Posteriormente a figura do andador passou a servir como apoio a pessoas enfermas, idosos e pessoas com algum tipo de deficiência. [7]

O andador desde a sua invenção mantém-se como um equipamento mecânico, conforme a figura 1. O esforço físico

do usuário é levado em consideração para a devida utilização do produto, tendo em vista que para se deslocar o paciente deve levantar o equipamento para dar o passo. Esse simples caminhar pode se tornar perigoso para algumas pessoas em fase de reabilitação e que não possuem força física ou equilíbrio corporal suficiente para manusear o equipamento. [8]

O Andador Micro Controlado difere dos demais andadores disponíveis no mercado pela presença de motores que auxiliam a marcha do paciente.

Fig.1 Andador Tradicional. [9]

II. ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO

Para o desenvolvimento do projeto foi adquirido um andador tradicional e adaptado um compartimento onde ficam alocados os drivers de acionamento e circuito com o Micro controlador. Este compartimento foi fixado em duas hastes horizontais frontais do andador.

Após este processo foram adaptados dos dois motores de passo no apoio dianteiro, que são responsáveis por tracionar o andador proporcionando o torque necessário para a locomoção do usuário. O controle do seu acionamento é composto por dois botões que possuem as seguintes funções: On/Off, movimentação dianteira e movimentação traseira. No apoio traseiro foram adaptadas duas rodas que fazem o movimento de 360°. O ajuste de velocidade do andador pode ser modificado através do programa existente em um micro controlador, que tem como função definir os comandos dos botões, regular a velocidade dos passos dos motores e controlar as ações de todo o andador. Através de estudos e contato com pacientes, foi calculada uma velocidade média que atende a inúmeros casos e que foi considerada para o desenvolvimento do programa armazenado no micro controlador. Para o desenvolvimento dos esquemas elétricos, foi utilizado o software Altium.

A. Esquema Elétrico

A figura 2 apresenta o esquema elétrico dos drivers de acionamento dos motores. Este dispositivo é constituído por quatro transistores do tipo BUY69A e quatro diodos do tipo LN5408 que tem a função de garantir o desempenho, como a velocidade e o torque dos motores.

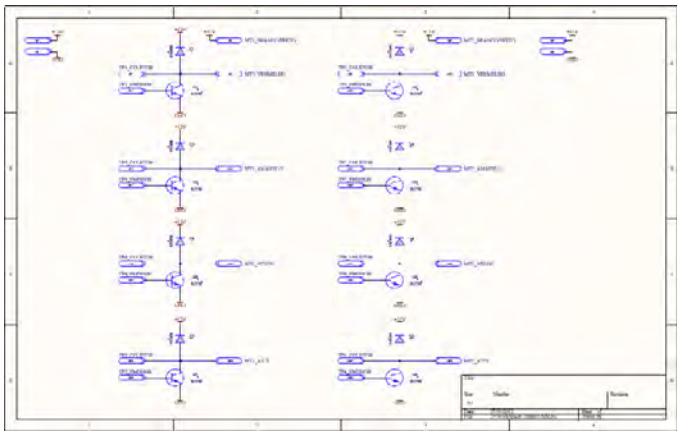


Fig.2 – Esquema elétrico do driver de acionamento dos motores.

A figura 3 apresenta o esquema elétrico do Projeto Andador Micro controlado.

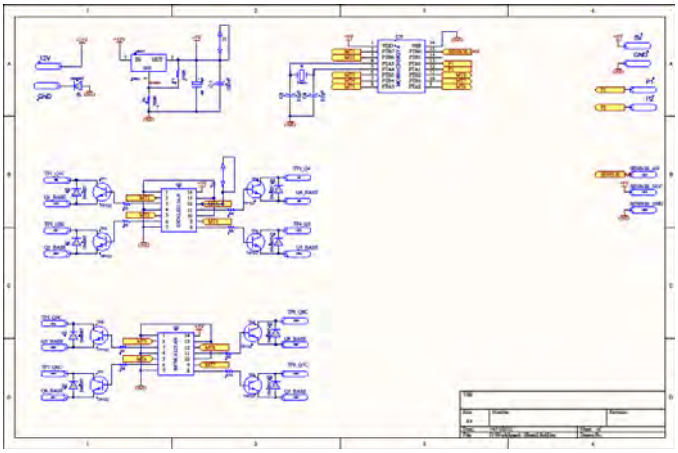


Fig. 3 - Esquema elétrico do Andador.

B. Sistema de tração

Para habilitar a saída do driver foi adaptado um motor de passo, ou seja, um conversor de energia elétrica em movimentos controlados através de pulsos, que desta forma possibilita um deslocamento através de passos. Sua estrutura é segmentada por rotor, estator e grau de passo. [10]

Normalmente o motor de passo é projetado com enrolamento de estator polifásico, o que não é muito diferente de outros motores. O numero de pólos é determinado pelo passo angular que é requisitado por pulsos de entrada.

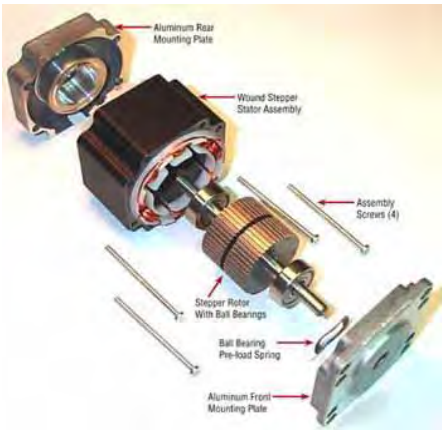


Fig.4 - Modelo de motor de passo.

O motor de passo possui uma alimentação externa e conforme os pulsos entram no circuito de alimentação, o mesmo oferece correntes aos enrolamentos certos para aplicar o deslocamento necessário.

Fig.6 - Motor de passo utilizado no projeto

O motor utilizado no projeto foi fabricado pela empresa Akiyama, necessita de uma corrente de aproximadamente 0,7 (Amper/Fase) e fornece um torque de 4,6 kgf. [11]

III. ANDADOR MICRO CONTROLADO

O protótipo do Andador Micro Controlado possui duas rodas traseiras com giros de 360º, duas rodas dianteiras acopladas aos motores de passo e um compartimento onde se localizam os drivers de acionamento e o circuito integrado responsável pelo controle geral do Andador, além do sistema de baterias que fica acessível nas laterais do equipamento.

Fig. 6 – Andador Micro Controlado (Vista Frontal).

Na figura 7 é possível visualizar o sistema de controle, responsável pelo acionamento dos motores. É constituído por dois botões sendo um deles para o acionamento frontal e o segundo responsável pelo acionamento traseiro.

Fig. 7 – Sistema de controle do Andador Micro Controlado.

IV. CONCLUSÃO

O projeto está em fase final de desenvolvimento com um protótipo já pronto, porém algumas modificações se fizeram necessárias como a inclusão de novos acessórios e sensores de segurança com o intuito de propiciar maior segurança e conforto aos usuários.

As principais vantagens do projeto em relação aos andadores tradicionais presentes no mercado podem ser citados como a diminuição do esforço físico dos pacientes na movimentação do equipamento, redução no surgimento de lesões em virtude da correção adequada da marcha e baixo custo de produção e comercialização.

Após a implementação dos sensores de segurança e conforto, o equipamento estará apto para iniciar a segunda fase da pesquisa com seres humanos.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Corpo Humano. Disponível em: http://www.webciencia.com/11_00menu.html. Acessado em 05. Nov. 2012.

[2] IBGE. Disponível em: http://g1.globo.com/brasil/noticia/2012/04/239-dos-brasileiros-declaram-ter-alguma-deficiencia-diz-ibge.html. Acessado em 04. Dez. 2012.

[3] RESENDE, E. ; GUIMARÃES, I. M; MIRANDA, I. B. A. Treinamento de Descarga de Peso Parcial na Marcha em Uso de Dispositivos de Auxilio. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Fisioterapia da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, UFMG. Belo Horizonte, 2008.

[4] Deficiência Física. Disponível em: http://www.deficienteonline.com.br/deficiencia-fisica-tipos_e_definicoes___12.html. Acessado em 03. Dez. 2012.

[5] Pessoa Portadora de Deficiência, Legislação Federal Básica, Brasília, 2007.

[6] BERSCH, Rita. Introdução a Tecnologia Assistiva. Centro Especializado em Desenvolvimento Infantil. Porto Alegre, 2008.

[7] CHAGAS, P. S. DE. C. Efeitos do Uso do Andador Infantil na Aquisição da Marcha Independente em Lactantes com Desenvolvimento Normal. Tese apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Ciências da Reabilitação, da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), como requisito à obtenção do título de Doutor em Ciências da Reabilitação. Belo Horizonte Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

[8] É preciso ter cuidado com andadores e bengalas. Disponível em: http://www.creb.com.br/site/destaques/e-preciso-ter-cuidado-com-andadores-e-bengalas/. Acessado em: 22. Jun. 2012.

[9] Andador alumínio Eco. Disponível em: http://www.materialortopedico.com/producto/1455. Acessado em: 04. Dez. 2012.

[10] Motor de passo. Disponível em: http://www.dee.feis.unesp.br/graduacao/disciplinas/ele0671/Motor%20de%20Passo-aula3.pdf. Acessado em: 25. Jul. 2012.

[11] Neoyama Automação. Disponível em: http://www.neoyama.com.br/movimentacao/ak57hy-5-1.8.html. Acessado em: 05. Set. 2012.

.

Sistema de Mensuração da Força Aplicada aos Membros Inferiores para o Treinamento de Marcha em Pessoas com Lesão Medular

Eugênia Gonzales Lopes
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
eugenia.lopes@geb.inatel.br

Tassiany Domingos Albergaria
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
tassianydomingos@geb.inatel.br

Cláudia Cristina Garcez
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
claudia.garcez@inatel.br

Fabiano Valias de Carvalho
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
fabiano@inatel.br

***Resumo*— Com o intuito de colaborar nas pesquisas realizadas no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva (CDTTA) com o Elevador Ortostático Dinâmico (EOD) – equipamento criado para auxiliar nos treinamentos de marcha em pessoas com lesão medular – está sendo desenvolvido um registrador de peso que servirá para medir a força corporal aplicada pelos membros inferiores dos pacientes sobre o solo em posição ortostática e/ou na marcha ativa. O equipamento, denominado Sistema de Mensuração da Força Corporal Aplicada aos Membros Inferiores será capaz de mensurar o peso que o paciente está descarregando na região plantar, desconsiderando o peso que está sendo sustentando pelo suporte com EOD, e é constituído por uma célula de carga (transdutor de força que varia sua resistência ôhmica quando submetido a uma deformação), um sistema de condicionamento de sinais e a apresentação dos dados em uma interface homem-máquina.**

***Palavras chave*— Célula de carga, Elevador Ortostático Dinâmico, Lesão medular.**

***Abstract*— With the intention of collaborate with the researches performed at the Center for Development and Transfer of Assistive Technology (CDTTA) with Dynamic Orthostatic Elevator (DOE) - equipment created to assist in the training of gait in people with spinal injury -, has been development a register of weight which will be used to measure the physical force applied by the legs of the patients on the floor in the orthostatic position and/or on the active march. This device, named Measure System of Body Force on Lower Limbs, will be able to measure the weight that patient are discharging on plantar region disregarding the weight of the EOD support and is composed off a load cell (force transducer that changes your electrical resistance when induced by a deformation), a signal conditioning system and a data display in a human machine interface.**

***Keywords*— Load Cell, Dynamic Orthostatic Elevator, Assistive Technology.**

E. G. Lopes (eugenia.lopes@geb.inatel.br), T. D. Albergaria (tassianydomingos@inatel.br), C. C. Garcez (claudia.garcez@inatel.br) e F. V. de Carvalho (fabiano@inatel.br) pertencem ao Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel. Av. João de Camargo, 510 - Santa Rita do Sapucaí - MG - Brasil - 37540-000.

I. Introdução

Segundo o Censo realizado em 2010 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE[1]), existem 13,3 milhões de deficientes físicos no país. Estas pessoas, em sua maioria, dependem de cadeiras de rodas e, por este fato, a postura sentada passa a ser a mais utilizada, levando a danos corporais e metabólicos [2].

Para aumentar a qualidade de vida dos pacientes, geralmente são desenvolvidos projetos com Sistemas de Suporte de Peso que utilizam uma esteira ergométrica para facilitar o treinamento da marcha de pacientes com lesão medular. No suporte com Elevador Ortostático Dinâmico (EOD), a realização da marcha acontece diretamente no solo com o auxílio da fisioterapeuta e sem intervenção de esteiras. Por este motivo, o registro do peso suportado pelos membros inferiores dos pacientes tem eminente importância.

II. Lesão Medular

A lesão medular é uma das mais devastadoras patologias que acomete o ser humano por causar incapacidade e falência de funções primordiais como a marcha, autonomia, função sexual, entre outros. Em média, 15 a 20% das lesões medulares são provocadas por fraturas da coluna vertebral e sua incidência apresenta variações nos diferentes países [3,4]. A lesão medular, também chamada de traumatismo raquimedular (TRM), é definida como uma lesão que ocorre nos elementos neurais do canal medular e que pode resultar em alterações das funções motora, sensitiva e autonômica [5,6].

Após serem acometidas pelo TRM, as pessoas passam a conviver com a imobilidade ou a permanência na postura sentada ou mesmo deitada, e a falta do ortostatismo e da deambulação podem acentuar a perda da massa óssea, além de causar contraturas musculares e úlceras de pressão, diminuição da capacidade respiratória, do volume sanguíneo e da resistência (endurance) e aumento da gordura corporal e colesterol [2].

III. Elevador Ortostático Dinâmico

O "Elevador Ortostático Dinâmico - EOD" é um suporte de peso, projetado por GARCEZ et al. [7], com a finalidade de auxiliar na marcha das pessoas com lesão medular e faz parte das pesquisas do Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologias Assistivas (CDTTA). A partir da confecção desse projeto, foram elaboradas pesquisas com os pacientes incentivando a marcha ativa em solo, com suporte do EOD, e também a musculação com o uso da técnica ciclo excêntrico concêntrico para os membros inferiores. Resultados significativos foram obtidos a partir desta pesquisa e pôde-se perceber o incremento da força muscular e a independência funcional, além do aumento dos níveis de pressão arterial sistólica e diastólica nos pacientes.

Apesar dos bons resultados obtidos com as pesquisas com o EOD, havia a necessidade de mensurar a descarga de peso realizada pelos pacientes quando na posição ortostática ou no treinamento de marcha, sendo que estes dados servirão para avaliar concretamente o êxito do tratamento proposto. Por este motivo foi idealizado um sistema de mensuração do peso corporal por meio do uso de células de carga.

IV. Aquisição e Processamento de Dados

Para aquisição dos dados necessários para mensuração do peso que o paciente está descarregando em seus membros inferiores, o "*Sistema de Mensuração da Força Aplicada aos Membros Inferiores"* será constituído por uma célula de carga, um sistema de amplificação e processamento do sinal e uma interface homem-máquina para apresentação do resultado.

A. Célula de carga

Sistema eletromecânico capaz de realizar a medição da força peso que será acoplado entre o motor do sistema com EOD e o colete do paciente. A partir da deformação causada pela variação da resistência da Ponte de Wheatstone, uma tensão é gerada na saída com alcances na escala de mV [10^{-3} Volts]. A capacidade máxima deste dispositivo é de 200 Kg já que o peso suportado pelo colete usado no sistema com EOD é de no máximo 120 Kg. Depois de calibrada a célula, foram realizadas medidas da tensão de sua saída proporcionais ao peso sustentado pelo suporte e então foi possível desenvolver o Gráfico da Calibração. Os códigos da programação serão baseados neste gráfico para que os resultados sejam verdadeiros e precisos.

B. Processamento do sinal

Devido ao fato da tensão de saída da célula utilizada possuir um valor na escala de milivolts [mV], um amplificador será utilizado em sua saída para alcançar uma escala maior, a escala de Volts [V]. Isso torna possível o aumento da precisão do sistema e permite que o sinal seja reconhecido pelo processador do sinal. O amplificador usado é o INA126 com um ganho de 250 vezes em relação à tensão de entrada, ou seja, como a saída da célula de carga varia entre 0 e 20mV, depois que passar por este bloco oscilará entre 0 e 5V.

O processador do sistema que receberá a tensão obtida pela amplificação do sinal é um microcontrolador, um chip inteligente responsável por receber, processar e armazenar dados. O microcontrolador utilizado será o Arduíno, já que este é atualmente o mais utilizado nestes casos devido à sua facilidade de programação. Este sistema será responsável por receber a tensão em volts e transformá-la em quilogramas de acordo com a programação gravada, armazenando os resultados obtidos.

C. Interface

Constituída por um display LCD conectado à saída do microcontrolador, a interface tem a função de enviar os dados armazenados anteriormente para que o responsável pelo sistema possa avaliar o quanto do peso do seu paciente está sendo suportado pelos seus membros inferiores. Isso tornará possível o acompanhamento da evolução do paciente passo a passo.

V. Conclusão

O Sistema de Mensuração da Força Corporal Aplicada aos Membros Inferiores irá colaborar nos treinamentos da marcha e também em pesquisas científicas, servindo como registro fiel da evolução dos pacientes ao longo do tempo.

Após a finalização do protótipo, os testes começarão a ser realizados em três pacientes e por ser um projeto de pesquisa com os seres humanos, o mesmo será submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa. Os resultados obtidos no tratamento serão salvos semanalmente, sendo registrados três dados para serem comparados posteriormente. Com isto, um gráfico será gerado para maior facilidade da avaliação da progressão do paciente durante a reeducação da marcha.

Referências

[1] IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico: Pessoas com deficiência. São Paulo, 2010. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/. Acesso em: 27 novembro de 2012.

[2] Ruotti, R. G. Reabilitação Aquática. São Paulo: Manole, 2000. 453p.

[3] Custódio, N. R. O. Lesão Medular no Centro de Reabilitação e Readaptação Dr. Henrique Santillo. Coluna/Columna, São Paulo, vol. 8, nº 3, jul./set. 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/ Acesso em: 27 de novembro de 2012.

[4] Defino, H. L. A. Trauma Raquimedular. Medicina, Ribeirão Preto, 32: 388-400, out./dez. 1999.

[5] Dutra, C.M.R. Respostas Fisiológicas ao Treino Locomotor com Suporte de Peso na Lesão Medular. Tecnologia em Saúde: PUC, Curitiba, 2009.

[6] Loureiro, S.C.C. et al. Qualidade de vida sob a ótica de pessoas que apresentam lesão medular. Rev. Esc. Enf. USP, São Paulo, vol. 31, nº 3, p. 347-67, dez. 1997.

[7] Garcez, C. et al. Suporte de Peso Corporal e Musculação para Pessoas com Lesão Medular, XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, Santa Rita do Sapucaí, out. de 2012.

Utilização de Oximetria de Pulso em Ambientes de Ressonância Nuclear Magnética

Ellen Pereira Zambalde

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
ellenz@geb.inatel.br

Fabiano Valias Carvalho

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
fabiano@inatel.br

***Resumo* – O principal objetivo do trabalho foi investigar questões relacionadas ao uso do oxímetro em ambientes de ressonância nuclear magnética (RNM) visando o levantamento de limitações e a proposição de soluções seja no contexto de novas formas de uso e ou adoção de novas tecnologias. Uma pesquisa tecnológica e exploratória, fundamentada em referencial bibliográfico e documental. As principais limitações identificadas foram a interferência que o aparelho oxímetro causa na qualidade das imagens da ressonância e na segurança do paciente. Quanto a proposição de novas tecnologias o estudo aponta para o uso de fibras ópticas.**

***Palavras-chaves* - Oxímetro de Pulso; Ressonância Nuclear Magnética; Engenharia Biomédica.**

***Abstract* - The main objective of this study was to investigate issues related to the use of the oximeter in MRI environments seeking the lifting of limitations and propose solutions either in the context of new forms of use and or adoption of new technologies. A technology and exploratory research, based on documentary and bibliographic references. The main limitations were identified interferences that oximeter device causes on the quality of the MRI images and patient safety. Regarding the proposition of new technologies the study points to use optical fibers.**

***Keywords* – Pulse Oximeter; MRI; Biomedical Engineering.**

I. Introdução

O oxímetro de pulso é um dispositivo médico que mede a saturação de oxigênio no sangue de forma não invasiva em um paciente. Em geral ele é anexado a um monitor para que os médicos possam ver a oxigenação em relação ao tempo. A maioria dos monitores também mostra a frequência cardíaca.

A oximetria por ser uma técnica simples, indolor e que fornece o resultado imediato, tornou-se ferramenta fundamental para a condução de pacientes, principalmente aqueles com suspeita de hipoxemia aguda ou crônica [6].

E. P. Zambalde (ellenz@geb.inatel.br) e F. V. Carvalho (fabiano@inatel.br) pertencem ao Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel. Av. João de Camargo, 510 - Santa Rita do Sapucaí - MG - Brasil - 37540-000.

A leitura do oxímetro é feita através da emissão de luz. Entretanto existem artefatos que comprometem a leitura da oximetria de pulso, como, por exemplo, a interferência na leitura pela emissão de radiofrequência durante a ressonância nuclear magnética [6]. Isto implica que os oxímetros usados neste ambiente também necessitam incorporar novas tecnologias, como cabos especialmente isolados quanto a radiação, reduzindo possíveis queimaduras no paciente e irregularidades nas imagens de ressonância nuclear magnética

Neste contexto, o principal objetivo do trabalho foi investigar questões relacionadas ao uso do oxímetro em ambientes de ressonância nuclear magnética, visando o levantamento de limitações e a proposição de soluções, seja no contexto de novas formas de uso e ou com relação à adoção de novas tecnologias.

II. Oxímetros em ambientes de ressonância

Um oxímetro de pulso é um dispositivo médico que mede indiretamente a quantidade de oxigênio no sangue de um paciente [8].

Devido à simplicidade, rapidez de resposta e facilidade de uso, oxímetros de pulso são de importância vital para a medicina de emergência, e são também muito utilizados para pacientes com problemas respiratórios, onde é necessária oxigenação adicional. As últimas gerações de oxímetros de pulso utilizam processamento digital de sinais para aumentar a precisão em condições clínicas adversas [8].

O princípio da oximetria de pulso é baseado nas características de absorção da luz vermelha e infravermelha da hemoglobina oxigenada e a desoxigenada. A hemoglobina oxigenada absorve mais luz infravermelha (850 – 1000nm) e permite que mais luz vermelha (600 – 750 nm) a atravesse. Já a hemoglobina desoxigenada apresenta comportamento inverso, absorvendo mais luz vermelha permitindo a passagem da luz infravermelha [10].

A equação a seguir (Figura 1) descreve o cálculo realizado pelo equipamento:

$$SpO2 = [HbO2/(Hb+HbO2)] \text{ X } 100\%$$

Figura 1 – Equação do oxímetro

onde:
- SpO2 é a saturação de oxigênio (%);
- HbO2 é a quantidade de oxihemoglobina;
- Hb é a quantidade total de hemoglobina.

Figura 2 – Oxímetro de Pulso [11]

Quanto ao uso de oximetros em ambientes de ressonância magnética (RNM), tem-se um ambiente de interação da radiação magnética com a matéria. Um paciente se submete a um exame de RNM para retratar imagens de seus órgãos e tecidos em alta definição.

A Ressonância Magnética é um exame seguro, os únicos riscos conhecidos são aqueles que resultam de o campo magnético e as ondas de rádio interferir com objetos metálicos ou eletrônicos que o doente tenha na pele ou dentro do corpo, resultantes de cirurgia, ou fragmentos metálicos. Alguns objetos e dispositivos com os quais a Ressonância Magnética interfere são: [12]

- Marca passo cardíaco: dispositivo eletrônico que se destina a regularizar o ritmo cardíaco;
- Desfibrilador cardíaco: dispositivo eletrônico parecido com um marca passo, que faz uma descarga eléctrica quando o coração fibrila;
- Válvula cardíaca: algumas válvulas colocadas no coração têm anéis metálicos que são atraídos pelo campo magnético;
- Porta de acesso vascular ou cateter: usadas, por exemplo, em doentes que fazem quimioterapia, servem para administração repetida de medicamentos;
- Fragmento metálico nos olhos ou no corpo: os fragmentos metálicos podem deslocar-se e resultar em lesão.

A tecnologia de oximetria de pulso oferece limitações em relação ao uso conjugado com equipamentos de tomografia e ressonância magnética. Ficou comprovado que nestes ambientes não somente a leitura de SpO2 foi alterada, como também os resultados dos mapeamentos. Também podem ocorrer queimaduras no local da aplicação do sensor. Mesmo que o oxímetro esteja desligado, se o sensor estiver posicionado no paciente, o risco de queimaduras existe. A fonte destes incidentes é devido à geração de radiofrequência pelo equipamento de ressonância [6].

Neste sentido, a tendência é o projeto de oxímetros de pulsos especialmente voltados ao uso em ambientes de ressonância magnética (Figura 3). O diferencial destes oxímetros é que eles venham a utilizar tecnologias, como o sensor de fibra óptica e o desenho especifico do cabo, no qual irão evitar queimaduras de radio frequência e os artefatos de imagem serão virtualmente eliminados. [13] Empresas como Nonin já tem projetos avançados de oxímetros, com abordagem ao uso em ambientes de ressonância magnética.

Figura 3 – Oxímetro de pulso para ambientes de ressonância nuclear magnética [13]

III. METODOLOGIA

Conforme[1], [2], [3] e [4] a presente pesquisa caracteriza-se como tecnológica, exploratória e encontra-se fundamentada em referencial teórico e documental.

O trabalho foi realizado no período de março/2012 a Janeiro/2013. Inicialmente foram levantados e selecionados artigos, textos de periódicos e livros relacionados basicamente aos temas oxímetro, oximetria, ressonância magnética e oxímetros em ambientes de ressonância.

Na sequência, a partir do acesso e estudos a manuais e catálogos, sejam impressos ou disponíveis na Web, foram levantados dados sobre a estrutura, tecnologia e funcionamento de oxímetros.

Ao final, buscou-se uma integração de conteúdos que permitissem identificar e listar problemas e limitações de uso de oxímetros em ambientes de ressonância magnética e, na sequência, apresentar sugestões de tecnologias associadas à oxímetros, com vistas a minimizar problemas e instigar a pesquisa e o desenvolvimento de novos produtos, com especificações para o ambiente de ressonância.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da revisão de literatura e documental pode-se afirmar que os principais problemas e limitações identificadas com relação ao uso de oxímetro em ambientes de ressonância magnética são os seguintes: alterações nas imagens geradas durante o exame de ressonância nuclear magnética e possíveis queimaduras devido à radiofrequência nos pacientes.

Com o conhecimento específico relativo à estrutura e tecnologia dos oxímetros atuais, a indicação é para o uso de tecnologias como a fibra óptica, onde o direcionamento da luz para dentro do núcleo da fibra seria feito por um prisma. Cabos isolados também serão colocados para garantir a

segurança do paciente. Estes seriam incorporados aos novos projetos de oxímetro, considerando ambientes de ressonância.

A adoção dessas tecnologias implica em solucionar as limitações citadas, reduzir queimaduras no paciente e evitar a ocorrência de interferências nas imagens.

Além disso, cabe observar que devem ser mantidas a praticidade e usabilidade do equipamento – oxímetro.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos realizados, em caráter preliminar, apontam para a necessidade de uma evolução tecnológica no contexto do desenvolvimento de oxímetros para ambientes de ressonância magnética.

Um dos elementos fundamentais desta evolução diz respeito à utilização de fibra óptica. A ideia é que um prisma acoplado direcione a luz para dentro do núcleo da fibra, buscando evitar perdas de potencia do sinal do oxímetro. Neste sentido, o oxímetro conservaria sua praticidade e eficiência proporcionando resultados dentro de parâmetros de confiabilidade adequados.

Tudo isto dentro de um contexto de melhores resultados para a medicina e cuidado maior com a saúde do paciente.

Finalizando, cabe ressaltar, que os resultados obtidos correspondem a uma premissa teórico-bibliográfica. Como trabalhos futuros, indica-se o desenvolvimento de um protótipo com fibra óptica para teste em ambientes de ressonância, ou seja, a validação do protótipo se daria em ambientes adequados de teste envolvendo os elementos de distorção de sinais presentes no contexto da radiofrequência.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1987.

[2] PINHEIRO, J. M. S. **Da iniciação científica ao TCC: uma abordagem para os cursos de tecnologia**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 2010.

[3] ZAMBALDE, A. L. **Metodologia científica**. Lavras: DCC/UFLA, 2012 (Apostila de aula).

[4] JUNG, C. F. **Elaboração de artigos científicos – Materiais didáticos**. Disponível em <http://www.jung. pro.br>. Consulta em 09/05/2012.

[5] MORIYA, J. G. **Manual de Instruções: Oxímetro de Pulso Portátil - Modelo 1003**. São Paulo: Novembro 2004.

[6] TERAPIA DO MOVIMENTO. **Oximetria de pulso e algumas condições que interferem na sua leitura**. Disponível em <http://terapiadomovimento. blogspot. com/2010/06/oximetria-de-pulso-e-algumas-condicoes.html >. Consulta em 27/02/2012.

[7] MOYLE, J. T. B. **The use and abuse of pulse oximetry**. Conference in London, 1996.

[8] WIKIPEDIA, **Oxímetro de Pulso**. Disponível em < http://pt.wikipedia.org/wiki/Ox%C3%ADmetro_de_pulso>. Consulta em 14/09/2012.

[9] PHILIPS Medical Systems. **SpO2 Monitoring. Understanding Pulse Oximetry SpO2 Concepts**. Holand: 2003.

[10] ANVISA, **Desfribilador Externo**. Disponível em <http://www.anvisa.gov.br/boletim_tecno/boletim_tecno_fev2011/PDF/matriz_desfibri_que_temos04fev2011.pdf>. Consulta em 23/01/2013

[11] LIGHT IN THE BOX. **Oxímetro de pulso portátil**. Disponível em: <http://www.lightinthebox.com/pt/oximetro-de-pulso-portatil-PM-60A--12-07-0479-12-_p80694.html>. Consultado em 23/01/2013

[12] HOSPITAL DA BOA VISTA. **Ressonância Magnética.** Disponível em <http://www.hppboavista.pt/pt/ExamesDiagnostico/Paginas/Resson%C3%A2nciaMagn%C3%A9tica.aspx >. Consultado em 23/01/2013.

[13] INDUMED. 7500FO **Oxímetro para ressonância.** Disponível em <http://www.indumed.com.br/site/produtos.php?produto=7500FO-Ox%EDmetro-Para-Resson%E2ncia&pID=NDc=&s=Mg== >. Consultado em 20/08/2012.

Desenvolvimento de um Aplicativo para Celulares das Pessoas com Deficiência Auditiva para Situações Emergenciais

Alexandre Vieira Baldin Totti

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
alexandrevieira@geb.inatel.br

Aline Aires Teixeira

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
alinea@gee.inatel.br

Bruna Tavares Leite

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
brunatavares@geb.inatel.br

Cláudia Cristina Garcez

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
claudia.garcez@inatel.br

José Maria da Silva Souza

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
jmaria@inatel.br

***Resumo* – Este trabalho descreve uma metodologia sobre o desenvolvimento de um aplicativo utilizando as tecnologias Android e iOS. O propósito é aprofundar o estudo da programação capaz de enviar as informações para entidades públicas, amigos e familiares em casos emergenciais de forma imediata. Foi elaborado um diagrama de casos após entrevistas com entidades públicas em que se têm as opções de socorro mais ocorridas e executadas por estas. O aplicativo terá uma interface totalmente exibida em LIBRAS – Língua Brasileira de Sinais, onde o usuário escolherá as opções por vídeos, e assim, formando uma mensagem de texto e de voz para entidades públicas realizarem seu salvamento. Os resultados obtidos mostraram que não foi possível enviar um arquivo de áudio em uma chamada de voz através do aplicativo para números emergenciais. Ficou clara a escassez de estudos no Brasil que evidenciam o uso de aparelho celular com programas de computação para deficientes auditivos.**

***Palavras chave* – deficiência auditiva, inclusão social, engenharia de software, aplicações móveis.**

***Abstract* - This paper describes a methodology about the development of an app using the technologies Android and iOS. The purpose is to incite the study of programming capable of sending information to public entities, friends and family in emergency cases immediately. It was elaborated a case diagram after interviews with public entities in which they have options more occurred and executed by them. The app will have an interface fully displayed in "LIBRAS" (Brazilian Sign Language), where the user chooses the options for videos, and thus forming a text message and voice for public entities provide your rescue. The obteined results showed that it was not possible to send an audio file on a voice call through the app to emergency numbers. There is a clear lack of studies in Brazil showing the use of mobile devices with computer programs for the deaf.**

***Key words:*deafness, social inclusion, software engineering, mobile applications.**

I. INTRODUÇÃO

As pessoas com deficiência auditiva severa ou Surda realizam a sua comunicação com as outras pessoas por meio da Língua Brasileira de Sinais (Libras) e atualmente podem exercer a comunicação por meio de computadores e celulares e este último, através do serviço de SMS (Serviço de Mensagens Curtas ou*Short Message Service*). Porém estas pessoas com deficiência auditiva e surdez, que apresentam no Brasil um contingente de 9,7 milhões de pessoas segundo o Censo do ano de 2010 [1], ainda não conseguem, por meio das modalidades de telecomunicação disponíveis no país, realizar chamadas para serviços emergenciais como polícia, bombeiros ou ambulância. Este fato identifica a exclusão dessa

A. V. B. Totti (alexandrevieira@geb.inatel.br), A. A. Teixeira (alinea@gee.inatel.br) e B. T. Leite (brunatavares@geb.inatel.br) pertencem ao Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel. Av. João de Camargo, 510 - Santa Rita do Sapucaí - MG - Brasil - 37540-000.

comunidade em serviços importantes emergenciais, determinantes entre o viver e morrer, em várias ocasiões.

II. OBJETIVO

Desenvolver um aplicativo para dispositivos móveis, direcionado às pessoas surdas, para seja possível a comunicação de situações emergenciais às centrais emergenciais.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

A. *Diagrama de Casos*

Por meio de entrevistas com policiais, bombeiros e auxiliares de saúde e de pesquisas virtuais [8], foi elaborado um fluxograma de casos, em que se têm especificado os casos de atendimentos solicitados pelas centrais de atendimento de cada entidade de prestação de socorro. O diagrama foi aprovado pelas entidades em que o aplicativo visa possibilitar o acesso e para cada uma delas, se tem as opções características, com informações que julgaram necessárias e essenciais para o salvamento. Cada opção disponível para o usuário estará sendo exibida na forma de vídeos em LIBRAS. Abaixo se tem uma pequena parte do diagrama de casos atendidos pela polícia:

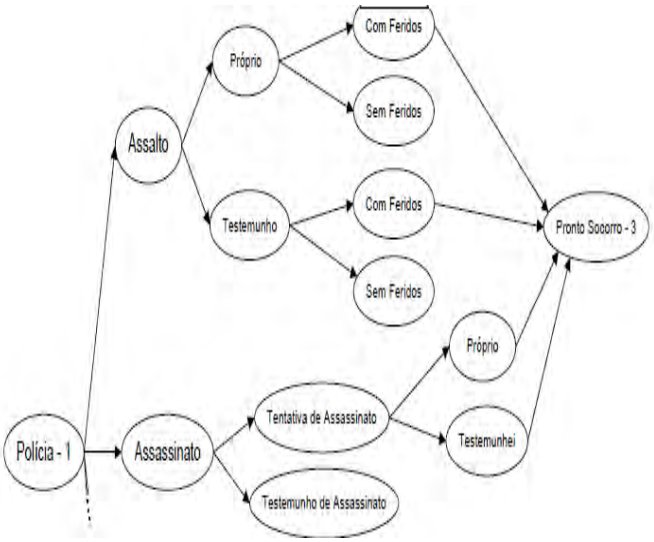


Figura 1. Diagrama de Casos – Polícia. [8]

B. *Funcionamento*

Para cada vídeo, ao ser selecionado, uma mensagem de áudio e de texto irá sendo formada simultaneamente, cada vídeo selecionado anexará um fragmento desta mensagem e ao final das opções, terão as mensagens formadas. A ideia inicial do projeto considerava a possibilidade de o aplicativo conseguir lançar arquivos de áudio da memória em chamadas de voz estabelecidas pelo aparelho. Segundo os guias oficiais de API (Interface de Programação de Aplicativos) do Android "Você não pode tocar arquivos de áudio durante uma chamada" [9]. Com isso, o objetivo do projeto foi mudado de acordo com as possibilidades que ainda atendam as finalidades do projeto.

A visualização dos vídeos, inclusive o entendimento dos surdos, dura aproximadamente 20 segundos. Sendo assim, quando o usuário chegar à última opção do diagrama, tendo especificado todos os detalhes de sua situação, o aplicativo irá mandar um alerta para telefones celulares de policiais, que terão também o aplicativo, com a mensagem de voz obtida pelas opções selecionadas no diagrama de casos, policiais estes que estarão instruídos e preparados à receber e estabelecer rapidamente o salvamento. A mensagem que voz iria ser enviada aos números de atendimento frequentemente usados para essa finalidade, números de emergência como 190, 193, etc., porém, como não é possível acessar diretamente as chamadas de voz pelo Android, o aplicativo irá mandar um alerta aos aplicativos de celulares dos responsáveis pelo salvamento, e ao atender ao alerta, escutará a mensagem de voz preparada a partir dos vídeos. A mensagem poderá ser enviada também à contatos pessoais e familiares previamente cadastrados e também para contatos em chats de redes sociais como o Facebook, onde apenas o intermediário ao salvamento visualizará a mensagem. Para obter a localização dos surdos é necessário buscar as informações de endereço e ponto de referência, pois é importante para facilitar na localização do usuário.

IV. RESULTADOS

De acordo com manual de API, não foi possível converter mensagem de texto em mensagem de voz durante uma chamada de voz pré-estabelecida para números emergenciais [9]. Para resolver este problema é necessário que integrantes ou representantes das entidades públicas tenham o aplicativo para estabelecer uma conexão entre estas e surdos ou ter intermediários como familiares e contatos próximos. Apesar disso, essa dificuldade será considerada como desafio para continuar a pesquisa.

V. DISCUSSÃO

A principal vantagem é melhorar as tecnologias que buscam conforto, acessibilidade e inclusão social para surdos, fornecendo um meio de comunicação e viabilizando o socorro em situações emergenciais para a comunidade deficiente auditiva.

VI. CONCLUSÕES

Há clara a escassez de estudos no Brasil que evidenciam o uso de aparelhos celulares para deficientes auditivos, além de mensagens de texto SMS (Short Messenger System). O software objetiva obter conforto, acessibilidade e mais segurança para a população surda e permitirá que essa parcela significativa da população tenha acesso a serviços de socorro de forma ágil e eficiente, sendo que o tempo é um fator determinante no sucesso de um salvamento.

VII. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPEMIG pelo apoio financeiro e aos orientadores pela perseverança e pelo incansável apoio. E ao programador Lucileno Lima pela significativa ajuda.

VIII. REFERÊNCIAS

[1]CENSO 2010. Ministério da Saúde (2010) Política Nacional deSaúde da Pessoa com Deficiência, Brasília,Disponível em:http://www.saude.gov.br/bus/publicacoes/politica-nacional-pessoa-com-deficiencia.pdf. Acesso em 28 Mar. 2012.

[2] Mondelli, M.F.C.G.; Bevilaqua M.C. (2002) Estudoda Deficiência Auditiva das Crianças do HRAC- USP, Sinopse de Pediatria, v 8, n 3.

[3] Bevilaqua M.C.; Filho, A.C.; Freitas, J.A.S.(1998) " Conceitos Básicos Sobre a Audição e Deficiência Auditiva", Cadernos de Audiologia, USP, 18P.

[4] NEEDS, AssistechSpecial. Telefone de EmergênciaAmplificadoAMPLI600. Disponível em: http://www.assistech.com/pt/telefonesparasurdos/ampli600.html. Acesso em 06 mar. de 2011.

[5] Brasil, Viável. VPAD. Disponível em:http://viavelbrasil.com.br/store/new/vpad/. Acesso em 22 de out. de 2011.

[6] Lavalle,R (2009) " Anatel Propõe Plano Nacionalpara Instalação de Telefones a Deficientes Auditivos,disponível em:http://www.anatel.gov.br/portal/verificadocumentos/documento.asp. Acesso em 14 de fev. 2012.

[7] Alves L. (2010) "Apostila de Android: Programação Passo a Passo" In: Unicamp / Público, Campinas, Disponível em: http://www.labjor.unicamp.br/arquivos/PUBLICO/postilaselivros/apostilaandroid.pdf. Acesso em 12 de jan. 2012.

[8] CENTRO INTEGRADO DE COMUNICAÇÕES OPERACIONAIS (CICOp) – Em que situações devo acionar o 190 – Policia Militar**.**Polícia Militar de Minas Gerais. Disponível em https://www.policiamilitar.mg.gov.br/portal-pm/daop/conteudo.action?conteudo=1603&tipoConteudo=itemMenu. Acesso em Setembro de 2012.

[9] DevelopersAndroid. Disponível em:http://developer.android.com/guide/topics/media/mediaplayer.html. Acesso em 30 de dezembro de 2012.

Impressoras de Órgãos

Allan Marcos Palma Bicov

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
allanb@geb.inatel.br

Caroline Cristiane Pereira

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
carolinep@gee.inatel.br

Karina Perez Mokarzel Carneiro

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
Karina@inatel.br

***Resumo* — As impressoras tridimensionais de órgãos são equipamentos capazes de construir um órgão semelhante ao real com células tiradas do próprio paciente. Com auxilio de sofisticados softwares, um ambiente ideal para a multiplicação das células e uma calibração precisa, a impressora constrói órgãos maciços próximos ao real.**

Essa tecnologia ajudará a diminuir as filas de espera para transplantes de órgãos e a rejeição dos órgãos transplantados. As impressoras de órgãos representam uma revolução na Medicina Regenerativa e na Engenharia de Tecidos.

***Palavras chave* — Bioimpressora, Impressora de Órgãos, Medicina Regenerativa.**

I. Introdução

Atualmente no Brasil cerca de 28000 pessoas estão à espera de um transplante de órgãos e em todo mundo outras passam pelo mesmo problema. Dentre esse montante, diversos pacientes chegam a ficar, em média, 3 anos na fila de espera e após a feição do procedimento, ainda passam pelo risco de rejeição ao órgão transplantado. [12]

Neste artigo será apresentada a impressora tridimensional de órgãos, tecnologia ainda em estudo e desenvolvimento. Os objetivos principais estão inseridos na diminuição do tempo de espera por um órgão e do risco de rejeição ao órgão transplantado. Também apresenta as partes desse processo, como a criação do ambiente ideal para construir um órgão, os softwares e os principais pesquisadores.

II. Impressora de Órgãos

As impressoras de órgãos são impressoras tridimensionais que usam células no lugar de tinta e imprimem órgãos ao invés de objetos.

As células usadas na impressão são criadas com uma técnica parecida com a da clonagem terapêutica. Uma amostra (biopsia) é tirada do paciente e multiplicada com o auxílio de células-tronco. A amostra tirada do paciente é menor que a metade de um selo postal, mas garante que o risco de rejeição seja praticamente nulo.

Essas células são colocadas na impressora que as deposita em uma cuba com condições próximas o do corpo humano. Para garantir essas condições é utilizado um biogel, que funciona como um andaime, dando suporte para que as células fiquem no lugar correto e ajude no transporte de substâncias geradas pelo metabolismo das células. Com um software cria-se um modelo tridimensional do órgão. Esse modelo é criado a partir de imagens coletadas, por exemplo, de ressonância magnética. Com o auxilio de um sistema de calibração a laser e do biogel, os órgãos são criados lentamente com estreitas camadas de células. (Figura 1)

Fig. 1. Processos de criação de tecidos e órgãos. [1]

A impressora de órgãos, representada na figura 2, ainda não é capaz de reproduzir órgãos vascularizados, de estruturas complexas e com células geneticamente diferentes, como por exemplo: coração, fígado, rins, pulmões, etc. Porém, alguns tipos de tecidos como veias, pele, músculos e órgãos mais simples como a bexiga já podem ser criados. [2]

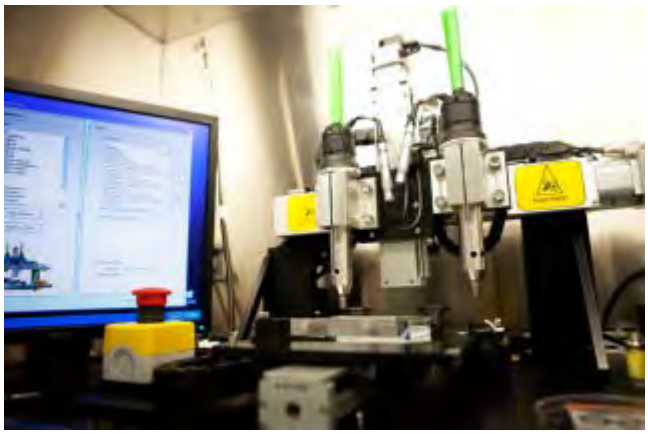


Fig. 2. MMX Novogen Bioprinter, bioimpressora desenvolvida pela Organovo. [3]

III. Empresas e pesquisadores

A primeira bioimpressora foi desenvolvida por três empresas: Organovo, Invetech e Autodesk. A Autodesk é a produtora dos softwares que regem o funcionamento do equipamento. A Organovo é uma empresa norte-americana especializada na tecnologia bioprinting, é uma das pioneiras na área e possui a patente da tecnologia. Seu fundador Gabor Forgaes foi o principal desenvolvedor do primeiro protótipo do equipamento.

Após o desenvolvimento do protótipo, a Organovo começou a desenvolver o equipamento a nível comercial juntamente com uma empresa australiana, a Invetech, que foi responsável pela construção do equipamento. [3]

Anthony Atala é urologista pediátrico, professor e diretor na Universidade de Wake Forest. Ele lidera as pesquisas sobre a medicina regenerativa no instituto, e apresenta uma solução diferente da Organovo. As técnicas usadas por Anthony seguem o mesmo princípio das impressoras de órgãos, porém de uma forma manual. O processo de criação aplicado por Anthony utiliza carcaça de órgãos como molde, sendo um local bastante favorável para o desenvolvimento celular.

Anthony transplantou bexigas criadas dessa forma, acompanha seus pacientes a 9 anos e ainda não obteve nenhuma reação negativa, porém órgãos vascularizados são mais complexos e necessitam de estudos para serem utilizados. Agora com a revolução da tecnologia bioprinting, Anthony foca seus estudos nessa área também, já que isso pode oferecer um grande avanço em suas pesquisas. [4]

IV. Biogel

Um importante material utilizado na fabricação de um tecido ou órgão impresso é uma estrutura artificial (Biogel) que tenta imitar o espaço extracelular nativo. São andaimes que dão suporte para as células impressas, garantindo posicionamento fiel, facilitam a transferência de nutrientes e viabilizam características mecânicas, químicas e biológicas do ambiente extracelular nativo. [7] A principal vantagem da utilização do hidrogel é a facilidade que se tem de ajustar suas características físicas e químicas.

Para que isso ocorra, os andaimes devem satisfazer os seguintes requisitos:

Requisitos biológicos:

• Biocompatibilidade: os materiais utilizados na produção não podem gerar nenhum tipo de alteração nas células;
• Biodegradabilidade: a degradação não pode gerar produtos tóxicos. O principal mecanismo de degradação é por hidrólise;
• Taxa de degradação controlada: a taxa de degradação deve ser ajustável à taxa de regeneração dos tecidos, assim como a porosidade que permite a adesão celular e facilita a vascularização;
• Capacidade para o transporte de sinalizadores biomoleculares.

Requisitos mecânicos:

• “Acabamento” superficial adequado, de maneira a facilitar o processo de adesão celular;
• Facilmente esterilizáveis, com resistência a altas temperaturas, exposição à radiação ou imersão num agente esterilizador não sofrendo qualquer alteração mecânica decorrente deste processo. [5]

V. Desafios na fabricação

A fabricação de estruturas para suporte de células ainda é uma tecnologia recente e tem muitos desafios a ser superados.

A precisão do modelamento, o tamanho e material ideal são alguns temas que demandam muito estudo. [8] Como as células precisam de um suporte, mas não podem sofrer influências da estrutura, novas técnicas devem ser desenvolvidas, já que as existentes fazem com que as células tomem forma esférica e limita o crescimento delas, pois elas não podem crescer pra baixo já que o gel as prende.

Uma possível solução seria a lixiviação magnética. É uma técnica que consiste na adição de partículas (phage) que fariam as células flutuarem quando dispostas em um campo magnético, assim poderiam ficar numa solução menos densa que o biogel.

Outro problema apontado é a grande morte celular dentro dos andaimes. As células, principalmente em estruturas maiores não conseguem realizar transportes de nutrientes, trocas gasosas e se livrar de toxinas fabricadas no metabolismo. Uma possível solução para tal problema é a vascularização dos andaimes, se as estruturas fossem constituídas de redes vasculares seria possível a construção de órgãos mais espessos. Várias técnicas como angiogênese (criação de novas veias num tecido), e alguns dispositivos que realizam essas trocas de nutrientes, estão sendo estudas e testadas, porém ainda é difícil controlar a criação dessas estruturas. [6]

VI. SOFTWARES

Os softwares utilizados na Impressora 3D de órgãos geram graficamente a peça a ser impressa e controlam a construção dos órgãos.

Existem softwares específicos para a impressora de órgãos. O software oferecido pela Organovo (MMX Novogen) tem a interface gráfica simples e intuitiva. O usuário pode projetar o tecido a ser impresso, escolher a forma e o tamanho das células. Também é possível ajustar a velocidade de impressão e escolher diferentes tipos de células para serem impressas. [9]

O InVesalius é um software livre que foi originalmente desenvolvido pelo CTI Renato Ancher, no Brasil. Ele permite que o usuário efetue a reconstrução 3D a partir de um conjunto de imagens originadas por exames de tomografia computadorizada e/ou ressonância magnética. Os modelos 3D virtuais são gerados pelo programa, então, podem ser impressos em protótipos reais, chamados biomodelos. [10]

VII. PROCESSAMENTO

O processo se inicia com a obtenção das imagens através de tecnologias como a Ultrassonografia, Tomografia Computadorizada e Ressonância Magnética. Essas imagens devem seguir um padrão mundial de armazenamento e processamento para terem uniformidade nas imagens e possam ser lidas em diferentes sistemas. Foi criado um protocolo, um formato de arquivo específico, que uniformiza o recolhimento de imagens de diferentes equipamentos. Esse padrão é chamado DICOM (*Digital Imagingand Communications in Medicine*).

A técnica mais utilizada é a Tomografia Computadorizada, devido sua eficiência e menor custo, além de uma exposição pequena do paciente a radioatividade. (Figura 3)

Depois que as imagens são obtidas é feito um processamento especial para que sejam transformadas em estruturas 3D legíveis nas impressoras ou equipamentos de prototipagem.

Cada imagem é uma secção transversal de um órgão, e a estrutura 3D forma-se a partir da união dessas imagens. Primeiro as imagens são convertidas para o formato BMP (Bitmap), um formato legível no programa. Em seguida é obtido apenas o contorno das imagens mais relevantes no processo. As imagens são então identificadas com uma rotulação específica, as cores e tamanho dos arquivos são alterados, e obtén-se o contorno mais próximo possível do real.

Em seguida dois contornos consecutivos são interligados formando-se várias superfícies triangulares. Para que seja possível a identificação de qual ponto será ligado ao ponto do contorno da imagem seguinte, foi desenvolvido um algoritmo.

Após todos os contornos estarem devidamente interligados, forma-se a estrutura 3D do órgão. Essa estrutura tem a superfície como um mosaico de triângulos que tem todos seus dados armazenados: os pontos no plano cartesiano referentes a cada vértice e os pontos do vetor normal ao triângulo. A partir desses dados é possível à conversão dessa estrutura para uma linguagem reconhecida pela máquina, o arquivo STL. O formato STL é aceito como padrão e é o mais utilizado como interface, por ser um formato aberto e simples. Para visualização dos arquivos é usado um software chamado Magics. [5]

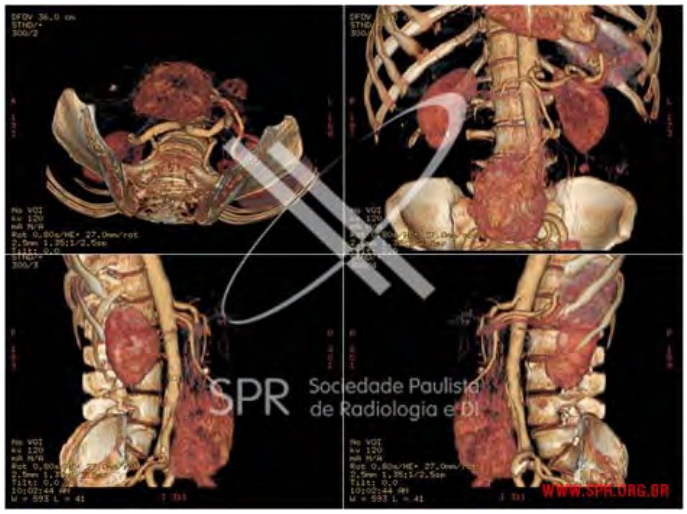


Fig. 3. Imagens obtidas com tomografia computadorizada. [11]

VIII. CONCLUSÃO

A tecnologia Bioprinting já é capaz de produzir alguns tecidos e órgãos, mas ainda faz-se necessário, estudos para a impressão de órgãos mais complexos, que possuem vascularização e diferentes tipos de células.

As tecnologias auxiliares, tais como softwares e andaimes de suporte das células, são partes importantes do processo que certificam o posicionamento correto das células e a precisão na impressão.

Além da aplicação direta em formas de transplantes, conclui-se que o sistema poderá ser utilizado também no ramo fármaco, garantindo eficiência nas pesquisas de novos medicamentos com resultados mais rápidos e precisos por serem testados diretamente no tecido humano.

IX. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] JULIÃO, André. A fábrica de órgãos. (Online). Disponível na internet: http://www.istoe.com.br/reportagens/52892_A+FABRICA+DE+ORGAOS. 10-09-2012.

[2] PONTES, Felipe. Fábrica de órgãos. (Online). Disponível na internet: http://revistagalileu.globo.com/Revista/Common/0,,ERT220794-17773,00.html. 17-04-2012.

[3] ORGANOVO. Information Bioprinting Process. (Online). Disponível na internet: http://www.organovo.com.. 16-04-2012.

[4] ATALA, Anthony.Why you should listen to him. (Online). Disponível na internet: http://www.ted.com/speakers/anthony_atala.html. 16-04-2012.

[5] MOTA, Carlos Miguel Domingues. Sistema de Bioextrusão para Engenharia de Tecidos. (Online). Disponível na internet: http://ria.ua.pt/bitstream/10773/2475/1/2009000869.pdf. 15-07-2012.

[6] MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. Emerging Technologies for Assembly of Microscale Hydrogel. (Online). Disponível na internet: http://web.mit.edu/bammlabs/Assembly%20of%20Microscale%20Hydrogels%20%28Review%29.pdf. 08-06-2012.

[7] INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. Objetos 3D criados com laser realizam sonho da nanotecnologia. (Online). Disponível na internet: http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=laser-cria-objetos-3d-resolucao-molecular&id=010165120829. 11-01-2013.

[8] MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. Emerging hydrogels as extracellular matrix mimics. (Online). Disponível na internet: http://web.mit.edu/bammlabs/Hydrogels.pdf. 08-06-2012.

[9] ORGANOVO. Process of Bioprinting. (Online). Disponível na internet: http://www.organovo.com. 22-08-2012.

[10] PORTAL DO SOFTWARE PÚBLICO BRASILEIRO. Inversalius. (Online). Disponível na internet: http://www.softwarepublico.gov.br/spb/vercomunidade?community_id=626732. 22-08-2012.

[11] MATSUMOTO, Carlos. Grupo de Estudos GERA. (Online). Disponível na internet: http://www.spr.org.br/grupos-de-estudos/gera/casos-clinicos/dr-carlos-matsumoto-e-dr-roberto-blasbalg/. 13-12-2012.

[12] PORTAL VERMELHO. Campanha mostra fila gigante para receber transplante de órgãos. (Online). Disponível na internet: http://www.vermelho.org.br/tvvermelho/noticia.php?id_noticia=204118&id_secao=29. 10-01-2013.

Construção do modelo do domínio em um Sistema Tutor Inteligente utilizando XML e Banco de Dados

Eduardo Gonçalves Costa
Universidade Federal de Uberlândia – UFU
eduardogoncalvescosta@comp.ufu.br

Higor Ernandes Ramos Silva
Universidade Federal de Uberlândia – UFU
higorernandes@si.ufu.br

Alexsandro Santos Soares
Universidade Federal de Uberlândia – UFU
alex@facom.ufu.br

***Abstract* — The use of intelligent tutoring systems in educational environments provides personalized learning through the adaptation of teaching according to learning theories. Based on ITS classic architecture, it is proposed a domain module modeling using XML and database technology. Clojure, a functional programming language based on JVM, is used as implementation language to the whole project.**

***Keywords* — intelligent tutoring system, domain model, clojure, XML**

***Resumo* — O uso de Sistemas Tutores Inteligentes em ambientes educacionais proporciona a personalização do aprendizado através da adaptação do ensino, conforme teorias de aprendizagem. Seguindo a arquitetura clássica de um STI, propõe-se a construção de um módulo de domínio utilizando XML e Banco de Dados. Clojure, uma linguagem de programação funcional baseada na JVM, é usada na programação de todo o sistema.**

***Palavras chave* — sistema tutor inteligente, modelo de domínio, clojure, XML**

I. INTRODUÇÃO

Um Sistema Tutor Inteligente (STI) é um programa de computador que utiliza técnicas de Inteligência Artificial para representar o conhecimento e levar a termo uma interação com o aluno [2]. Existem variadas formas de se construir um sistema tutor, entre elas a arquitetura de quatro componentes [3], presente na maioria dos sistemas tutores [1] [6] [7] [8]. Como mostrado na Figura 1, esta arquitetura possui os seguintes módulos:

- Módulo de Comunicação, que possibilita a interação do aluno com o restante do sistema, dada pela utilização de interface gráfica, que pode possuir uma camada de hipermídia adaptativa;
- Módulo do Estudante, que tenta inferir o estado cognitivo do aprendiz, incluindo seus equívocos e lacunas de conhecimento;
- Módulo Pedagógico, que pode indicar instruções corretivas ou dar um retorno no caso de haver discrepância entre o comportamento apresentado pelo aluno e o comportamento presumível do perito;
- Módulo do Domínio, que possui o conhecimento especializado a ser transmitido ao aprendiz.

O modelo de domínio aqui proposto faz parte de um sistema tutor inteligente para a web, atualmente em construção na Faculdade de Computação da Universidade Federal de Uberlândia, batizado de e-duca. O sistema tem como objetivo inicial ensinar disciplinas de Introdução à Programação e Estruturas de Dados para cursos de Sistemas de Informação e Ciência da Computação, com a finalidade de disponibilizar um ensino mais personalizado a cada aluno.

Será apresentada a arquitetura do sistema tutor focando no módulo de domínio, objeto deste trabalho. Os demais módulos serão tratados detalhadamente em trabalhos futuros.

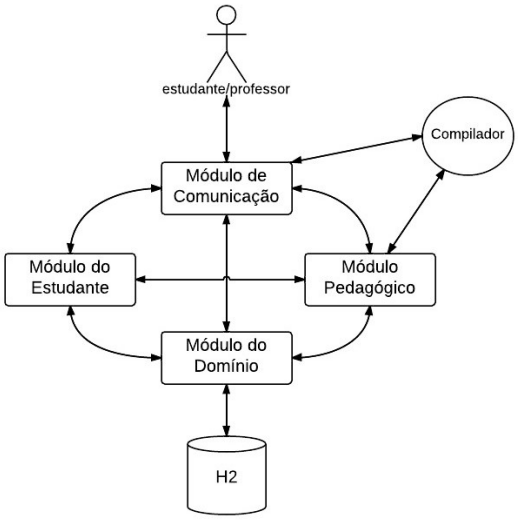


Fig. 1: Arquitetura do sistema tutor web batizado de e-duca, em construção na Universidade Federal de Uberlândia.

A arquitetura do e-duca possui, além dos quatro módulos, um compilador projetado para detecção apurada de erros de compilação cometidos por programadores iniciantes. As mensagens de erro encontradas pelo compilador serão analisadas pelo módulo pedagógico visando auxiliar o iniciante em programação. Este compilador também se encontra em fase de construção.

Modelos de domínio são representações qualitativas do conhecimento de um especialista em um domínio específico e podem representar fatos, procedimentos ou métodos que os

E.G. Costa (eduardogoncalvescosta@comp.ufu.br), H.E.R. Silva (higorernandes@si.ufu.br) e A.S. Soares (alex@facom.ufu.br) pertencem à Faculdade de Computação da Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Av. João Naves de Ávila, 2121 – Campus Santa Mônica – Uberlândia – MG – Brasil - 38408-100.

especialistas usam para cumprir tarefas ou resolver problemas [1]. Nas próximas seções será apresentada a arquitetura do módulo do domínio, bem como detalhes internos à sua construção.

II. DOMÍNIO NO CONTEXTO DO E-DUCA

Ao modelo do domínio do e-duca compete a representação de um especialista por meio da estruturação, armazenamento e recuperação de exercícios, apresentações, recursos multimídia, erros cometidos pelo usuário (estudante que utiliza o sistema), estereótipo de estudante (estilo de aprendizagem/perfil do estudante) e hierarquia de tópicos de um determinado assunto (conteúdo de uma determinada disciplina). Além destas funções, o modelo tem por responsabilidade a persistência dos dados de professores, disciplinas por eles ministradas e dados de estudantes, assim como as disciplinas cursadas e seu conhecimento parcial/geral, sendo este quantificado em dados estatísticos. O uso destes dados é de responsabilidade de outros módulos.

Para a construção do modelo, foi usado XML e modelagem Entidade-Relacionamento (E-R) de banco de dados, além da linguagem de programação funcional Clojure[2] [9].

Extensible Markup Language (XML) é linguagem de marcação de dados (meta-markup language) que provê um formato para descrever dados estruturados. Isso facilita declarações mais precisas do conteúdo e resultados mais significativos de busca através de múltiplas plataformas.

O XML permite a definição de um número infinito de marcações (tags). Enquanto no HTML as tags podem ser usadas para definir a formatação de caracteres e parágrafos, o XML provê um sistema para criar tags para dados estruturados. É uma recomendação da W3C para se armazenar os dados, e somente para isto. XML não foi criado para mostrar dados, apenas para armazená-los. Serão citadas nas próximas subseções uma visão geral da arquitetura do módulo e a apresentação de suas funções, explorando um pouco mais a arquitetura deste.

A. Arquitetura

A arquitetura do módulo é dividida em duas partes: XML e Banco de Dados (ver Figura 2). Cada uma destas partes possui um grupo de funcionalidades para com os outros módulos do sistema.

A parte de XML possui duas funcionalidades: a de *manipulação* de XML, usada para manipular os arquivos XML guardados no banco de dados, e a de *geração* de XML, que tem por finalidade gerar os arquivos XML automaticamente sem a necessidade de intervenção humana, como no caso de erros cometidos pelo aluno. Também é possível gerar os arquivos a serem utilizados no sistema, como exercícios e apresentações, bastando que o usuário entre com os dados em um gerenciador gráfico. O módulo possui as regras pré-definidas para a estruturação destes arquivos.

A parte de Banco de Dados tem por finalidade disponibilizar uma Interface de Programação de Aplicativos (API) para manipulação de dados do banco sem a necessidade de usar diretamente SQL. Algumas de suas funcionalidades estão restritas apenas ao módulo do domínio, sendo portanto, apenas acessíveis por administradores do módulo. Todos os dados que usam a persistência fazem uso desta parte do módulo. A arquitetura do módulo é apresentada na Figura 2.

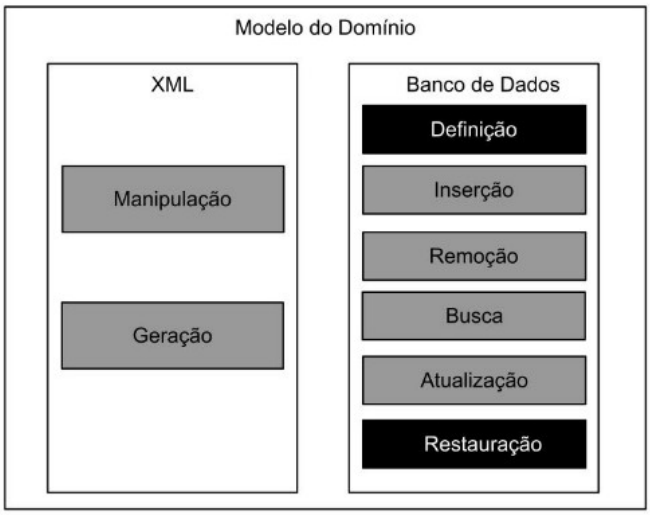


Fig. 2: Arquitetura do módulo do domínio. Os retângulos em preto representam bibliotecas restritas ao módulo, ou seja, não são utilizadas por outros módulos.

B. Estrutura dos arquivos XML

O modelo em questão utiliza XML como estratégia para estruturação de dados em si e regras a serem utilizadas por outros módulos. A utilização de linguagem de marcação XML para estruturar os dados permite o acesso e a manipulação de propriedades dos mesmos através de funções definidas na API do domínio, além da organização da hierarquia destes. Cada um dos modelos estruturados será citado de forma breve, listando exemplos de alguns arquivos.

O documento de marcação de exercícios tem por objetivo estruturar os exercícios do e-duca. Para a estruturação, os exercícios foram separados em quatro categorias, cada uma com uma abreviação correspondente: múltipla escolha (*me*), verdadeiro ou falso (*vf*), programação (*programacao*) e aberta (*aberta*). A justificativa de separar os exercícios em categorias é de facilitar a exibição pelo módulo de comunicação, que reconhece tal exercício pela sua categoria.

Além do tipo, os exercícios do sistema também são separados por nível: fácil, médio ou difícil. Eles podem ser usados, por exemplo, pelo módulo pedagógico, a fim de indicar exercícios mais fáceis a um aluno que está com dificuldade e exercícios mais difíceis a um aluno que está mais bem preparado.

Cada exercício possui um identificador único, associado a um tópico de uma disciplina, que é usado pelo banco de dados para armazenamento e busca.

O enunciado dos exercícios pode possuir texto, código com realce ou sem realce – que fica a critério de quem está armazenando o exercício para posterior uso – imagem, animação e/ou vídeo, sendo necessário no caso dos três últimos especificar o caminho, que pode ser um diretório local, uma URL ou o código de incorporação (*embedded*).

A resposta de cada exercício é colocada no arquivo XML para correção automatizada pelo sistema, e a forma como a

[2] Disponível em http://clojure.org

solução é estruturada vai depender do tipo de exercício. Como exemplo, na Figura 3, a resposta das questões de múltipla escolha é colocada como um atributo do rótulo `alternativa`. Já para exercícios de programação, a resposta é um código correto colocado dentro de um rótulo intitulado `resposta`. O mesmo vale para questões abertas. Na Figura 4 é mostrado como o código XML da Figura 3 é exibido atualmente pelo módulo de comunicação.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<exercicio>
     <conteudo>alocDin</conteudo>
     <idEx>ad001</idEx>
     <nivel>facil</nivel>
     <tipo>me</tipo>
     <enunciado>
     <texto>
         A alocação dinâmica em C
         é feita com o seguinte comando:
     </texto>
     </enunciado>
     <alternativa valor="false">
        <codigo highlight="no">
           allocation(estrutura*)
        </codigo>
     </alternativa>
     <alternativa valor="false">
        <codigo highlight="no">
           free(estrutura*)
        </codigo>
     </alternativa>
     <alternativa valor="false">
        <codigo highlight="no">
            sizeof()
        </codigo>
      </alternativa>
      <alternativa valor="true">
        <codigo highlight="no">
            malloc()
        </codigo>
      </alternativa>
</exercicio>
```

Fig. 3: Um exemplo de arquivo XML de um exercício de múltipla escolha.

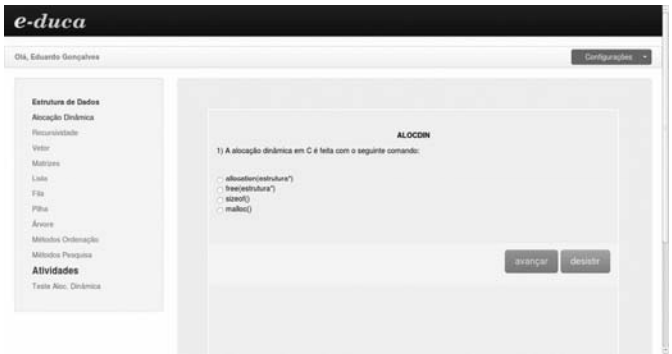


Fig. 4: Resultado da exibição do arquivo XML, pelo módulo de comunicação, para o código mostrado na Figura 3.

Além dos exercícios, também se faz necessário o documento de marcação de apresentação, que tem por objetivo estruturar o conteúdo teórico, seja ele texto, vídeo, figura ou animação a ser apresentado para o aluno.

Para apresentações em formato texto, o conteúdo teórico é colocado diretamente no arquivo XML, através de um rótulo intitulado `texto`.

Para apresentações em formato de vídeo, figura e animação, o sistema permite que sejam armazenados três tipos de caminhos dos arquivos: `diretório`, para arquivos locais; `url`, para arquivos na internet; e `embedded`, que permite armazenar um código de incorporação de algum site de vídeos, por exemplo.

Cada apresentação está atrelada a um estilo de aprendizagem, que foi estruturada baseando-se em [4] [5] através dos rótulos `seleção`, `organização` e `utilização` para que, dependendo do estilo do aluno, se possa mostrar um conteúdo teórico compatível. O rótulo `seleção` pode assumir os valores `visual`, `auditivo` ou `cenestésico`. Rótulo `organização` pode ser `global` ou `específico` e o rótulo `utilização` pode ser `ativo`, `reflexivo`, `teórico` ou `pragmático`.

Na Figura 5 é mostrado o código XML para uma apresentação de vídeo e na Figura 6 é exibida a tela do sistema para este código.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<apresentacao>
    <idAp>backes001</idAp>
    <disciplina>GSI002</disciplina>
    <conteudo>introducao</conteudo>
    <tipo>video</tipo>
    <selecao>visual</selecao>
    <organizacao>global</organizacao>
    <utilizacao>teorico</utilizacao>
    <video>
       <embedded>
          &amp;lt;iframewidth=&amp;quot;
          560&amp;quot;height=&amp;
          quot;315&amp;quot;src=&amp;quot;
          http://www.youtube.com/embed/
          GiCt0CwcpU&amp;quot;frameborder
          =&amp;quot;0&amp;quot;
          allowfullscreen&amp;gt;&amp;
          lt;/iframe&amp;gt;
       </embedded>
       <legenda>
          Esqueleto de um programa em C –
          Créditos a André Backes
       </legenda>
    </video>
</apresentacao>
```

Fig. 5: Um exemplo de arquivo XML de apresentação de vídeo.

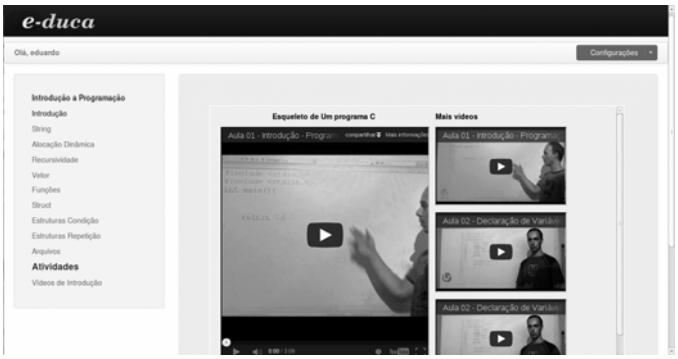


Fig. 6: Resultado da exibição do arquivo XML mostrado na Figura 5, pelo módulo de comunicação.

Um catálogo de bugs é um mecanismo que adiciona equívocos de uma biblioteca predefinida para um modelo do estudante; um catálogo de bugs contém erros dinamicamente

montados para se encaixar em um comportamento de um aluno [1].

A partir da definição anterior, o módulo do domínio do e-duca é capaz de gerar erros estruturados em XML, com o tipo de erro a ser gerado dependente do tipo de exercício. Isto é feito com a finalidade de se gerar um erro mais compatível com o contexto do exercício. Por exemplo, para exercícios de múltipla escolha, o erro gerado apresenta o identificador, o tipo do exercício e o conteúdo ao qual ele pertence, juntamente com o registro do aluno, convencionado como o número de matrícula do mesmo, a alternativa correta e a alternativa marcada, como mostrado na Figura 7. Cada erro também possui um identificador único, para uso do banco de dados.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<erro>
  <idBug>e002</idBug>
  <matricula>98713</matricula>
  <conteudo>fila</conteudo>
  <idEx>v001</idEx>
  <tipo>me</tipo>
  <alternativa>
    <correta>a</correta>
    <marcada>b</marcada>
  </alternativa>
</erro>
```

Fig. 7: Um exemplo de arquivo XML de erro gerado pelo sistema tutor, a partir de um exercício de múltipla escolha.

O documento de marcação de hierarquia tem por finalidade armazenar a hierarquia dos tópicos de um determinado curso. A hierarquia dos tópicos é feita de maneira *top-down*, de modo que o tópico raiz, representado pelo atributo no rótulo raiz, é pré-requisito para os tópicos-filhos, que são os rótulos internos ao tópico-raiz. Suas aplicações dentro do sistema são variadas, por exemplo, pode-se exibir menus no módulo de comunicação utilizando o arquivo como ordem dos links, como também o módulo pedagógico pode solicitar ao especialista quais são os pré-requisitos para um determinado tópico.

Como amostra, tem-se a seguinte hierarquia de tópicos em uma disciplina de introdução à programação, conforme mostrado na Figura 8. A hierarquia destes tópicos pode ser expressa na notação expressa na Figura 9.

O conhecimento do especialista no sistema precisa ser representado de forma que possa ser disponibilizado para outros módulos na comparação com os resultados do aluno e na verificação de seu desempenho no curso.

O módulo do estudante utiliza um motor de inferência baseado em redes bayesianas. As informações desta rede representam o conhecimento do especialista sobre o assunto. Estas informações são disponibilizadas via API do domínio, o que possibilita a geração da rede e posterior estimativa do conhecimento já adquirido pelo estudante.

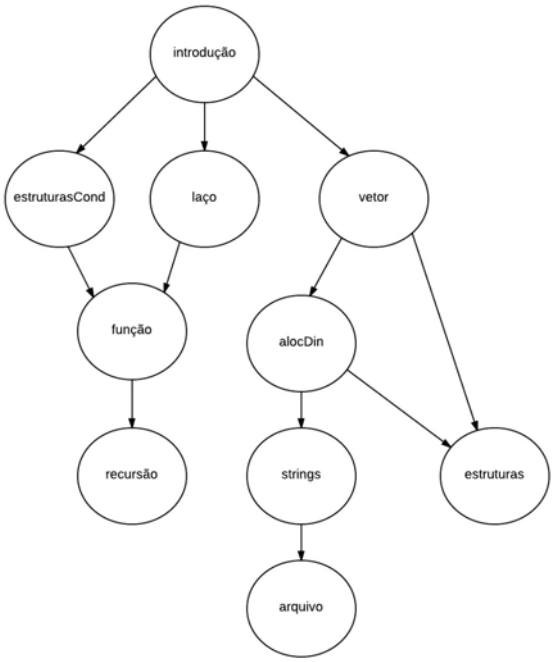


Fig. 8: Um exemplo de hierarquia de tópicos de uma disciplina de introdução à programação.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<hierarquia>
<sigla>GSI002</sigla>
<nome>Introdução à Programação de
Computadores</nome>
<conteudo>
  <raiz nome="introducao">
    <filho>estruturasCond</filho>
    <filho>laco</filho>
    <filho>vetor</filho>
  </raiz>
  <raiz nome="estruturasCond">
    <filho>funcao</filho>
  </raiz>
  <raiz nome="laco">
    <filho>funcao</filho>
  </raiz>
  <raiz nome="vetor">
    <filho>alocDin</filho>
    <filho>estruturas</filho>
  </raiz>
  <raiz nome="strings">
    <filho>arquivo</filho>
  </raiz>
  <raiz nome="estruturas">
  </raiz>
  <raiz nome="funcao">
    <filho>recursao</filho>
  </raiz>
  <raiz nome="recursao">
  </raiz>
  <raiz nome="alocDin">
    <filho>strings</filho>
    <filho>estruturas</filho>
  </raiz>
  <raiz nome="arquivo">
  </raiz>
</conteudo>
</hierarquia>
```

Fig. 9: Notação XML da hierarquia de uma disciplina de Introdução à programação, conforme Figura 8.

A rede bayesiana é representada no módulo do domínio através da utilização de rótulos, que indicam o nodo da rede,

seus pré-requisitos e os valores das probabilidades a priori para o cálculo de inferência. Cada curso possui uma rede bayesiana. Na Figura 10 é mostrada a rede bayesiana associada à hierarquia de tópicos mostrada na Figura 8.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<redebayesiana>
<curso>Introdução à Programação de
Computadores</curso>
<nodo>
  <nome>introducao</nome>
    <table>
      0.33  0.34  0.33
    </table>
</nodo>
<nodo>
  <nome>estruturasCond</nome>
    <preReq>
      <req>introducao</req>
    </preReq>
    <table>
      0.80  0.15  0.05
      0.50  0.30  0.20
      0.10  0.40  0.50
    </table>
</nodo>
<nodo>
  <nome>laco</nome>
    <preReq>
      <req>introducao</req>
    </preReq>
    <table>
      0.80  0.15  0.05
      0.50  0.30  0.20
      0.10  0.40  0.50
    </table>
</nodo>
<nodo>
  <nome>vetor</nome>
    <preReq>
      <req>introducao</req>
    </preReq>
    <table>
      0.80  0.15  0.05
      0.50  0.30  0.20
      0.10  0.40  0.50
    </table>
</nodo>
<nodo>
  <nome>funcao</nome>
    <preReq>
      <req>estruturasCond</req>
      <req>laco</req>
    </preReq>
      <table>
        0.85  0.10  0.05
        0.75  0.15  0.10
        0.65  0.20  0.15
        0.75  0.15  0.10
        0.35  0.50  0.15
        0.15  0.45  0.40
        0.65  0.20  0.15
        0.15  0.45  0.40
        0.05  0.15  0.80
      </table>
</nodo>
…
</redebayesiana>
```

Fig. 10: Trecho de um exemplo de arquivo XML de representação de rede bayesiana.

C. Banco de Dados

O sistema de gerenciamento de banco de dados usado no e-duca para a construção do módulo de domínio é o H2[3]. Esta escolha se mostrou a mais acertada dada a necessidade de utilizar um banco de dados de maneira incorporada e que funcionasse diretamente na Java Virtual Machine (JVM). Na Tabela I estão alguns dados para comparação com outras versões de bancos de dados incorporados que funcionam na JVM. Esta tabela está disponível no site do H2.

TABELA I
COMPARAÇÃO DE PERFORMANCE DO BANCO DE DADOS H2 EM RELAÇÃO A OUTROS BANCOS SIMILARES, EM VERSÃO INCORPORADA.

Caso de teste	Unid.	H2	HSQLDB	DERBY
Simple: Init	ms	241	431	1027
Simple: Query (random)	ms	193	267	748
Simple: Query (sequential)	ms	89	179	658
Simple: Update (random)	ms	406	772	12175
Simple: Delete (sequential)	ms	155	266	6281
Simple: Memory Usage	MB	7	13	16
BenchA: Init	ms	200	251	1075
BenchA: Transactions	ms	1071	1458	8142
BenchA: Memory Usage	MB	8	14	12
BenchB: Init	ms	787	1584	4163
BenchB: Transactions	ms	465	875	2744
BenchB: Memory Usage	MB	17	13	10
BenchC: Init	ms	348	225	922
BenchC: Transactions	ms	1382	865	3527
BenchC: Memory Usage	MB	12	20	11
Executed statements	#	322929	322929	322929
Total time	ms	5337	7173	41462
Statements per second	#	60507	45020	7788

Todos os arquivos criados no formato XML são armazenados neste banco a fim de facilitar a busca e manipulação pelos outros módulos via API disponibilizada pelo módulo do domínio.

Cada tabela do banco de dados possui uma função definida e os detalhes de cada uma delas serão explicitados brevemente nos parágrafos seguintes.

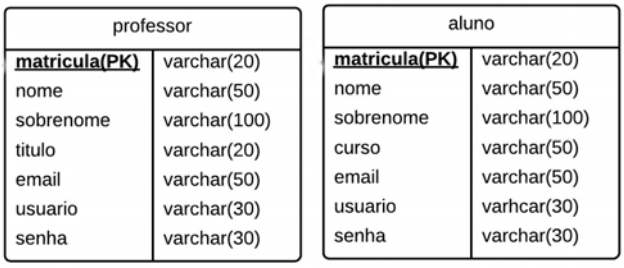


Fig. 11: Tabelas professor e aluno.

As tabelas `professor` e `aluno`, mostradas na Figura 11, possuem funções de cadastro dos estudantes e professores vinculados ao sistema e permitem o gerenciamento de sessões.

A tabela `ministra`, por sua vez, associa os professores a determinados cursos, assim como a tabela `matricula` associa cada aluno a determinados cursos, armazenados na

[3] Disponível em: www.h2database.com

tabela `disciplina`, que guarda um arquivo XML de hierarquia para cada curso.

A tabela `conteúdo` é responsável por armazenar os tópicos referentes a cada disciplina e sua existência se justifica para facilitar a recuperação e associar dados com outras tabelas. Estas últimas três tabelas são mostradas na Figura 12.

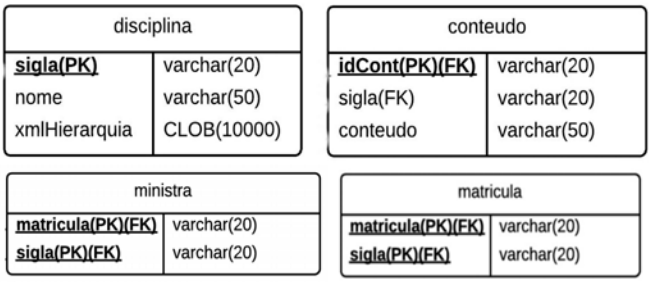


Fig. 12: Tabelas disciplina, conteúdo, ministra e matrícula.

Para cada aluno, são armazenados seu conhecimento sobre determinado tópico de uma disciplina (tabela `conteudoAluno`) e para cada tópico são armazenados o seu nível de conhecimento para cada exercício realizado (tabela `exercicioAluno`). Os valores bom, médio e ruim das tabelas mostradas nas Figura 14 são valores probabilísticos, calculados pelo modelo do estudante [7] mediante correção do módulo pedagógico.

Também são armazenados para cada aluno, seu estilo de aprendizagem (`estiloEstudante`), estruturado na tabela estilo conforme [4] [5], de modo que se possa oferecer apresentações compatíveis com seu estilo de aprendizagem (tabela `apresentação`). Estas tabelas são apresentadas na Figura 13.

Os erros cometidos pelo estudante são guardados na tabela `catalogoBug` (Figura 14) e a última ação realizada no sistema na tabela `logAluno`, para que se possa direcionar o aluno de volta ao que estava fazendo antes de encerrar a sessão. Esta tabela é mostrada na Figura 15.

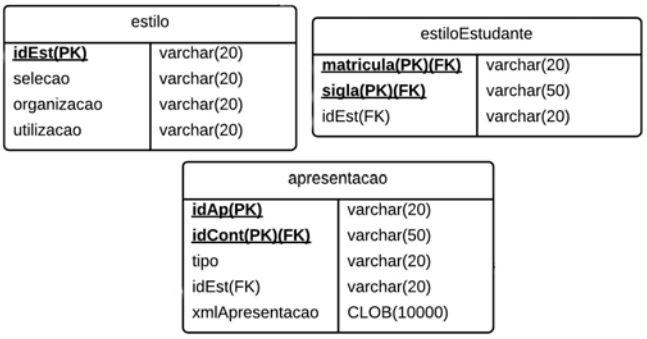


Fig. 13: Tabelas estilo, estiloEstudante e apresentação.

O módulo do domínio também armazena para cada tópico de determinada disciplina, os exercícios (tabela `exercício`) e apresentações (tabela `apresentação`), cada um contendo um arquivo XML para ser renderizado pelo módulo de comunicação. A forma como isto é feito não é abordada neste documento.

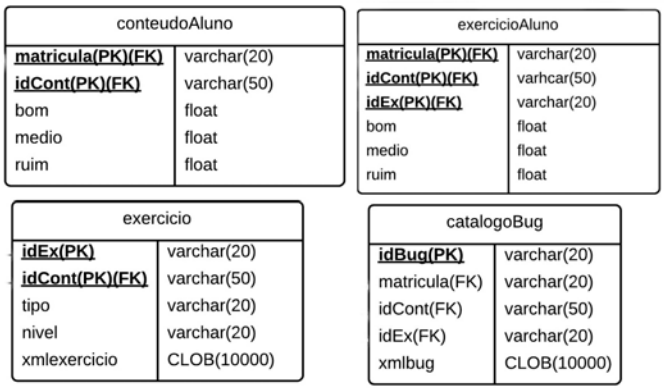


Fig. 14: Tabelas conteudoAluno, exercicioAluno e catalogoBug.

O modelo do domínio também armazena, em forma de marcação XML, as redes bayesianas para cada disciplina do sistema, na tabela `redeBayes` (ver Figura 15). A função desta tabela é de simular um especialista através de regras com o que se deveria passar para o aluno e o quanto se espera que este aluno aprenda.

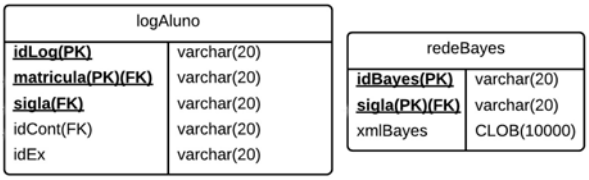


Fig. 15: Tabelas logAluno e redeBayes.

Na próxima seção, será explicitada a fase atual de projeto e trabalhos futuros.

III – DESENVOLVIMENTO E TRABALHOS FUTUROS

Todos os módulos do e-duca se encontram em fase de desenvolvimento. Especificamente, o modelo do domínio é o que se encontra em estágio mais avançado de implementação, sendo que a infraestrutura apresentada já está funcionando no módulo e, consequentemente, no sistema, graças à comunicação com os outros módulos proporcionada pela API.

O modelo do domínio do e-duca foi projetado para suportar vários cursos e dentre os trabalhos futuros está o oferecimento de suporte para a inserção de novos cursos. Também é trabalho futuro a criação de um gerenciador gráfico para manipulação de dados no especialista, de modo que os arquivos XML sejam gerados e salvos no banco de dados automaticamente, sem necessidade de intervenção humana direta. O código-fonte mais atual do projeto encontra-se em https://github.com/pablohenrique/ILS/tree/development/src/ils/models/dominio

IV – CONCLUSÃO

O modelo do domínio representa o especialista por meio de regras em um sistema tutor inteligente. Assim, este módulo deve armazenar toda a informação que circula no sistema.

Foi apresentada uma abordagem que utiliza XML e Banco de Dados como estratégia de representação e armazenamento do conhecimento, seja este pré-definido ou inferido pelo sistema tutor.

V – AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Pró-Reitoria de graduação da Universidade Federal de Uberlândia e ao Programa de Ensino Tutorial (PET) do curso de Sistemas de Informação pelas bolsas concedidas, que tornaram possível a execução deste projeto.

REFERÊNCIAS

[1] B.P. Woolf, *Building Interactive Tutors*. Burlington, MA: Elsevier, 2009, pp. 51–53.

[2] D. Sleeman, "Assessing aspects of competence in basic algebra" in *Intelligent Tutoring Systems*, D. Sleeman and J.S. Brown. Ed. New York: Academic Press, 1982.

[3] I. Padayachee, "Intelligent Tutoring Systems: Architecture and Characteristics", *SACLA*, 2002.

[4] R.M. Felder. and R. Brent. "Understanding Student Differences". *Journal of Engineering Education*, pp. 57-72, 2005.

[5] C.M.R. Elena, "Creación de una Base de Conocimiento para un Sistema de Enseñanza para el Lenguaje Java Básico", Maestría en Ciencias de la Computación, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autonoma Metropolitana, Azcapotzalco, Mexico, 2006.

[6] M. H. F. Zarandi. et al. "A fuzzy expert system architecture for intelligent tutoring systems: A cognitive mapping approach." *Journal of Intelligent Learning Systems and Applications*, p. 29–40, 2012.

[7] S. F. Lima, "Um Modelo de Estudante baseado em Redes Bayesianas para o Estudo de Fundamentos de Orientação a Objetos", Mestrado em Engenharia Elétrica, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, SP, 2010.

[8] A.V.N. Brandizzi and Y.M. Nuñez. (2009, June 30). Taxonomias de Exemplos para Aprendizagem de Programação. [Online] Disponível: http://monografias.cic.unb.br/dspace/bitstream/123456789/205/1/taxonomias.pdf

[9] C. Emerick, B. Carper and C. Grand, *Clojure Programming*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2012.

Proposta de comparação entre meta-heurísticas aplicadas em problemas de programação de horários em cursos universitários

Laura Mundim de Souza Mendes
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
laura@si.ufu.br

Alexsandro Santos Soares
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
alex@facom.ufu.br

***Resumo*—Este artigo traz uma proposta de comparação entre meta-heurísticas, uma conhecida e uma recente, em confronto com o método exato para encontrar uma solução aproximada para o problema de programação de horários em cursos universitários.**

***Abstract*—This article presents a proposal for a comparison between meta-heuristics, a known and a recent in comparison with the exact method to find an approximate solution to the problem of timetabling university courses.**

***Palavras chave*—meta-heurísticas, programação de horários, busca harmônica e algoritmo genético.**

I. Introdução

Em todo começo de período, uma instituição acadêmica enfrenta a tarefa de projetar a grade horária de seus cursos levando em consideração questões como a distribuição de salas, laboratórios, turmas, dias e horários tanto para professores quanto para estudantes.

O problema descrito acima é conhecido na literatura especializada como Programação de Horários em Cursos Universitários (PHCU) e consiste em alocar encontros nos quais um professor leciona uma disciplina a uma turma em algum lugar e num determinado horário. Esses encontros estão sujeitos a algumas condições, chamadas de restrições.

Elaborar uma grade horária se torna uma tarefa difícil por causa do grande número de possibilidades e restrições existentes. Devido a isso, o processo de construção manual pode ser demorado e ainda resultar em grades horárias que não satisfaçam plenamente todas as condições iniciais [1].

Manuscrito recebido em 17 de fevereiro de 2013; revisado em 18 de março de 2013.

L. M. S. Mendes (laura@si.ufu.br) e A. S. Soares (alex@facom.ufu.br) pertencem Universidade Federal de Uberlândia - UFU. Av. João Naves de Ávila, 2121 - Campus Santa Mônica - Uberlândia - MG - Brasil - 38408-100.

Além de ser um problema de interesse prático, o PHCU também é um problema teórico aberto, pois pertence à classe NP-difícil como provado inicialmente por Neufeld e Tartar [2] e depois completado por Cooper e Kingston [3], reduzindo-a a problemas NP-difíceis da Teoria de Grafos, como a coloração de vértices.

Como será visto na seção II várias técnicas foram propostas para a resolução de instâncias do PHCU. Elas se dividem basicamente em dois tipos: métodos exatos e métodos heurísticos. Os métodos exatos garantem atender todas as restrições e encontrar a solução ótima mas possuem um tempo de execução elevado, tornando o seu uso inviável na maioria das aplicações práticas. Já os métodos heurísticos, representados neste trabalho pelas meta-heurísticas, apesar de não garantirem que uma ótima solução seja encontrada, obtém soluções satisfatórias em tempo razoável.

A essência da pesquisa que se descreverá aqui é descobrir quais são as situações em que fazer o uso de meta-heurísticas para tentar resolver problemas de programação de horários em cursos universitários são mais indicadas do que utilizar métodos exatos que possuem tal garantia. Para isto pretende-se comparar o desempenho de duas técnicas meta-heurísticas propostas recentemente para a resolução aproximada do PHCU - o algoritmo genético estendido com busca guiada e o algoritmo de busca harmônica - confrontando a melhor delas com um método exato, a programação linear inteira, em um estudo de caso realizado sobre a Faculdade de Computação (FACOM) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

O restante do artigo está organizado como se segue. A segunda sessão traz conceitos fundamentais para a compreensão do problema e algumas diferentes formas de resolvê-los. A terceira sessão explica detalhadamente as técnicas escolhidas para tentar solucionar o problema. A quarta sessão traz os procedimentos necessários para executar esta proposta. A quinta sessão mostra o que já foi feito e a última sessão apresenta as conclusões deste artigo.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Schaerf [4], o problema de programação de horários, pode ser classificado em:

Problema de Programação de Horários Escolares: dados um conjunto de turmas, formadas por grupos disjuntos de alunos que possuem o mesmo currículo, um conjunto de professores especializados em uma ou mais disciplinas e um conjunto de períodos, alocar para cada período uma aula ministrada por um professor de uma disciplina a uma turma, respeitando as várias restrições envolvidas. Este problema está associado à programação de horários em escolas de ensino básico.

Problema de Programação de Horários em Universidades: dados um conjunto de currículos em que cada currículo possui um conjunto de disciplinas, sendo que cada disciplina possui um conjunto de aulas; um conjunto de estudantes; um conjunto de professores; um conjunto de salas e um conjunto de períodos, alocar todas as aulas de cada disciplina dos currículos, respeitando diversas restrições. Cada aula é dada por um professor de uma disciplina a um grupo de estudantes em uma sala apropriada. A principal diferença entre horários escolares e horários universitários é que em escolas de ensino básico os alunos possuem o mesmo currículo, enquanto que em universidades, os alunos podem escolher livremente disciplinas de currículos diferentes.

Problema de Programação de Horários para Exames: dados um conjunto de estudantes e um conjunto de disciplinas em que cada disciplina possui um exame que deve ser programado para os estudantes em um conjunto de períodos de tempo reservados para a realização de exames, evitando que exames de disciplinas com estudantes em comum não aconteçam no mesmo período. Esse problema é semelhante ao de programação de horários universitários, porém existem diferenças como, por exemplo, haver apenas um exame por dia para cada disciplina; além disso, a resolução de conflitos é mais exigente, uma vez que um estudante não pode perder um exame.

Qualquer que seja a variação do problema de programação de horários, ela estará sujeita a variados tipos de restrições que são classificadas de acordo com sua obrigatoriedade, a saber:

Invioláveis: são restrições que obrigatoriamente devem ser satisfeitas, se uma delas for violada, a solução não é aceita. Uma solução que atenda todas as restrições invioláveis é chamada de *solução viável*.

Preferenciais: são restrições não obrigatórias, porém desejáveis. Uma solução que não obedeça a essas restrições ainda é viável, mas não é tão apropriada como as soluções que as satisfazem.

A quantidade e a natureza das restrições torna o problema de construção da grade horária mais complexo. Este é considerado um problema de otimização, ou seja, busca-se minimizar ou maximizar uma função-objetivo sujeita a um conjunto de restrições, a fim de encontrar a melhor solução viável dentro de um conjunto de soluções candidatas.

Segundo Góes [5], para tratar dos problemas de otimização pode-se utilizar dois tipos de métodos:

Método exato: sempre encontra a solução ótima, ou seja, a que satisfaz todas as restrições do problema, caso uma exista. A partir da modelagem matemática do problema de otimização como um problema de programação linear, pode-se utilizar um método exato para a sua resolução tais como o método Simplex [6] ou o método *branch-and-bound* [7].

Método heurístico: encontra uma solução, porém não garante ser a ótima. Heurísticas são métodos aproximados que se baseiam nas características das soluções dos problemas – sua complexidade computacional é menor que a de métodos exatos.

Os métodos heurísticos são muito específicos, fazendo surgir a necessidade de técnicas mais genéricas como as *meta-heurísticas*, que são mais abrangentes e podem ser aplicadas a uma classe maior de problemas. Elas são aplicadas a instâncias de problemas pertencentes à classe dos problemas NP-completos [5].

Para este trabalho foram escolhidas duas meta-heurísticas propostas recentemente: o algoritmo genético estendido com busca guiada e a busca harmônica. Tais meta-heurísticas serão explicadas detalhadamente na próxima seção. Outras meta-heurísticas aplicadas ao PHCU são:

Recozimento Simulado: inspirada na subárea da Física que estuda causas e efeitos de mudanças de temperatura e de outras grandezas: a termodinâmica. Essa técnica simula um processo térmico no qual acontece um aquecimento, até uma determinada temperatura, de um metal e, em seguida, ele é resfriado lentamente a fim de alterar sua estrutura cristalina e melhorar suas características. De acordo com Silva et al. [8], é um método de busca local que consegue escapar de ótimos locais por meio de movimentos de piora. Poulsen [9] tratou o problema de horários escolares com essa meta-heurística e Silva et al. [8] apresentaram uma solução para o Problema de Alocação de Salas também utilizando o Recozimento Simulado.

Busca Tabu: se assemelha ao Recozimento Simulado pelo fato de admitir os movimentos de piora; é uma meta-heurística que orienta o algoritmo de busca a encontrar a melhor solução global, evitando passar por melhores locais já visitados. Para isso, faz o uso de uma memória de curto prazo, chamada de lista tabu, onde são armazenados os melhores locais encontrados, os quais são considerados proibidos. Essa lista tabu possui um tamanho *t*, chamado de período tabu. Ao encontrar uma nova solução a ser inserida na lista, a mais antiga é removida e, para que um local pertencente à lista tabu seja aceito, este deve satisfazer o critério de aspiração, ou seja, ser melhor que a melhor solução encontrada até então. Subramanian et al. [10] aplicaram essa meta-heurística para o problema de alocação de salas em universidades.

Procedimento de Busca Adaptativa Gulosa e Aleatória (GRASP): é uma meta-heurística interativa em que cada iteração consiste basicamente numa fase de construção: uma solução é construída de maneira gulosa e aleatória; e uma fase de busca local: busca o melhor local na vizinhança da solução

construída com o intuito de atualizá-la por uma solução melhor encontrada - após um número determinado de iterações é retornada a melhor solução obtida. Moura e Scaraficci [11] aplicam o algoritmo GRASP clássico seguido de uma melhoria em um problema de programação de horários escolares.

A. Algoritmo Genético

O algoritmo genético (AG) é uma meta-heurística baseada no processo de seleção natural proposto por Charles Darwin, no qual os indivíduos mais aptos sobrevivem e se reproduzem. Cada solução é chamada de indivíduo de uma população e a função-objetivo, de função de aptidão. Para Martins [12], essa técnica possui dois mecanismos:

Seleção: mecanismo em que os mais aptos em relação ao hábitat têm maiores chances de sobreviver e deixar descendentes.

Variação: mecanismo no qual são gerados novos indivíduos por meio da reprodução, em que há mistura de material genético ou mutações imprevisíveis e são criadas novas informações genéticas.

O algoritmo genético mais comum parte de uma população inicial de indivíduos gerada aleatoriamente. Esta população sofre um processo de evolução constituído pela seleção, onde cada indivíduo é avaliado por sua função de aptidão com o intuito de selecionar os mais aptos; os indivíduos selecionados se reproduziram gerando novos indivíduos; estes novos indivíduos poderão sofrer mutações que introduzem novas características. Essa nova população com mais indivíduos passa novamente pelo processo de seleção e variação até atingir um critério de parada, que pode ser um número máximo de iterações, um limite de tempo ou um outro qualquer.

O Algoritmo 2.1 representa o pseudocódigo do algoritmo genético.

Algoritmo 2.1: Pseudocódigo do Algoritmo Genético (AG)

```
1: Seleção
2:    Gerar população inicial com n indivíduos
3:    Avaliar aptidão de cada indivíduo
4: Enquanto A condição de parada não for satisfeita
5:    Repita até que a nova população esteja completa
6:       Selecionar os pais da geração
7: Variação
8:    Aplicar o cruzamento para gerar os filhos
9:    Aplicar mutação nos filhos
10:   Avaliar aptidão dos filhos
11:   Inserir os novos descendentes na nova população
12:   Geração atual = nova população
```

Hamawaki et al. [13] e Skrabe [14] utilizaram o AG clássico para o problema de geração de horários em universidades. Ciscon [1] também usou o AG clássico, porém, para resolver o problema de alocação de horários escolares com foco na eliminação de janelas.

Em 2009, Yang e Jat [15] propuseram uma meta-heurística chamada Algoritmo Genético com Busca Guiada (AGBG) que usa uma técnica de busca local para o problema de programação de horários em cursos universitários. A estratégia de busca guiada é usada para gerar filhos com base em uma estrutura de dados denominada MEM, que armazena informações de bons indivíduos e a técnica de busca local é usada nas melhorias dos indivíduos. Alguns anos depois, os mesmos autores [16] melhoraram essa abordagem e a estenderam incluindo outra estratégia de busca local, o novo algoritmo passou a ser chamado de Algoritmo Genético Estendido com Busca Guiada (AGEBG).

B. Algoritmo Genético Estendido com Busca Guiada para PHCU

Para compreender o Algoritmo Genético Estendido com Busca Guiada é necessário saber antes como funciona o Algoritmo Genético com Busca Guiada.

O AGBG, de forma geral, parte de uma solução inicial de indivíduos gerados aleatoriamente, ou seja, os encontros são uniformemente alocados em quaisquer horários, enquanto as salas são atribuídas com o uso de um algoritmo de casamento baseado em grafos.

Depois de construída a população inicial, cada indivíduo passa por um método de busca local (BL), sendo que, nas próximas gerações, os filhos podem ser gerados utilizando-se uma estrutura de dados MEM ou por um cruzamento que usa o método de torneio. Nesse algoritmo, na fase de reprodução é gerado apenas um filho que passa por um processo de mutação e que depois é melhorado pela BL1; finalmente, o pior indivíduo da população é substituído pelo filho gerado. Esses procedimentos acontecem até que um critério de parada seja alcançado [15].

O algoritmo de busca local mencionado anteriormente usa três estruturas de vizinhanças que realizam operações nos eventos mudando seus horários. Segundo Yang e Jat [16], são elas:

- V1: defina por uma operação em que se move um encontro para um horário diferente;
- V2: definida por uma operação em que ocorre a troca de horários entre dois encontros;
- V3: definida por uma operação em que ocorre a troca de horários entre três encontros.

O pseudocódigo da BL1 é apresentado no Algoritmo 2.2. Ele é baseado no algoritmo apresentado por Yang e Jat [16], assim como todos os algoritmos referentes ao AGEBG. Segundo os autores, a BL1 funciona em duas etapas, a saber:

1. Verificam-se as violações de restrições invioláveis em cada encontro alocado; caso ocorra alguma, a BL1 tenta resolvê-las por meio das operações em V1, V2 e V3 até que alcance algum critério de parada. Depois de cada operação realizada, é usado um algoritmo de casamento nos horários afetados pela operação com o intuito de resolver complicações geradas. Na sequência avalia-se o

resultado. Se todos os movimentos de vizinhança foram aplicados em todos os encontros – e ainda existir pelo menos uma violação de restrição inviolável – a BL1 vai parar; se não, a BL1 executará a segunda etapa;

2. O primeiro passo retorna uma solução viável, que passa pela segunda etapa, na qual se lida com as restrições preferenciais de forma parecida com a etapa 1. Para cada encontro, a BL1 realiza as operações V1, V2 e V3 na tentativa de diminuir o número de violações de restrições preferenciais, sem violar restrições invioláveis. Para cada operação realizada, aplica-se o algoritmo de casamento para resolver complicações geradas e o resultado é avaliado. Após as etapas da BL1, tem-se uma solução possivelmente melhor.

No AGBG, depois de inicializada a população, constrói-se uma estrutura de dados MEM a cada geração τ, que é usada para guiar a geração de filhos. MEM é uma lista de dois níveis, em que o primeiro nível é uma lista de encontros sem violações de restrições e o segundo, uma lista de pares de sala e horário (s, h) de cada encontro do primeiro nível. O uso dessa estrutura tem por objetivo melhorar a solução, reintroduzindo melhores indivíduos de outras gerações. A estrutura de MEM é ilustrada pela Figura 2.1 retirada do trabalho de Yang e Jat [16].

Para a construção da estrutura MEM, é selecionado um conjunto Q dos $\alpha \times N$ melhores indivíduos da população, onde α é um percentual e N é o tamanho da população. Em seguida, para cada indivíduo $q \in Q$ é verificado o valor de penalidade de cada encontro; se essa penalidade é zero, então, a informação deste é armazenada na MEM e, se ainda não existir uma lista de pares para esse encontro na MEM, uma nova lista será criada para ele. No Algoritmo 2.3 é mostrado o procedimento para a construção da estrutura MEM.

Em cada geração do algoritmo, um filho pode ser gerado usando a estrutura MEM, usando o método *ConstrucãoGuiada()* mostrado no Algoritmo 2.4, ou pelo cruzamento comum, usando o método *Cruzamento()* mostrado no Algoritmo 2.5 (isso depende da probabilidade γ). Antes da criação de um filho, um número aleatório $\rho \in [0.0, 1.0]$ é gerado. Se $\rho < \gamma$, o filho será gerado usando a estrutura MEM, se não, será gerado com um operador de cruzamento. Para gerar um filho usando MEM, primeiro é selecionado um conjunto E de $\beta \times n$ encontros de MEM, onde β é um percentual e n é o número total de encontros. Em seguida, para cada encontro $e \in E$, é escolhido um par de salas e horários (s, h) na lista de pares de e na MEM; caso e não

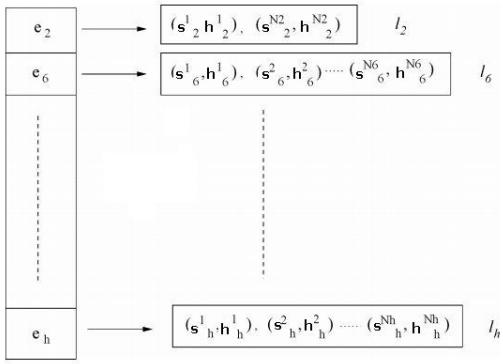


Fig. 2.1. Estrutura MEM. Fonte: adaptada de Yang e Jat(16).

Algoritmo 2.2: Pseudocódigo do Algoritmo de Busca Local (BL1)

```
1: Entrada: Indivíduo I da população
2: Para cada evento e ϵ E Faça
3:    Se e_i é inviável Então
4:       Se existe um movimento deixado Então
5:          aplicar os movimentos: primeiro V1, depois V2 se V1 falhar e finalmente V3 se V1 e V2 falharem
6:          aplicar o algoritmo de correspondência para os horários afetados pelas operações e para alocar salas para os encontros
7:          avalia o resultado do movimento
8:          Se as reduziram as restrições invioláveis Então
9:             fazer os movimentos e ir para linha 4
10:         Fim-Se
11:      Fim-Se
12:   Fim-Se
13: Fim-Para
14: Se nenhuma restrição inviolável Então
15:    Para cada evento e ϵ E Faça
16:       Se e_i possui violações de restrições preferenciais Então
17:          Se existe um movimento deixado Então
18:             aplicar os movimentos: primeiro V1, depois V2 se V1 falhar e finalmente V3 se V1 e V2 falharem
19:             aplicar o algoritmo de correspondência para os horários afetados pelas operações e para alocar salas para os encontros
20:             avalia o resultado do movimento
21:             Se reduziram as restrições preferenciais Então
22:                fazer os movimentos e ir para linha 17
23:             Fim-Se
24:          Fim-Se
25:       Fim-Se
26:    Fim-Para
27: Fim-Se
28: Saída: Indivíduo I possivelmente melhor
```

possua uma lista de pares (s, h) na MEM, então serão atribuídos qualquer sala e qualquer horário para esse encontro.

Algoritmo 2.3: Pseudocódigo do ConstruirMEM()

1: Entrada: toda população P
2: Classificar a população P de acordo com a aptidão dos indivíduos
3: $Q \leftarrow$ seleção dos $\alpha \times N$ melhores indivíduos de P
4: **Para** cada indivíduo $q \in Q$ **Faça**
5: **Para** cada evento $e_i \in q_i$ **Faça**
6: calcular penalidade de e_i
7: **Se** e_i é viável **Então**
8: adicionar o par de sala e horário (s,h) atribuído em e_i na lista l_i
9: **Fim-Se**
10: **Fim-Para**
11: **Fim-Para**
12: Saída: Estrutura de dados *MEM*

Para os outros encontros que não estão em *E*, as salas e os horários são atribuídos aleatoriamente e, para gerar um filho por cruzamento, primeiro são selecionados, pelo método de torneio, dois indivíduos pais, em que um deles é selecionado aleatoriamente e o horário do filho é atribuído ao horário do pai escolhido; em seguida aplica-se o algoritmo do casamento para alocar as salas. Depois que um filho foi gerado, ele passa pela mutação com uma probabilidade de P_m e pelas operações da BL1; ao final, o pior indivíduo é substituído pelo filho gerado - isso prossegue até que um critério de parada seja atingido.

O algoritmo apresentado até agora e representado no Algoritmo 2.6 é o Algoritmo Genético de Busca Guiada. Yang e Jat [16] estenderam o AGBG, acrescentando um novo método de busca local denominado BL2. A BL2 é aplicada após a BL1 na geração aleatória da população inicial, e também após a geração do filho - o objetivo da BL2 é melhorar ainda mais o indivíduo que passa pela BL1.

O algoritmo BL2 seleciona um percentual pré-determinado de horários a partir do número total de horários *T*, formando um conjunto *S* de horários. Em seguida, é calculada a penalidade de cada horário selecionado e é escolhido o horário com maior penalidade. Depois, a BL2 aplica a operação de V1 nos eventos com maiores penalidades e verifica se tal penalidade diminui com a operação - em caso afirmativo, aplica-se a operação aos demais eventos; caso contrário, não se aplica a operação. É esperado que com o uso da BL2 a solução fique ainda melhor. No Algoritmo 2.7 são mostrados os procedimentos da BL2.

Yang e Jat [16] compararam o desempenho do AGEBG com outros algoritmos e concluíram que o AGEBG produziu boas soluções devido ao uso da MEM, haja vista que os piores resultados de AGEBG são os melhores entre os algoritmos comparados.

Algoritmo 2.4: Pseudocódigo do Construção Guiada()

1: Entrada: estrutura de dados MEM
2: E $\leftarrow$ seleção aleatória dos $\beta \times n$ encontros
3: **Para** cada evento $e_i \in E$ **Faça**
4: aleatoriamente um par (s, h) da lista l_i
5: atribuir o par (s, h) do encontro e_i para o filho
6: **Fim-Para**
7: **Para** cada evento restante $e_i \ni E$ **Faça**
8: atribuir qualquer horário e qualquer sala para evento e_i
9: **Fim-Para**
10: Saída: Novo filho usando a estrutura de dados *MEM*

Algoritmo 2.5: Pseudocódigo do Cruzamento()

1: Entrada: população corrente
2: Selecionar os pais *P1* e *P2* pelo método de torneio
3: **Para** cada evento e_i do filho *F* **Faça**
4: **Se** (*rand*(0, 1) < 0.5) **Faça**
5: e_i de F $\leftarrow$ o horário alocado para *P1*
6: **Senão**
7: e_i de F $\leftarrow$ o horário alocado para *P2*
8: **Fim-Se**
9: **Fim-Para**
10: alocar salas para todos os horários alocados usando o algoritmo de correspondência
11: Saída: Novo filho usando cruzamento

Algoritmo 2.6: Pseudocódigo do Algoritmo Genético com Busca Guiada (AGBG)

1: Entrada: uma instancia do problema *I*
2: Gerar população inicial aleatoriamente
3: Avaliar os indivíduos da população
4: Aplicar busca local BS1 para cada indivíduo da população
5: Definir contador de geração $g \leftarrow 0$
6: **Enquanto A** condição de parada não for satisfeita **Faça**
7: **Se** (g mod τ == 0) Então
8: aplicar ConstruirMEM() para construir MEM
9: **Fim-Se**
10: gerar filho usando MEM ou cruzamento com probabilidade γ
11: aplicar mutação no filho gerado com probabilidade P_m
12: aplicar busca local BL1 sobre o filho
13: substituir o pior indivíduo da população pelo filho gerado
14: $g \leftarrow g + 1$
15: **Fim-Enquanto**
16: Saída: Melhor solução para a instância *I*

C. Algoritmo de Busca Harmônica

O algoritmo da busca harmônica (ABH) é uma meta-heurística baseada na improvisação musical na qual músicos (variáveis de decisão) tocam notas em seus instrumentos (valor da variável) buscando a harmonia perfeita de acordo com uma estimativa estética, ou seja, buscando a melhor solução em consonância com a função-objetivo. Prática após prática, os músicos ficam mais experientes, pois armazenam

em suas memórias as notas das melhores harmonias; assim, aumenta-se a possibilidade de melhorar a harmonia nas próximas práticas. Esta meta-heurística foi inicialmente proposta por Geen, Kim e Loganathan [17].

Algoritmo 2.7: Pseudocódigo do Algoritmo de Busca Local (BL2)

1: Entrada: indivíduo *I* que passou por BL1
2: S ← seleção aleatória de uma porcentagem do total dos horários *T*
3: **Para** cada horário $t_i \epsilon S$ **faça**
4: **Para** cada encontro *j* no horário t_i **faça**
5: calcular penalidade do evento *j*
6: **Fim-Para**
7: soma todas as penalidades dos encontros no horário t_i
8: **Fim-Para**
9: seleciona os horários de *S* com maiores penalidades *w*
10**: Para** cada encontro $i \epsilon w$ **faça**
11: aplicar em *i* a operação de N1
12: aplicar o algoritmo de correspondência nos encontros com horários afetados pela operação
13: **Fim-Para**
14: **Se** a operação reduziu o número de violações de restrições **Então**
15: aplica as operações
16: **Senão**
17: não aplica as operações
18: **Fim-Se**
19: Saída: Indivíduo *I* possivelmente melhor

Na improvisação musical, os músicos podem optar entre três maneiras de improvisar a nota: improvisar qualquer nota armazenada em sua memória; ajustar (modificar) uma nota armazenada em sua memória, ou; improvisar qualquer nota dentro das possíveis.

O funcionamento do algoritmo de busca harmônica é representado no Algoritmo 2.8, adaptado de Al-Betar e Khader [18], e consiste em basicamente quatro fases:

1- Inicializar parâmetros e memória harmônica

O ABH usa alguns parâmetros, tais como: Memória Harmônica (MH), em que são armazenadas as TMHs melhores harmonias (TMH é o tamanho da MH); Taxa de Consideração de Memória (TCM), usada para decidir a maneira de improvisar a nota; Taxa de Ajuste de Nota (TAN), usada para modificar as notas na improvisação; e Número de Iterações (NI). A MH é um vetor de soluções que pode ser representado como:

$$MH = [S_1, S_2, ..., S_i, ..., S_{TMH}]$$

Nessa fase são definidos os valores dos parâmetros TMH, TCM, TAN, NI e é inicializada a MH com TMHs harmonias geradas aleatoriamente.

2- Improvisar nova harmonia

Nesta fase, os músicos improvisam uma nova harmonia usando os três operadores: consideração de memória, ajuste de nota e aleatório.

Com uma probabilidade de TCM, onde $0 \leq TCM \leq 1$, será utilizado o operador de consideração de memória, em que o músico escolhe um valor qualquer armazenado em sua memória. Com uma probabilidade de 1−TCM, será utilizado o operador aleatório, no qual o músico escolhe um valor qualquer dentro do conjunto de notas possíveis. Cada nota da nova harmonia que foi obtida por meio do operador de consideração de memória deve ser avaliada para decidir se deve modificá-la ou não. Com uma probabilidade de TAN, onde $0 \leq TAN \leq 1$ a nota será modificada, com probabilidade 1−TAN a nota não será modificada e com probabilidade TAN × PAR a nota é modificada para o seu vizinho.

Resumindo tem-se operador igual a:

$0 \leq TCM \leq 1$, consideração de memória
$1 - TCM$, aleatório
$0 \leq TAN \leq 1$, nota será modificada
$1 - TAN$, nota não será modificada
$TAN \times TCM$, nota será modificada para seu vizinho

3- Atualização da Memória Harmônica

Improvisada uma nova harmonia, esta é comparada com as harmonias existentes na MH. Se a nova harmonia é melhor que uma das harmonias na MH, então, a pior harmonia em HM é excluída e a nova harmonia é inserida na MH de forma ordenada e de acordo com a harmonia.

4- Verificação do critério de parada

Depois da atualização da MH, verifica-se se o critério de parada foi alcançado, termina-se execução e retorna-se à melhor harmonia na MH, caso contrário, os passos 3 e 4 são repetidos até que o critério de parada seja satisfeito.

Segundo Das et. al [19], o ABH tem sido usado com sucesso para vários problemas de otimização. Os autores fizeram uma análise matemática sobre o mecanismo de busca exploratória do ABH e modelaram uma pequena modificação no passo de improvisação: ao invés de improvisar uma nova harmonia, eles improvisam uma população de novas harmonias usando os mesmos operadores do ABH básico; tal abordagem produz resultados mais precisos em quase todas as instâncias testadas em menor tempo computacional, comparando com outras variações do ABH da literatura.

D. Algoritmo de Busca Harmônica modificado (ABHM)

Al-Betar e Kahder [18] aplicaram o algoritmo de busca harmônica comum e um Algoritmo de Busca Harmônica Modificado (ABHM) ao problema de programação de horários em cursos universitários. Todos os pseudocódigos apresentados foram adaptados a partir do trabalho desses autores, os quais utilizaram as seguintes equivalências de termos de otimização com o contexto musical:

Improvisação ↔ Geração ou construção
Harmonia ↔ Vetor solução
Músico ↔ Decisão
Nota ↔ Valor

Tessitura ↔ Faixa de valor
Padrão áudio-estético ↔ Função objetivo
Prática ↔ Iteração
Harmonia agradável ↔ Solução quase ideal

Algoritmo 1.8: Pseudocódigo do Algoritmo de Busca Harmônica (ABH)

1: **Fase 1: Inicializar parâmetros e memória harmônica**
2: TMH ← valor1
3: TCM ← valor2
4: TAN ← valor3
5: NI← valor4
6: MH ← s^1, s^2, ..., s^{TMH}
7: **Fase 2: Improvisar nova harmonia $s_{nova} = [x^1, x^2, ..., x^n]$**
8: $x' = \emptyset$ // vetor nova harmonia
9: **Para** (i=1, ... n)
10: **Se** (rand ≤ TCM)
11: $x'_i \in \{x^i, x^i, ..., x^{TMH}{}_i\}$ //Escolhe um valor aleatório da MH para o componente x'_i
12: **Se** (rand ≤ TAN)
13: $x'_i = v_{i,k\pm m}$ // $x'_i = v_{i,k}$ ajustar o valor do componente x_i
14: **Fim-Se**
15: **Senão**
16: $x'_i \in X_i$ escolhe um valor aleatório para o componente x_i
17: **Fim-Para**
18: retorna s_{nova}
19: **Fase 3: Atualização da MH**
20: **Se** ($f(s_{nova}) < f(s_{TMH})$)
21: Inclui s_{nova} em MH
22: Exclui s_{TMH} de MH
23: **Fase 4: Verifica critério de parada**
24: **Enquanto** (NI não for alcançado)
25: **Repete** as fases 2 e 3

Na fase de inicialização, os autores aplicaram um algoritmo de retrocesso e o Algoritmo Troca de Vários (ATV) para gerar soluções aleatórias, além de alocarem as aulas usando o Algoritmo de Grau Maior Ponderado (AGMP) que começa tal função com o maior número de restrições. As aulas que não forem possíveis de serem alocadas com GMP são introduzidas em uma lista denominada Lista de Aulas não Programadas (LANP), que passa pelo algoritmo de retrocesso que a cada aula $a_i \in$ LANP seleciona todas as demais aulas que têm alunos em comum com a_i e as retira da solução; em seguida, as insere na LANP e tenta alocar o maior número possível de aulas pertencentes a LANP - isso acontece até alocar todas as aulas da lista e, se não for possível alocá-las, usa-se o ATV em todos os horários, embaralhando as aulas de um mesmo horário em salas diferentes (se mesmo assim não conseguir gerar uma solução viável, o processo é reiniciado). No Algoritmo 2.9 é mostrado o processo de construção da MH.

Algoritmo 2.9: Pseudocódigo do Algoritmo de Inicialização da MH

1: **Para** (i=1, ... TMH) **Faça**
2: x' = ∅
3: AGMP(x')
4: **Enquanto**(x' não está completa || alcance o número máximo de iterações) **Faça**
5: retrocesso(x')
6: troca de Vários (x')
7: **Fim-Enquanto**
8: insere x' na MH
9: calcular f(x')
10: **Fim-Para**

Na improvisação musical, cujo procedimento é representado no Algoritmo 2.10, modificou-se a funcionalidade do operador de consideração de memória, escolhendo sempre a nota da melhor solução na MH. Foi modificada também, a funcionalidade do operador de ajuste de nota, em que somente as aulas programadas com o operador de consideração de memória são examinadas pelo operador de ajuste de nota. Dividiu-se a TAN em três parâmetros (TAN1, TAN2, TAN3), em que cada um controla o processo de ajustamento da seguinte forma:

$0 \leq TAN \leq 1$, a nota será modificada
$0 \leq TAN1$, a aula é movida para qualquer local livre possível
$TAN1 \leq TAN2$, troca de local com outra aula agendada
$TAN2 \leq TAN3$, selecionam-se todas as aulas desse horário e as trocam
com todas as aulas de outro horário sem alterar as salas
$TAN3 \leq 1$, não faz nada.

Os ajustes mencionados anteriormente são aceitos com a condição de que o valor da função-objetivo da nova solução improvisada não seja afetado de forma negativa.

Os autores incluíram um processo de reparação para agendar as aulas ainda não programadas que estão em uma lista. Esse processo é interativo e funciona da seguinte forma: seleciona-se uma aula ainda não programada *a* da lista; em seguida, procuram-se todos os locais possíveis para *a*; dentre esses locais que já estão ocupados por outras aulas, escolhe-se a melhor localização em termos de função-objetivo para *a*; exclui-se a aula que está nesse local e a inclui na lista de aulas não programadas, aloca-se *a* nesse local e exclui *a* da LANP. Tal processo tenta encontrar bons locais para todas as aulas da lista de aulas não programadas; caso esse processo falhe, reinicia-se o processo de improvisação.

Algoritmo 2.10: Pseudocódigo do Algoritmo de Improvisação da Nova Solução

1: $x' = \emptyset$

2: **Para** (i=1, ... n) Faça
3: x'_i = menor posição
4: **Se** (*rand* $\leq$ TCM)
5: $x'_i = x_i^j$, onde ($x_i^j \epsilon B^{melhor}$)
6: **Se** (*rand* $\leq$ TAN1)
7: Mover aula(x'_i)
8: **Senão-Se** (*rand* $\leq$ TAN2)
9: Mover sala (x'_i)
10: **Senão-Se** (*rand* $\leq$ TAN3)
11: Mover horário(x'_i)
12: **Fim-Se**
13: **Senão**
14: $x'_i \epsilon Q_i$, onde Q_i={l|l é livre para x'_i,l ϵ [0, P×K−1]}
15: **Fim-Para**
16: processo de reparação

Em seus experimentos, os autores concluíram que quanto maior o TMH e a TAN, maior será o tempo de execução do algoritmo. Na comparação entre o ABH comum e o ABH modificado. eles notaram que o ABH comum consegue encontrar soluções viáveis para instâncias de pequeno e médio porte, mas não para as de grande porte. Já o ABH modificado conseguiu encontrar soluções viáveis para todas as instâncias testadas; todavia, o tempo de execução do ABH comum é menor do que o tempo de execução do ABH modificado, pois este usa a função-objetivo em cada iteração para aceitar os ajustes.

III. Procedimentos Metodológicos

Para a realização da proposta descrita neste artigo, os seguintes procedimentos serão desenvolvidos:

1- Modelagem do problema com o uso de AGEBG.

Nesta primeira etapa, será feita uma modelagem específica do problema geral de programação de horários em cursos universitários com o objetivo de conseguir aplicar o algoritmo genético estendido com busca guiada para a obtenção de resultados. Essa modelagem será baseada no trabalho de Yang e Jat [16].

2- Implementação da técnica AGEBG;

Com o modelo do problema PHCU adaptado para AGEBG em mãos, será iniciada a implementação da técnica AGEBH com o uso da linguagem de programação Scala. A entrada para o algoritmo será um arquivo XML padronizado, baseado no modelo proposto por Bonutti, Cesco e Gaspero [20] com os dados das instâncias e a saída será uma grade horária, caso esta possa ser gerada.

3- Execução do programa do AGEBG.

Após a implementação da técnica AGEBG e de alguns pequenos testes para certificar que o programa esteja funcionando corretamente, serão realizados outros testes com as vinte e uma instâncias (ITC-2007) utilizadas em competições disponíveis no sítio *Curriculum-Based Course TimeTabling*.

Ao final de cada teste serão registrados o tempo de execução, o número de restrições preferenciais violadas e o número de iterações em forma de tabelas.

4- Análise dos resultados obtidos no item anterior.

Será feita uma análise crítica sobre as tabelas criadas no item anterior. Nessa análise serão observadas as instâncias em que algoritmo obteve melhores grades horárias, em quais obteve os melhores tempos e qual foi a média de desempenho da técnica AGBG. A qualidade de uma grade horária está relacionada à quantidade de restrições e preferências violadas.

5- Modelagem do problema com o uso de ABH.

Nesta etapa, assim como na primeira, será feita uma modelagem específica do problema geral de programação de horários em cursos universitários com o escopo de conseguir aplicar o algoritmo de busca harmônica para a obtenção de resultados (esta etapa e a primeira podem acontecer simultaneamente).

6- Implementação da técnica ABH.

Com o modelo do problema PHCU adaptado para ABG em mãos, começará a implementação da técnica ABH com o uso da linguagem de programação Scala. A entrada para o algoritmo também será um arquivo XML padronizado, baseado no modelo proposto por Bonutti, Cesco e Gaspero (20), com os dados das instâncias e a saída será uma grade horária, caso ela possa ser gerada.

7- Execução do programa do ABH.

Após a implementação da técnica ABH e de alguns pequenos testes para certificar que o programa está funcionando corretamente, serão realizados outros testes com as vinte e uma instâncias (ITC-2007) utilizadas em competições disponíveis no sítio *Curriculum-Based Course TimeTabling*.

Ao final de cada teste serão registrados o tempo de execução, o número de restrições preferenciais violadas e o número de iterações em forma de tabelas.

8- Análise dos resultados obtidos no item anterior.

Será feita uma análise crítica sobre as tabelas criadas no item 7. Nessa análise serão observadas as instâncias em que o algoritmo obteve melhores grades horárias, em quais obteve os melhores tempos e qual foi a média de desempenho da técnica ABH.

9- Comparação das análises feitas em 4 e 8 para selecionar a técnica com melhor desempenho.

Sobre as tabelas, os gráficos e a análise dos resultados obtidos das duas técnicas implementadas, será feita uma comparação entre os tempos de execução, as soluções e a média de desempenho; a técnica que obteve boas soluções em menor tempo será escolhida. O critério maior será a qualidade da solução, mesmo que dure um pouco mais de tempo.

10- Levantamento de requisitos da FACOM.

Nesta etapa será realizado o trabalho de campo, com a finalidade de obter os seguintes dados:

a) Quantidade de salas e suas capacidades;
b) Quantidade de laboratórios e suas capacidades;
c) Quantidade de disciplinas e suas cargas horárias;
d) Quantidade de professores e suas disciplinas;
e) Quantidade de períodos por dia e por semana do BSI e do Bacharelado em Ciências da Computação (BCC);
f) Quantidade de disciplinas de cada semestre do BSI e do BCC;
g) Quantidade de aluno em média por disciplina;
h) Índice de reprovação por disciplina;
i) Relação de professores que deram aula nas sextas-feiras;
j) Grades horárias dos semestres anteriores;
k) Aprendizado sobre a produção da grade horária no BSI e no BCC
l) Levantamento de restrições dos professores

11- Modelagem matemática do problema da FACOM.

Com todos os requisitos coletados, será feita uma modelagem matemática baseada no modelo de programação linear do problema da FACOM.

12- Executar o GLPK sobre o modelo matemático.

Para a execução do modelo matemático do item anterior, será usado o GNU Linear Programming Kit (GLPK), um sistema de código aberto GNU, com o objetivo de obter resultados por meio do método exato. Serão realizados testes com os dados da FACOM obtidos do último semestre letivo.

13- Análise dos resultados obtidos no item anterior.

Esta análise verificará se é possível gerar uma grade horária para o caso da FACOM, por meio do método exato e se o tempo de execução é aceitável, ou seja, se é possível esperar.

14- Modificação do modelo padrão da formulação proposto por Bonutti, Cesco e Gaspero [20] para o caso da FACOM.

Na implementação, a entrada para o algoritmo é um arquivo XML padronizado com os dados das instâncias. Até então foi utilizada a formulação proposta por Bonutti, Cesco e Gaspero (20); porém, a FACOM possui algumas particularidades que não aparecem neste modelo. Então será feita uma adaptação adicionando as informações necessárias que não apareceram no formato padrão. Isso será registrado e o produto desta etapa será um modelo padrão de arquivo XML.

15- Implementar um motor que usa a meta-heurística selecionada no item 9.

A técnica heurística com melhor desempenho já selecionada e implementada será adaptada para o modelo da FACOM. O motor será capaz de ler um arquivo padrão XML, modificado no item 14, para a obtenção de dados e gerar uma grade horária usando a meta-heurística adaptada.

16- Executar o motor no problema da FACOM.

Os dados da FACOM serão codificados de acordo com o modelo padrão adaptado e salvo como XML. Esse arquivo XML será a entrada do motor que gerará uma grade horária para a FACOM, sendo registrado o tempo de execução.

17- Análise dos resultados obtidos no item anterior.

Será analisada a grade gerada pela técnica escolhida, ou seja, será observada a quantidade de restrições preferenciais violadas, o número de iterações do algoritmo e o tempo de execução.

18- Comparação entre as análises obtidas nos itens 13 e 17.

Será feita uma comparação entre as tabelas e os gráficos obtidos pelo método exato e pela meta-heurística gerando outros gráficos que relacionam os dois métodos em termos de qualidade da solução e tempo de execução.

19- Discussão sobre as vantagens e desvantagens da utilização do método exato e da meta-heurística escolhida para o PHCU, tendo em vista o caso real da FACOM.

Serão observadas as vantagens e desvantagens dos dois métodos utilizados a fim de conferir a hipótese de que usar meta-heurística para solucionar os problemas de programação de horários universitários é melhor que usar métodos exatos – devido ao tempo que este último gasta – e observar se a solução obtida pela meta-heurística para o problema da FACOM foi aceita pelas coordenações dos dois cursos de graduação ofertados.

20- Escrita e defesa do Trabalho de Conclusão de Curso.

IV. DESENVOLVIMENTO

Da implementação deste trabalho estamos no item 3 dos procedimentos metodológicos, porém com resultados bastante precoces. Está sendo usada a linguagem de programação Scala e por enquanto usando as mesmas instâncias usadas por Rossi-Doria et al. [21].

V. CONCLUSÕES

Diante do que foi visto na literatura, mesmo sem resultados concretos, acredita-se que usar meta-heurísticas é mais viável do que métodos exatos. Não se sabe ainda quais das meta-heurísticas tem melhor desempenho. Da implementação, a linguagem scala, até o momento, atendeu todas as nossas necessidades e resultou em um código limpo e de fácil compreensão.

REFERÊNCIAS

[1] (monografia) L. A. Ciscon. 2006. *O problema de geração de horários*: um foco na eliminação de janelas e aulas isoladas. Disponível em: http://www.bcc.ufla.br/monografias/2005/O_problema_de_geracao_de_horarios_um_foco_na_eliminacao_de_janelas_e_aulas_isoladas.pdf. Acesso em: 11 jun. 2012.

[2] G. Neufeld and J. Tartar. “Graph coloring conditions for the existence of solutions to the timetable problem (artigo em livro),” in *Communications of the ACM*, vol. 17, 1974, pp. 450–453. Disponível em: http://dl.acm.org/citation.cfm?id=361092. Acesso em: 15 fev. 2013

[3] T. B. Cooper and J. H. Kingston *The complexity of timetable construction problems*, 1995. Disponível em: http://sydney.edu.au/engineering/it/research/tr/tr495.pdf. Acesso em: 11 jun. 2012.

[4] A. Schaerf. “A survey of automated timetabling”. *Artificial Inteligence Review*, vol. 13, 1999, pp. 87–127. Disponível em: http://www.teiser.gr/arximidis/pdf/kazarlis/PE1/1d.pdf. Acesso em: 23 jun. 2012.

[5] A. R. T. GOES. “Otimização na distribuição da carga horária de professores: método exato, método heurístico, método misto e interface (dissertação),” Mestrado em Ciências, Setores de Tecnologia e de Ciências Exatas, Univ. Federal do Paraná, Curitiba, 2005. Disponível em: http://www.ppgmne.ufpr.br/arquivos/diss/117.pdf. Acesso em: 12 mai. 2012.

[6] E. Bona, D. Borsato, R. S. S. F. Silva and R. P. Herrera. “Aplicativo para otimização empregando o método simplex seqüencial (artigo submetido

em repositório)". in *Acta Scientiarum*, vol. 22, n. 5, p. 1201–1206, 2000. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/159. Acesso em: 26 jul. 2012.

[7] F. Gomide. *2-Programação linear*. Disponível em: http://www.dca.fee.unicamp.br/~gomide/courses/IA810/transp/IA810ProgramacaoLinear_2.pdf. Acesso em: 24 jul. 2012.

[8] A. S. N. Silva, R. M. Sampaio and G. B. Alvarenga. "Uma aplicação de simulated annealing para o problema de alocação de salas". in *INFOCOMP Journal of Computer Science*, vol 4, 2005, pp. 59–66. Disponível em: http://www.dcc.ufla.br/infocomp/artigos/v4.3/art08.pdf. Acesso em: 12 mai. 2012.

[9] C. J. B. Poulsen. "Desenvolvimento de um modelo para school timetabling problem baseado na meta-heurística simulated annealing (dissertação)". Mestrado em Administração, Escola de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/39522/000825681.pdf?sequence=1. Acesso em: 22 mai. 2012.

[10] A. Subramanian, J. M. F. Medeiros, L. A. Formiga and M. J. F. Souza. "Aplicação da metaheurística busca tabu ao problema de alocação de aulas a salas em uma instituição universitária". In *Revista Produção Online*, vol. 11, n. 1, pp. 1676–1901, 2011. Disponível em: http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CFMQFjAA&url=http%3A%2F%2Fproducaoonline.org.br%2Frpo%2Farticle%2Fdownload%2F419%2F762&ei=UmocUIyPAYLG6wHiioHoCw&usg=AFQjCNHSMtjoKEhGeg_4E2SfQ9_GUVmS_w&sig2=GDkMFWZ6eneVe-rXJT-8yg. Acesso em: 27 jul. 2012.

[11] A. V. Moura and, R. A. Scaraficci. *A grasp strategy for a more constrained school timetabling problem*. 2007. Disponível em: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.67.4015. Acesso em: 23 jul. 2012.

[12] J. P. Martins. "O problema do agendamento semanal de aulas (dossertação)". Mestrado em Computação, Institudo de Informática, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010. Disponível em: http://www.inf.ufg.br/mestrado/sites/www.inf.ufg.br.mestrado/files/uploads/Dissertacoes/JeanPaulo.pdf. Acesso em: 12 mai. 2012.

[13] C. D. L. Hamawaki, K. Yamanaka, R. C. Oliveira and O. T. Hamawaki. "Alocação de grade horária em instituições de ensino superior utilizando algoritmos genéticos". In *IV Simpósio de Informática da Região Centro do RS*. Santa Maria, 2005. pp. 1–8. Disponível em: http://www.sirc.unifra.br/artigos2005/artigo23.pdf. Acesso em: 12 mai. 2012.

[14] (monografia) M. S. Skrabe. 2007. *Proposta de algoritmo genético para aplicação no problema da grade horária*.

[15] S. N. Jat and S. Yang. "A guided search genetic algorithm for the university course timetabling problem". in *Multidisciplinary International Conference on Scheduling: Theory and Applications*, p. 180–191, 2009. Disponível em: http://bura.brunel.ac.uk/bitstream/2438/5880/3/Fulltext.pdf. Acesso em: 03 Ago. 2012.

[16] S. Yang and S. N. Jat. "Genetic algorithms with guided and local search strategies for university course timetabling (artigo aceito para publicação)". *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, v. 41, p. 93–106, 2011. Disponível em: http://bura.brunel.ac.uk/handle/2438/5818. Acesso em: 11 jun. 2012.

[17] Z. W. Geem, J. H. Kim And G. V. Loganathan. A new heuristic optimization algorithm: harmony search. *Simulation*, v. 76, p. 60–68, 2001. Disponível em: http://sim.sagepub.com/content/76/2/60.short. Acesso em: 18 jul. 2012.

[18] M. A. Al-Betar And A. T. Khader. A harmony search algorithm for university course timetabling. *Annals of Operations Research*, v. 194, n. 1, p. 3–31, 2012. Disponível em: http://www.springerlink.com/content/q3331g33344153w0/. Acesso em: 17 jun. 2012.

[19] S. Das, A. Mukhopadhyay, A. Roy, A. Abraham and B. K. Panigrahi. Exploratory power of the harmony search algorithm: analysis and improvements for global numerical optimization. *IEEE Systems, Man, and Cybernetics Society*, v. 41, n. 1, p. 89–106, 2011. Disponível em: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5454370&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxpls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D5454370. Acesso em: 27 ago. 2012.

[20] A. Bonutti, F. Cesco, L. D. Gaspero and A. Schaerf. "Benchmarking curriculum-based course timetabling: formulations, data formats, instances, validation, visualization, and results". *Annals of Operations Research*, v. 194, n. 1, p. 59–70, 2010. Disponível em: http://www.springerlink.com/content/932k651m03330t38/. Acesso em: 11 jun. 2012.

[21] O. Rossi-Doria. et al. A comparison of the performance of different metaheuristics on timetabling problem. in*: proceedings of the 4th international conference on practice and theory of automated timetabling* (PATAT 2002, v. 2740, p. 329–351, 2002. Disponível em: http://w3.ualg.pt/~lpaquete/papers/patat2002a.pdf. Acesso em: 11 jun. 2012.

Implementação de uma Biblioteca para a Construção de Algoritmos Genéticos em FPGAs

Mateus Gonçalves Silva
Departamento de Engenharia Eletrônica
Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil
mateusgs@ufmg.br

Frederico Gadelha Guimarães
Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil
fredericoguimaraes@ufmg.br

Ricardo de Oliveira Duarte
Departamento de Engenharia Eletrônica
Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil
ricardoduarte@ufmg.br

***Resumo* — Esse artigo aborda os detalhes na elaboração de componentes em linguagem de descrição de hardware para a construção de algoritmos genéticos em *Field-Programmable Gate Array* (FPGA). Desempenho e dados intrínsecos a respeito dos componentes implementados em nível de hardware são avaliados por meio de simulações e uma analise comparativa entre a solução proposta para FPGA e a implementação do algoritmo genético similar em linguagem C. A implementação abordada apresentou um potencial de expansibilidade por meio do uso de técnicas de paralelismo, e um desempenho inicial com similaridades aos algoritmos genéticos utilizados nos computadores desktop.**

Palavras-Chave: Algoritmo Genéticos; FPGA; hardware evolutivo; Linguagem de Descrição de Hardware; operadores genéticos.

***Abstract* — This paper covers the details in the preparation of components into hardware description language for building genetic algorithms in *Field-Programmable Gate Array* (FPGA). Performance and information about implemented components in hardware level are evaluated through simulations and comparative analysis between FPGA solutions and language C implementations in desktops computers. The implementation discussed presented potential for expansibility in parallelism and an initial performance similar to genetic algorithms utilized in desktop computers.**

Key-Words: Evolvable Hardware; FPGA; Genetic Algorithms; Genetic Operators; Hardware Description Language.

I. INTRODUÇÃO

A interação e cooperação entre as diversas áreas de conhecimento não é uma estratégia incomum em linhas de pesquisa. Os algoritmos genéticos podem ser considerados exemplos de tal colaboração entre conhecimentos, uma vez que esses são modelos computacionais inspirados pela teoria da evolução. John Holland (Universidade de Michigan) introduziu o primeiro modelo de algoritmo genético em 1975, e a partir desta data ocorreram diversas investigações para aplicações dos algoritmos genéticos principalmente em problemas de otimização [1].

Normalmente, inicia-se um algoritmo genético com a geração de uma população inicial constituída por cromossomos artificiais, que são estruturas de dados passiveis de recombinação e mutação que podem ter representação binária, inteira e até mesmo outros tipos. Cada uma dessas estruturas de cromossomos representa uma solução de um problema-objeto, e quanto melhor a solução fornecida por um respectivo cromossomo, mais chances este terá de participar em um processo reprodutivo que resultará em uma nova geração. Para a avaliação de uma solução deve-se comparar a qualidade de um determinado cromossomo com a qualidade média da população para a resolução do problema-objeto [2].

Nesse artigo, a construção de modelos de algoritmos genéticos para FPGA será abordada. O desenvolvimento de hardwares que possibilitam uma auto-reconfiguração motiva as pesquisas relacionadas à implementação de algoritmos genéticos em FPGA. Um dispositivo de hardware com a capacidade de simular um processo evolutivo para procurar por novas configurações de hardware é compatível com desenvolvimentos de sistemas autônomos e tolerantes a falhas [3]. Esse dispositivo é chamado de hardware evolutivo pelo fato deste poder modificar sua própria estrutura em caso de mudanças do meio inserido e falhas internas, o que caracteriza um processo adaptativo [7].

Um hardware evolutivo utiliza técnicas embasadas em algoritmos genéticos, pois estes fornecem as cadeias de bits que se adaptam melhor ao ambiente. Por meio dessas cadeias fornecidas, a estrutura de hardware será reconfigurada [7]. Esse procedimento descrito é a base de funcionamento de um hardware evolutivo.

Entretanto, o foco deste artigo não é expor o desenvolvimento de um hardware evolutivo, e sim o desenvolvimento de uma biblioteca de algoritmos genéticos em linguagem de descrição de hardware (VHDL – *VHSIC Hardware Description Language*). No futuro, objetiva-se a utilização dessa biblioteca para a estruturação de um hardware de auto-reconfiguração.

Os componentes pertencentes à biblioteca serão testados e avaliados por meio da construção de um problema simples utilizando algoritmos genéticos. Como existem variações da estrutura lógica de um algoritmo genético, inicialmente, adotou-se um tipo de estrutura de algoritmo para a implementação. Tais detalhes serão amparados pelos próximos tópicos do artigo.

A Seção II deste artigo expõe a estrutura de algoritmo genético que inspirou a construção da biblioteca. A Seção III aborda os componentes desenvolvidos em VHDL e detalhes de implementação. A Seção IV discorre sobre a arquitetura global do algoritmo genético em nível de hardware. A Seção V demonstra os testes e resultados. Por último, a Seção VI finaliza o artigo com as conclusões.

Manuscrito recebido em 27 de fevereiro de 2013; revisado em 4 de abril de 2013.

M. G. Silva (mateusgs@ufmg.br), F. G. Guimarães (fredericoguimaraes@ufmg.br) e R. O. Duarte (ricardoduarte@ufmg.br) pertencem à Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG.

II. ESTRUTURA DE UM ALGORITMO GENÉTICO

As variações em algoritmos genéticos se estendem desde o modo que é consolidado a seleção dos cromossomos mais aptos para a reprodução até a maneira estabelecida como critério de parada do algoritmo, e consequente retorno da melhor população encontrada. Entretanto, em todos os casos, um algoritmo genético é exposto como um processo evolutivo contínuo em ciclos controlados por um critério de parada [4].

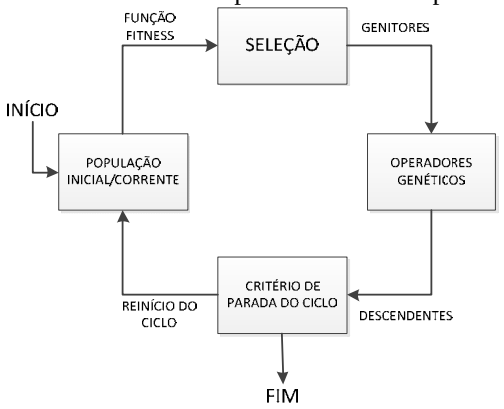


Figura 1 – Estrutura básica de um algoritmo genético

Como detalhado na figura 1, o primeiro passo do ciclo do algoritmo é a geração de uma população inicial randômica. Existem vários métodos de geração de número aleatórios, e o utilizado neste trabalho será explicitado na Seção III.

Após a geração da população de cromossomos artificiais, cada cromossomo será avaliado em relação à população geral segundo a função objetivo do problema. A função que efetua tal avaliação é chamada de função *fitness*. Os métodos de seleção segundo a obtenção da informação de *fitness* de cada "cromossomo" são diversos. O método da roleta foi utilizado na implementação completa do algoritmo genético. Os outros métodos como ranking e torneio serão explorados nos próximos trabalhos.

O método da roleta consiste do uso do critério de proporcionalidade ao *fitness* do cromossomo para a seleção. A figura 2 exemplifica o funcionamento do método da roleta. A seleção do cromossomo consiste em "girar a roleta" e sortear o cromossomo selecionado. Entretanto, a ocupação percentual da roleta é proporcional ao *fitness* do cromossomo, logo, um cromossomo de maior *fitness* terá mais chances de ser selecionado.

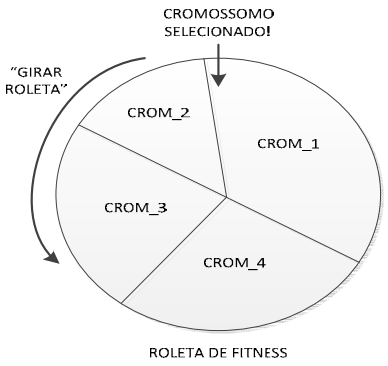


Figura 2 – figura ilustrativa de representação do método da roleta

A figura 3 demonstra o método da roleta em pseudo-algoritmo.

```
1  VARIÁVEIS
2  valor_roleta NUMÉRICO
3  // "Força" de giro da roleta
4  fitness_populacao NUMÉRICO
5  // Soma dos fitness de toda população
6  fitness_parcial, i NUMÉRICO
7  // Auxiliares
8  pop_fitness VETOR NUMÉRICO
9  // Vetor que armazena todos os fitness
10 id_crom_selecionado NUMÉRICO
11 // id do cromossomo selecionado
12 FIM_VARIÁVEIS
13
14 valor_roleta = rand();
15 //Número randômico
16
17 ENQUANTO (valor_roleta > fitness_populacao)
18         valor_roleta = valor_roleta – fitness_populacao;
19 FIM_ENQUANTO
20 // Voltas completas da roleta
21
22 i = 0;
23 ENQUANTO (fitness_parcial < valor_roleta)
24         fitness_parcial = fitness_parcial + pop_fiteness[i];
25 FIM_ENQUANTO
26  // Última volta da roleta
27 id_crom_selecionado = i;
```

Figura 3 – Pseudo-algoritmo representando o método da roleta

A recombinação e a mutação estão entre os operadores genéticos mais comuns. Esses operadores são reesposáveis pela variabilidade presente nas novas gerações por meio de uma alteração de algum parâmetro de codificação da população já selecionada [3].

A recombinação consiste na troca de "material genético" entre dois ou mais cromossomos. Por exemplo, no caso de cromossomos artificiais representados por vetores de bits, a recombinação é uma espécie de permutação de bits entre tais vetores. Já a mutação é produto de uma alteração randômica na estrutura de um determinado cromossomo da geração selecionada.

O critério de parada é o último passo de um ciclo de algoritmo genético. Nessa etapa serão verificadas se as condições previamente estabelecidas foram satisfeitas. Se sim, a execução do algoritmo é interrompida, retornando assim o resultado de todo o processo. Se não, um novo ciclo é iniciado, repetindo as etapas já citadas neste artigo. Os critérios de parada mais comuns são o número de gerações e a convergência do algoritmo [3].

III. COMPONENTES DESENVOLVIDOS EM VHDL

A partir da análise da estrutura do algoritmo genético citada no tópico anterior, percebe-se a necessidade de elaboração de vários componentes padrões que atendam às necessidades do algoritmo. O critério utilizado para a formatação de um componente foi a classificação por tipos de operação que o algoritmo exige. Por exemplo, unidades aritméticas, de comparação e de operadores genéticos são fundamentais no decorrer dos ciclos do algoritmo.

Além dessas unidades, um banco de registrador será inserido para o armazenamento da população anterior e corrente, e geradores de números randômicos em outras etapas do processo. Esta Seção será responsável pela apresentação de tais componentes desenvolvidos.

A. GERADOR DE NÚMEROS RANDÔMICOS

Um computador digital não pode gerar números randômicos genuínos, e, muitas vezes, é impraticável ter uma fonte externa de números aleatórios. Então, métodos de geração de números que aparentam ter uma distribuição randômica, os pseudo-geradores de números aleatórios, são utilizados de maneira eficiente em muitas aplicações [5].

Um gerador pseudo-aleatório eficiente e de implementação simples é o *Linear Feedback Shift Register* (LFSR)[6]. O LFSR é um registrador de deslocamento em que sua entrada é resultado de uma função linear do estado anterior. Tal função é consolidada por meio de polinômios gerados por combinações de portas lógicas Ou-Exclusivo (XOR).

Como há a necessidade de vários geradores de números randômicos no projeto, foi necessária a criação de vários LFSRs com funções lineares distintas.

B. BANCO DE REGISTRADOR

Um dispositivo de armazenamento das populações de "cromossomos" é também uma necessidade de projeto. Para isso foi desenvolvido um banco de registrador para armazenar os cromossomos que, para efeitos de implementação, serão emulados no FPGA.

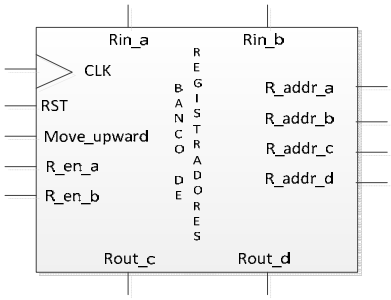


Figura 4 – ilustração do banco de registradores

Como pode ser observado na figura acima, esse banco de registradores possui duas entradas e duas saídas que podem ser acessados simultaneamente por meio dos "R_addr". "R_en_a" e "R_en_b" são os habilitadores para gravação nas entradas "Rin_a" e "Rin_b" respectivamente. Como a população corrente e a anterior do ciclo do algoritmo genético devem ser armazenadas, o banco deverá ter o dobro de tamanho em relação à população de "cromossomos". "Move_upward" move os elementos que estão na metade inferior da "memória" do banco para a metade superior.

C. UNIDADE ARITIMÉTICA

Operações aritméticas ocorrem em várias etapas do algoritmo genético. Por exemplo, para a obtenção do *fitness* total da população gerada ou selecionada e nos estágios de seleção, uma unidade aritmética que efetue a soma de *fitness* de cada "cromossomo" se faz necessária.

Outro ponto importante é o fato de que só se sabe a qualidade (*fitness*) de um determinado "cromossomo" quando este for comparado com termo idealizado para convergência. Como o trabalho lida com vetores de bits, tal comparação é feita observando-se as posições com valores idênticos. Uma simples negação de XOR (NOT XOR) trata esse problema (figura 5).

A função dessa tradução mostrada na figura 5 é feita pelo componente "decode_fit" (figura 6). A partir da figura 5, percebe-se que o valor de *fitness* de um determinado cromossomo será a quantidade 1s presentes no "vetor de bit *fitness*", que no caso da figura 5 o valor corresponde a cinco. O componente count_bit (figura 6) é responsável por essa função.

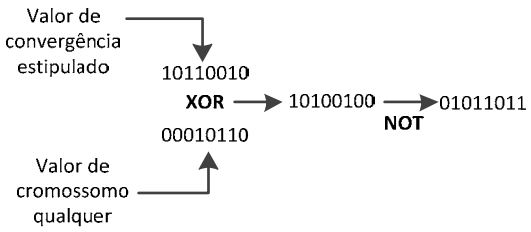


Figura 5 – Tradução da representação do cromossomo para o vetor de bits fitness em relação ao termo de convergência estipulado

O componente "gen_arit" ilustrado na figura 6 é um componente aritmético genérico que reúne uma unidade lógica aritmética que efetua as operações básicas de soma, subtração e OU, "decode_fit", "count_fit" e multiplexadores. A quantidade de entradas em tal componente é totalmente parametrizável.

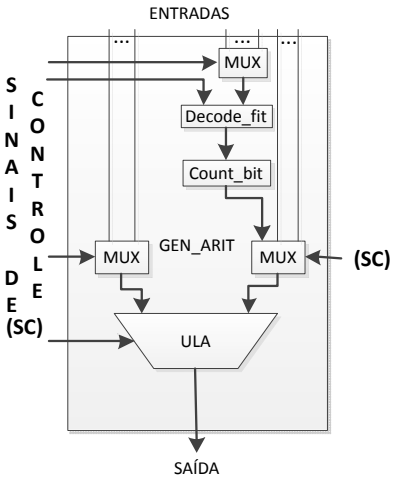


Figura 6 – ilustração do componente gen_arit

A partir do componente da figura 6 e registradores internos formamos uma unidade aritmética. A quantidade de “gen_arit” na unidade dependerá do nível de paralelismo empregado no algoritmo genético. Ressalta-se que as entradas da unidade mostrada na figura 7 são provenientes de geradores randômicos ou do banco de registradores.

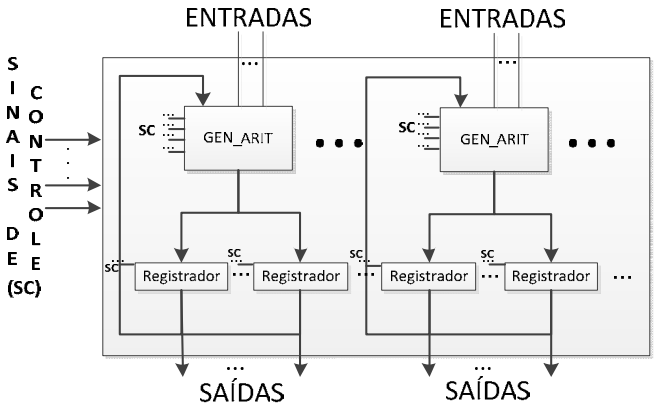


Figura 7 – ilustração de uma unidade aritmética

D. UNIDADE DE COMPARAÇÃO

Assim como as operações aritméticas, as comparações estão presentes em várias etapas do algoritmo genético, como, por exemplo, na verificação do critério de parada e de interrupção varredura entre todos os elementos de uma determinada geração do algoritmo armazenados no banco de registrador.

A unidade de comparação (figura 8) é constituída por comparadores, multiplexadores e um incrementador que contará o número de gerações alcançadas pelo algoritmo. O número de comparadores na unidade dependerá do nível de paralelismo empregado.

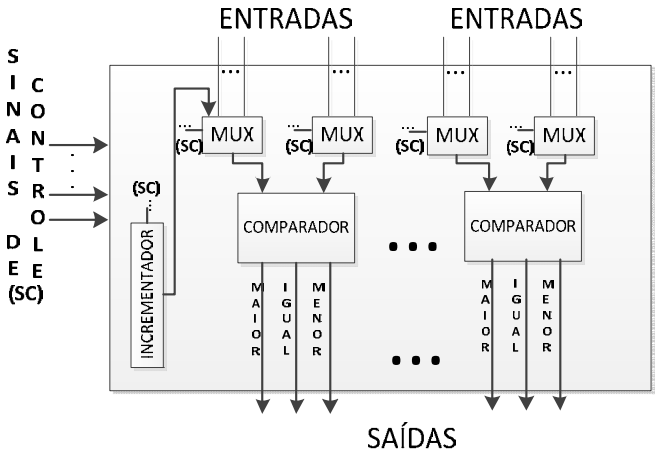


Figura 8 – Ilustração de uma unidade de comparação

E. UNIDADE DE OPERADORES GENÉTICOS

A unidade de operadores genéticos é responsável pelas operações de mutação e recombinação. A mutação é efetuada por meio de uma operação NOT em um único bit de um cromossomo artificial. Já a recombinação permutara bits delimitados por dois cursores de posição entre dois “cromossomos” da geração corrente. A figura 9 demonstra o componente básico que pode ser paralelizado.

Há registradores para armazenar temporariamente as posições e os valores dos “cromossomos”. Todas as posições são geradas aleatoriamente por meio de LFSRs.

No componente que realiza a mutação, há um habilitador “EN_MUT” que permitirá, ou não, a realização da mutação. Percebe-se que este componente executa a recombinação em série com a mutação. Esta foi uma decisão de implementação adotada para a obtenção de um melhor tempo de execução médio do ciclo do algoritmo.

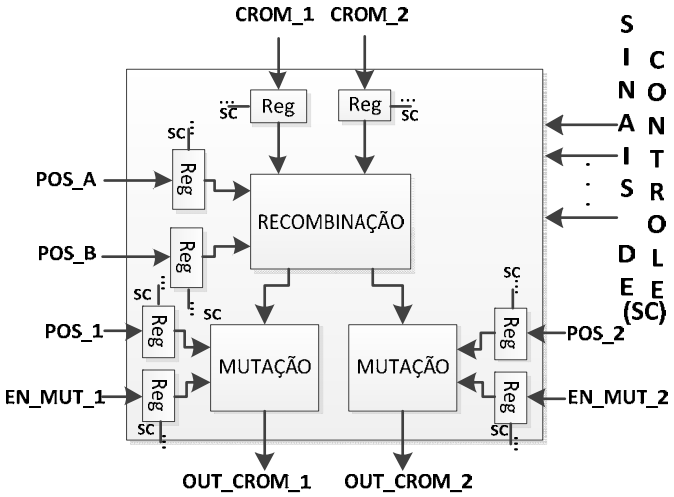


Figura 9 – Ilustração de uma unidade de operadores genéticos

F. UNIDADE COMBINATÓRIA DE ENDEREÇOS

A unidade combinatória de endereços é uma unidade que gerencia e coordena as entradas de endereços do banco de registradores, principalmente pelo fato do banco de registradores possuir duas partições. Percebe-se que o bit mais significativo do endereço delimitará as partições, e a unidade combinatória utiliza-se desse bit para a seleção de uma dada partição de interesse.

Há também dois incrementadores responsáveis por fornecer endereços para a varredura dos “espaços de memória” do banco de registrador. Os valores do incrementador também são enviados para a unidade de comparação que verificará a necessidade ou não de uma interrupção de varredura.

IV. ARQUITETURA GLOBAL DO ALGORITMO GENÉTICO

As unidades e componentes foram demostrados na Seção anterior. Entretanto, ainda não foi detalhado o modo que tais unidades e componentes são interligados. Primeiramente, há de se destacar que o nível mais alto de abstração da arquitetura do algoritmo genético desenvolvido é constituído por uma

controladora central comunicando-se com a via de dados que executa todas as operações estabelecidas pelo algoritmo genético (figura 10).

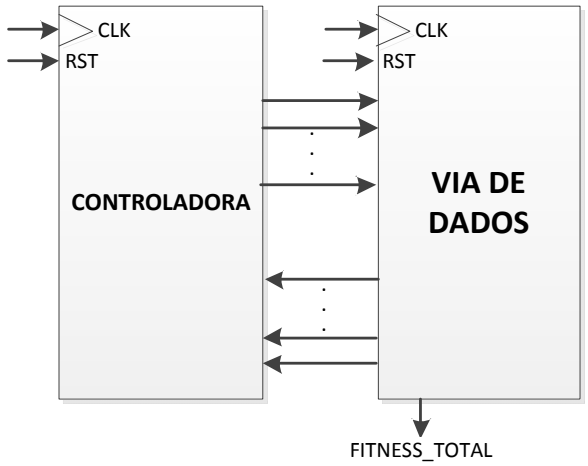


Figura 10 – Ilustração da arquitetura global do algoritmo genético

A controladora coordena todo o fluxo de execução do algoritmo genético por meio de dezesseis estados. Toda a integração dos componentes citados até o momento (figura 11) é estruturado na via de dados, como mostrado na figura 11.

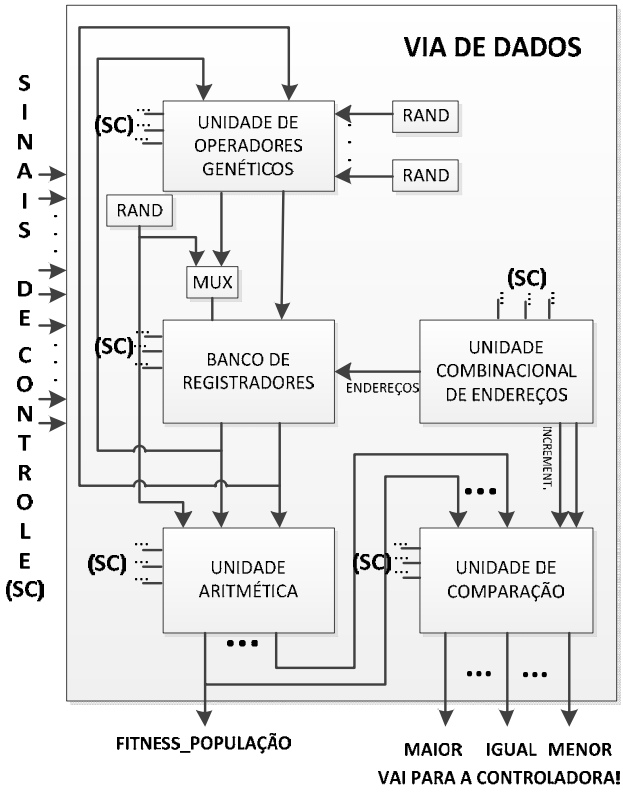


Figura 11 – Ilustração da via de dados com os componentes interligados e geradores randômicos (RAND) associados.

V. TESTES E RESULTADOS

A partir da arquitetura e componentes expostos nas seções anteriores, um problema simples para a execução de algoritmos genéticos em FPGA foi implementado em VHDL. O problema consiste em maximizar o número 1's em cadeias de bits geradas de forma aleatória por meio do algoritmo genético exposto nesse artigo.

O primeiro ponto a ser levantado na execução desse algoritmo genético é a influencia do tamanho da população na convergência e eficiência das respostas encontradas. Segundo [10], para o problema de maximizar 1's, quanto maior a população, maior o número de gerações necessárias para a convergência, e menor número de soluções incorretas fornecidas pelo algoritmo. Essa relação de compromisso tem um ponto ótimo que pode ser calculado a partir da equação (1) apresentada em [8]:

$$y = 267{,}43 * \mathbf{Ln}(x) - 293{,}21 \quad (1)$$

Onde y é tamanho da população e x o quantidade de bits de cada cromossomo (cadeia de bits).

Nesse experimento, cromossomos de 16 bits foram adotados. Segundo a equação (1), o tamanho ótimo da população é de 450 elementos para cromossomos de 16 bits. Para a verificação dessas inferências a respeito da influencia da população no algoritmo genético, foram efetuados testes com diversos tamanhos de população.

Assim, foram feitas simulações utilizando o software Altera ModelSim para populações tamanhos 64, 128, 256 e 512. Foi adotado mutação com probabilidade de 1-2%, lembrando que a recombinação possui ponte de corte duplo com posições aleatórias para os mesmos. Para efeito de comparação, uma implementação em C do mesmo algoritmo genético utilizando o método da roleta foi executada em um desktop com características detalhadas posteriormente nesta Seção.

Para ambas as implementações (C e VHDL), cinco testes para cada tamanho de população foram executados. As médias das soluções que apresentaram convergência não prematura (*fitness* médio > 15,0) foram utilizadas para a plotagem dos gráficos (figura 12).

A partir da análise dos gráficos apresentados na figura 12, a semelhança dos resultados para as implementações em C e VHDL é nítida, comprovando um correto comportamento da implementação do algoritmo em VHDL. Percebe-se também que quanto maior o tamanho da população, menores são as divergências entre os resultados das implementações. Isso se deve ao fato de que a característica da curva de convergência em uma população pequena sofre bastante alteração de comportamento de uma simulação para outra.

Apesar de uma convergência rápida, não é recomendado a utilização de uma população de 64 cromossomos devido às convergências prematuras encontradas durante as simulações. Percebe-se, também, que os gráficos de convergência encontrados para as populações de 128, 256 e 512 cromossomos são bastante semelhantes. Logo, por meio da análise dos gráficos apenas, a adoção de uma população de 256 ou 512 cromossomos deve ser levada em consideração. Esta constatação corrobora o resultado encontrado utilizando a equação 1.

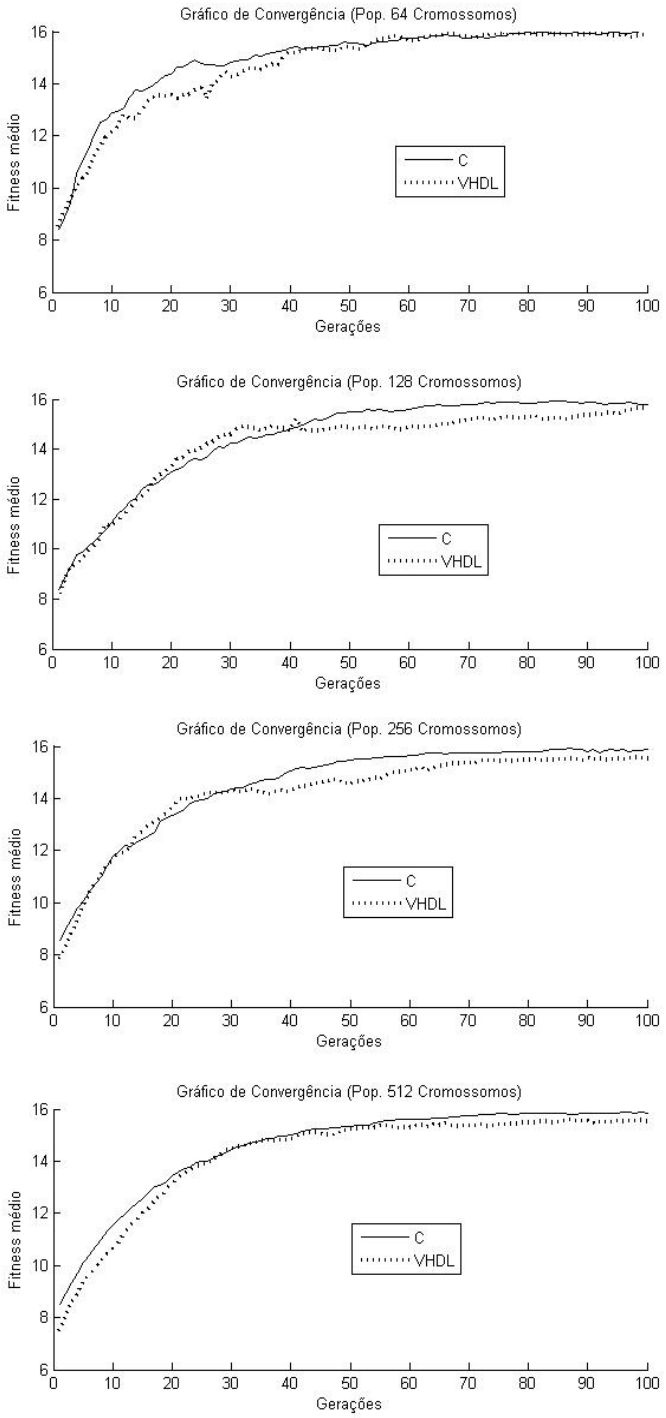


Figura 12 – Gráficos que representam a convergência do algoritmo genérico, em populações de vários tamanhos, para o problema citado.

Para as simulações, o clock adotado para a simulação da implementação em VHDL foi de 50 MHz e um Intel Core i3 – 2,27 GHz foi utilizado como desktop para a execução do algoritmo genético em C executando sobre o sistema operacional MS-Windows 7. A tabela I demonstra o tempo médio total gasto para os diferentes tamanhos de população.

TABELA I
TEMPO GASTO PARA EXECUTAR CEM GERAÇÕES DO ALGORITMO GENÉTICO

Tamanho da população	Implementação em VHDL	Implementação em C
64	8,84 ms	16,57 ms
128	32,67 ms	39,30 ms
256	128,00 ms	101,80 ms
512	513,00 ms	285,00 ms

A partir da análise dos dados da tabela I, percebe-se tempos de mesma ordem de grandeza em ambas as implementações. Observa-se que, em tamanhos menores de população (64 e 128), a implementação em VHDL obteve tempos menores que a implementação em C. O contrario ocorreu para os tamanhos de população maiores (256 e 512). Entretanto, uma análise apenas temporal é insuficiente para comparar desempenhos, uma vez que outros fatores devem ser considerados, como, por exemplo, a diferença de clock utilizado nos dois tipos de implementação e a porcentagem de hardware dedicado pelo dispositivo que executou tal simulação.

Outro aspecto relevante a respeito das dimensões da arquitetura implementada é a obtenção da porcentagem, em termos lógicos, que cada componente ocupa em relação à arquitetura total mostrado na tabela II. Como pode ser observado, o banco de registradores é o componente que ocupa uma maior porcentagem de elementos lógicos, e é o componente mais crítico na melhoria do paralelismo da arquitetura, o que leva ao questionamento a respeito das vantagens de velocidade oferecidas por um dispositivo de memória emulado no FPGA em comparação com a sua desvantagem de alta ocupação de elementos lógicos.

O fato dos componentes de comparação, combinação de endereços, aritméticos e de operações genéticas possuírem pequenas parcelas percentuais de elementos lógicos é um bom sinal para um processo de paralelização do algoritmo. Nesses componentes estão as estruturas que devem der replicadas em um processo de paralelização, logo se percebe o consequente potencial que a arquitetura possui para tal modificação.

TABELA II
RELAÇÃO ENTRE TAMANHO DA POPULAÇÃO E O NÚMERO DE UNIDADES LÓGICAS OCUPADAS EM UM FPGA

Componentes e unidades	Porcentagem lógica de ocupação
Banco de registadores	91.70%
Aritmética	2.37%
Comparação	2.12%
Combinatória	0.32%
Operadores genéticos	1.39%
Controladora	0.65%
Geradores Randômicos	1.40%

VI. Conclusões

Primeiramente, verificou-se consistência comportamental do algoritmo genético dedicada para FPGA a partir das simulações empregadas para as implementações em VHDL e em C em seus respectivos hardwares. Conclui-se também que o desempenho encontrado para a solução empregada no FPGA possui significativas semelhanças temporais e de convergência em relação ao algoritmo executado em um computador desktop de mercado. Não se pode declarar ainda qual implementação tem o melhor desempenho, pois, como citado na Seção V, é necessário considerar outras informações que estão além do escopo deste artigo para efetuar tal comparação.

Pretende-se, como trabalho futuro, investir esforços na elaboração de uma precisa metodologia de analise de desempenho entre implementações dedicadas a FPGAs, e, se possível, compará-las a implementações dos mesmos algoritmos em computadores desktop. A melhoria da implementação dos componentes da biblioteca e a exploração da paralelização do algoritmo em FPGA, por meio dos componentes citados nesse artigo, é outra vertente prevista como trabalho futuro.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Pró-Reitoria de Graduação (PROGRAD) e à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais pelo suporte financeiro concedido na forma de bolsa de iniciação científica.

Referências Bibliográficas

[1] D. Whtley, A Genetic Algotithm Tutorial, Statistics and Computiong (4): 65-85,1994.

[2] D. Whtley, Genetic Algotithms and Evolutionary Compution, Van Nostrand's Scientific Encyclopedia,2002.

[3] G. W. Greenwood, e A.M. Tyrrell, Rezgui, "Introduction to Evolvable Hardware", 2007.

[4] M. A. C. Pacheco, "Algoritmos Genéticos: Princípios e Aplicações", Julho 1999.

[5] J. E. Gentle, "Random Number Generation and Mante Carlo Methods – Statistics and Computing",2005.

[6] A. Klapper, e J. Xu, "Algebric feedback shift registers".Theoretical Computes Science,1999.

[7] T. Higuchi,"Evolvable Hardware with Genetic Learning",1994.

[8] S. Gotshall, e B. Rylander, "Optimal Population Size and the Genetic Algorithm",2003.

Proposta de comparação entre as redes bayesianas e a lógica difusa para a representação do conhecimento do estudante

Ingrid Iplinsky de Oliveira
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
ingrid@si.ufu.br

Alexsandro Santos Soares
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
alex@facom.ufu.br

***Abstract*— This work proposes a comparison between two approachs for knowledge representation in a student model, the Bayesian networks and fuzzy logic. Both techniques seek to discover the student knowledge level through logic or probabilistic interactions.**

Keywords: student model, Bayesian Network and Fuzzy Logic.

***Resumo*— Este trabalho apresenta uma proposta de comparação entre duas técnicas de representação do conhecimento no modelo do estudante, a Rede Bayesiana e a Lógica Difusa, técnicas de abordagem diferentes que buscam descobrir através de interações lógicas ou probabilísticas o nível de conhecimento o estudante.**

***Palavras chave*—modelo do estudante, sistema tutor inteligente, rede bayesiana, lógica difusa.**

I. Introdução

As tecnologias desenvolvidas para a Internet nas últimas décadas têm contribuído nos avanços dos métodos educacionais. Tem-se desenvolvido sistemas capazes de atender aos diferentes estilos de aprendizagem, à individualidade e à dificuldade encontrada por cada aprendiz.

Os Sistemas Tutores Inteligentes (STIs) são programas educacionais de computador que contém um componente de Inteligência Artificial (IA) [1]. O programa rastreia o desempenho de um estudante numa determinada tarefa e oferece retornos e comentários personalizados durante sua realização. Ao coletar informações sobre tal desempenho, o sistema pode realizar inferências sobre as deficiências do aluno e pode sugerir exercícios ou leituras adicionais [2, 3].

A arquitetura clássica de um sistema tutor inteligente, de acordo com Zarandi et al. [3], Lima [4] e Woolf [5] possui os seguintes módulos: o módulo do estudante, o módulo do domínio, o módulo pedagógico e o módulo da comunicação.

Este trabalho dará enfoque ao módulo do estudante, o qual será mais bem explicado na seção III. Este módulo tem a responsabilidade de armazenar todas as informações do aprendiz, como suas características cognitivas, o seu histórico de desempenho e o seu histórico de navegação [6].

O módulo do estudante é a base principal para que o STI possa se adaptar ao aluno [4, 2], tendo a função de realizar inferências sobre o estado de conhecimento do aprendiz em determinado conteúdo.

Este trabalho apresenta uma proposta para a modelagem e implementação do módulo do estudante baseado em uma rede bayesiana. Espera-se com isto que ele seja capaz de identificar com maior precisão os diferentes níveis de conhecimento dos aprendizes na disciplina Estrutura de Dados 1, podendo assim proporcionar conteúdos mais adaptados aos diferentes estilos cognitivos de cada discente quando comparado a um sistema tutor inteligente que possua um módulo do estudante que utilize, por exemplo, lógica difusa.

Este artigo está organizado nas seguintes seções. Na seção II serão introduzidos os conceitos fundamentais para a contextualização dos assuntos envolvidos neste trabalho. Na seção III será discutido o módulo do estudante e as várias formas de representação de conhecimento do aluno. Na seção IV serão apresentadas as redes bayesianas. Na seção V será apresentada a lógica difusa. Na seção VI serão discutidos os procedimentos metodológicos necessários para a realização desta proposta. A seção VII mostrará o que já foi desenvolvido e por fim serão apresentadas as conclusões.

II. Referencial teórico

Segundo Fowler [7], os Sistemas Tutores Inteligentes são programas de computador que possuem propósitos educacionais e que utilizam técnicas de Inteligência Artificial (IA). Eles podem simular o processo do pensamento humano, por meio da IA, para auxiliar na resolução de problemas ou em tomadas de decisões.

Os STIs são sistemas baseados em instruções de computadores que possuem bases distintas de conhecimento para conteúdo instrucional, que especifica sobre o que ensinar, e estratégia de ensino, que especifica como ensinar [8]. Os STIs possuem uma arquitetura básica, mas que pode ser

I. I. Oliveira (ingrid@si.ufu.br) e a A. S. Soares (alex@facom.ufu.br) pertencem à Faculdade de Computação da Universidade Federal de Uberlândia - UFU. Av. João Naves de Ávila, 2121 - Campus Santa Mônica - Uberlândia - MG - Brasil - 38408-100.

modificada de acordo com as necessidades da aplicação. De acordo com Zarandi et al. [3], Lima [4], Woolf [5] os componentes presentes na maioria dos STIs, ilustrados na Figura 1, são:

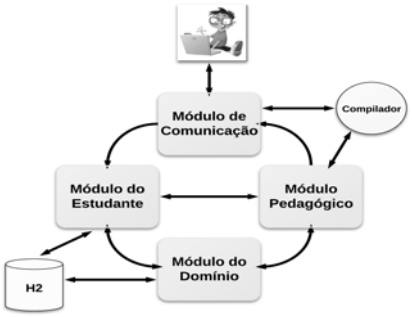


Fig. 1. Arquitetura clássica de um Sistema Tutor Inteligente, modificada para as finalidades de ensino de programação e estruturação de dados.

Módulo de Comunicação: tem a responsabilidade de ligar o conteúdo à apresentação e capturar as informações dos alunos, monitorando o progresso durante as sessões de aprendizagem. Ele também é responsável por evitar que o aluno fique entediado, ou seja, é necessária a riqueza de recursos na apresentação do conteúdo e é desejável também que haja facilidade para a troca da iniciativa do diálogo, isto é, o aprendiz pode intervir facilmente no discurso do tutor, e a monitoração deve ser realizada, tanto quanto seja possível, em segundo plano para não ocupar o aluno com questionários excessivos.

Módulo do Domínio: é a representação do conhecimento de um especialista num domínio determinado, sendo responsável por descrever o conteúdo que o sistema tutor inteligente está configurado para ensinar. Esse módulo também é chamado de base de conhecimento do domínio ou módulo especialista [5] e nele é definido o conteúdo instrucional que será utilizado tanto na apresentação, quanto na navegação do sistema.

Módulo do Estudante: é responsável por descrever o aluno, representando suas preferências, o nível de conhecimento, os objetivos, o histórico navegacional (por exemplo, links que foram acessados, quanto tempo gastou em uma página, a quantidade de dicas que foram solicitadas para a resolução de certo exercício), o histórico de desempenho e outros aspectos relevantes sobre o aprendiz que podem ser considerados para o processo de adaptação.

Módulo Pedagógico: é responsável pelo modo de apresentar a informação ao aprendiz. Ele possui as funções de elaborar as estratégias e táticas de ensino, além de deter o conhecimento sobre o conteúdo que será ensinado para o aprendiz e definir as formas de apresentar o material instrucional para ele.

As estratégias definem sobre como ensinar tal conhecimento, isto é, sobre como criar, a partir das informações de diagnósticos, a monitoração e a análise. Já as táticas de ensino constituem em apresentar adequadamente um determinado conteúdo ao aprendiz.

A característica fundamental de um sistema tutor inteligente é a sua capacidade de se adaptar a cada aluno que utiliza o sistema. Entretanto, para realizar a adaptação é necessário obter todas as informações possíveis sobre o aluno. Assim, isto se torna o principal problema no desenvolvimento de um STI. De fato, é importante que cada vez que o aprendiz interaja com o STI, este forneça uma representação do estado atual do conhecimento do aluno, a fim de selecionar o material a um nível adequado de detalhes ao aprendiz, propondo ou selecionando uma estratégia tutorial mais apropriada naquele momento [9].

III. Módulo do Estudante

A principal razão para construir o módulo do estudante é a de assegurar que o sistema tenha por princípio o conhecimento sobre cada aluno; desta forma, ele pode responder de forma eficaz para garantir o interesse dos alunos e promover a aprendizagem [5].

Nesse diapasão, vale destacar que esse módulo contém a representação do conhecimento e das habilidades cognitivas do aluno em um determinado momento, sendo que a presença desse módulo permite ao sistema tutor adaptar-se a cada estudante, individualizando a instrução [10]. Ele também armazena dados estáticos e dinâmicos a respeito do aprendiz, os quais serão importantes quando houver a necessidade de confirmar suposições sobre o conhecimento do discente [11].

Os dados dinâmicos referem-se ao desempenho do aluno de acordo com os exercícios realizados e o seu nível de conhecimento sobre determinado conteúdo, o qual pode se alterar ao longo do tempo. Enquanto isso, os dados estáticos referem-se aos dados do aluno que não são alterados tais como o nome, *login* para acessar ao sistema e outros dados pessoais.

A partir do módulo do estudante e do conteúdo a ser ensinado, o sistema tutor tem que ser capaz de inferir a melhor estratégia e tática de ensino a ser utilizada para auxiliar o aprendiz. Destarte, um módulo realista do estudante implica numa atualização dinâmica, à medida que o sistema avalia o desempenho do aprendiz [12].

A. Classificação do Módulo do Estudante

De acordo com os autores Freiberger [13] e Faria [12], o módulo do estudante pode ser classificado a partir dos critérios enunciados a seguir.

A **especialização** consiste na distinção entre a modelagem individualizada e de grupos de aprendizes. O modelo individual registra somente as informações pessoais referentes a um único aluno; no entanto, os modelos genéricos são utilizados em casos nos quais os alunos têm algumas características semelhantes. Em alguns casos são usados os dois modelos, ou seja, o sistema pode considerar as características individuais do aprendiz e as do grupo ao qual ele pertence.

A **modificabilidade** consiste na capacidade do módulo do estudante em se modificar, isto é, atualizar suas informações. Pode ser dinâmico ou estático. No modelo dinâmico, as alterações ocorrem de acordo com as atualizações das informações a respeito do aprendiz, enquanto nos modelos

estáticos os dados não se alteram durante toda a interação do aprendiz com o sistema.

A **extensão temporal** consiste em como será mantido o conhecimento sobre aluno ao longo do tempo. É baseado em informações de curto prazo, isto é, informações coletadas recentemente ou em informações de longo prazo por meio de processos de monitoramento do estudante que refletem suas características gerais.

O **método de uso** consiste em um modelo que pode ser explícito, isto é, descrito numa base de dados como, por exemplo, um questionário; ou implícito, em que o módulo do estudante é adquirido de maneira passiva, por meio do monitoramento de seu comportamento.

O **número de modelos** refere-se aos casos nos quais um módulo do estudante pode ser constituído por vários submodelos subordinados a certo modelo central que comporá o modelo final. Esse modelo é interessante em casos onde o módulo do domínio é muito complexo havendo então a necessidade da criação de um módulo do estudante para cada área do conhecimento de um determinado subdomínio. Dessa maneira, cada subdomínio seria colocado em um submodelo do estudante e assim cada submodelo do estudante guardaria seu conhecimento acerca de cada área do submodelo do domínio.

B. Características do Estudante

O módulo do estudante tem a função de representar as características mais importantes do aprendiz, que são: o nível de conhecimento, o objetivo, as experiências, a experiência de navegação e as preferências [13, 14]. Segundo Freiberger [13] as características do aprendiz podem ser descritas da seguinte maneira.

Conhecimento: descreve o conhecimento do aluno sobre certo conteúdo da base de conhecimento, sendo considerada a característica mais importante na construção do modelo do estudante.

Objetivos: refere-se aos objetivos do aprendiz, isto é, aos motivos pelos quais ele utiliza o sistema e o que deseja obter. Essa característica está mais relacionada com o que o sistema oferece do que com o próprio aluno.

Experiências: essa característica consiste nas experiências do aprendiz, ou seja, são conhecimentos prévios que o aluno possui que o auxilia em sua aprendizagem.

Experiência de Navegação: consiste no nível de familiaridade do aprendiz com a arquitetura do sistema. Pode influenciar tanto a adaptação da navegação, quanto a adaptação da apresentação.

Preferências: consiste nas preferências do aprendiz, como a cor, a fonte, o estilo de apresentação etc.

O nível de conhecimento do aluno é a principal característica que deve ser representada para que se possa ter a adaptação do conteúdo, apresentando a ele os materiais adequados ao seu nível de conhecimento. Logo, para que se possa extrair o nível de conhecimento do aluno, é necessário definir a técnica que será utilizada para realizar essa aquisição.

C. Técnicas de Aquisição de Conhecimento

As técnicas de aquisição do nível de conhecimento do aprendiz pelo módulo do estudante serão descritas a seguir, com base em Bugay [14] e Freiberger [13].

Passiva ou Ativa: essas técnicas consistem na participação ou não do aprendiz na aquisição de informações para a construção do módulo do estudante. Nas técnicas ativas há a interação direta com o aprendiz para a obtenção de informações. Enquanto isso, as técnicas passivas baseiam-se em observações do comportamento do aprendiz no sistema.

Automática ou Determinada pelo Aprendiz: essas técnicas estão relacionadas com o responsável por inicializar o módulo do estudante. As técnicas determinadas pelo aprendiz se referem àquelas em que o aluno resolve quando deve ser realizada a atualização do módulo. Nas técnicas automáticas, o sistema decide quando atualizar, não havendo, portanto, interferência do aprendiz.

Direta ou Indireta: as técnicas diretas consistem na atualização do módulo do estudante por meio de informações que são diretamente retornadas do aprendiz. E as técnicas indiretas se referem aos retornos indiretos do aprendiz, os quais são obtidos, geralmente, por meio das regras de inferências.

Explícita ou Implícita: essas técnicas dependem do tipo de retorno do aprendiz ao sistema. As técnicas explícitas são aquelas em que o aprendiz fornece os dados conscientemente, já às implícitas consistem na observação do comportamento do aprendiz sem que ele tenha consciência.

Lógica ou Plausível: as técnicas plausíveis necessitam da representação explícita da incerteza no módulo do estudante para que tais mecanismos possam manter a consistência dos dados. Para a manipulação dessas incertezas, podem-se aplicar modelos probabilísticos, enquanto as técnicas lógicas são bastante úteis em modelos de sobreposição.

***Online* ou *Offline*:** essas técnicas correspondem ao momento em que ocorre a aquisição dos dados do aprendiz no sistema. Normalmente a aquisição é feita durante a interação do aprendiz com o sistema, caracterizando uma técnica *online*; porém, no modelo de estereótipos, os dados podem caracterizar um aprendiz mesmo quando ele está *offline*.

D. Modelos de Descrição

A representação do conhecimento no módulo do estudante pode ser feita a partir de técnicas para a modelagem do conhecimento, conforme apresentado a seguir.

Modelo Diferencial: Nesse modelo, o conhecimento do aluno é comparado ao conhecimento de um especialista já definido no sistema. O modelo diferencial divide o conhecimento em duas classes: um é o conhecimento esperado que o aluno tenha, ou seja, o mesmo conhecimento de um especialista e o outro é o conhecimento de fato do aluno [11, 9]. Nesse modelo é comparado o desempenho do aluno com o de um especialista; desse modo, o que interessa para tal modelo é o desempenho do aluno [12, 15]. Os resultados obtidos a partir desse modelo podem fornecer hipóteses sobre o que o aluno está tendo dificuldade se comparado a um

especialista, podendo sugerir exercícios e conteúdos mais adequados ao estudante [13]. Na Figura 2 é ilustrado o modelo diferencial.

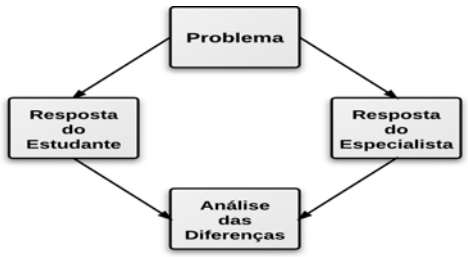


Fig. 2. Modelo Diferencial para o módulo do estudante.

Modelo de Sobreposição (*Overlay*): a cada conceito do domínio é atribuído um valor que representa o conhecimento do aluno sobre determinado conceito [9]. Em seguida, é realizada uma comparação do estado de conhecimento do aluno com o módulo do domínio, confrontando o nível de conhecimento do estudante inicialmente com o conhecimento de um especialista [10, 12]. O modelo de sobreposição assume que os erros (ou comportamentos anômalos) do aluno são sempre devidos à falta de alguma informação no domínio [11, 15]. Na Figura 3 é ilustrado o modelo de sobreposição.

Fig. 3. Modelo de sobreposição para o módulo do estudante.

Modelo de Perturbação (*Buggy*): também representa o conhecimento do aluno como um subconjunto do domínio, sendo semelhante ao modelo de sobreposição. Todavia, ele assume que os erros do aluno são decorrentes da concepção errônea de algum conceito ou da ausência dele no domínio [15]; por consequência, o conhecimento do especialista não é tido como verdade absoluta, isto é, no especialista pode haver conceitos incorretos [12, 9]. O modelo de perturbação considera que podem existir conceitos diferenciados sobre algum conceito, caracterizando uma intersecção entre conjuntos [11]. Na Figura 4 é ilustrado o modelo de perturbação, no qual além do conhecimento do especialista, expresso na base de domínio, existe também um catálogo com os erros mais comuns cometidos pelos estudantes.

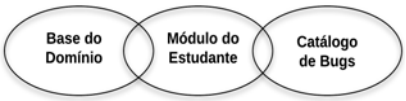


Fig. 4. Modelo de perturbação para o módulo do estudante.

Modelo de Estereótipos: nesse modelo os alunos são classificados por níveis de conhecimento, considerando que os membros que pertencem à mesma classe possuem as mesmas características [14, 10]. Essas classes podem se dividir, por exemplo, em iniciante, intermediário e avançado. Alguns problemas podem surgir ao utilizar essa técnica, como a dificuldade em enquadrar um aluno em um determinado grupo. Isto pode se dever ao fato dos estereótipos não estarem muito especializados, ou até mesmo pelo fato dos estereótipos serem bastante especializados e acabarem se tornando obsoletos. Devido a isso, os autores Jeremic e Devedžic [1] e Freiberger [13] sugerem o uso combinado do modelo de estereótipo e do modelo de sobreposição.

Modelo de Simulação: este possui um modelo procedural executável que simula um comportamento que tenha o mesmo desempenho do aluno em determinada base de conhecimento. Esse comportamento é uma predição do que o aluno poderia fazer para resolver à mesma tarefa. Com este tipo de representação é possível explicar alguns passos do aluno em direção à sua resposta ao problema, além da resposta propriamente dita [11].

Modelo de Crenças: esse modelo é definido como um conjunto de crenças que representa o grau de compreensão que o aluno possui sobre determinado conceito [11]. Esse conjunto de crenças pode ser submetido às revisões, pois o nível de conhecimento do aprendiz se alterará com o decorrer do tempo e como consequência disto as suposições iniciais do sistema tutor podem não estar mais corretas, causando alterações na interação entre o aprendiz e o sistema. Normalmente, esse modelo tem sido utilizado em STIs baseados em agentes, nos quais o sistema tutor e o aprendiz são caracterizados como dois agentes inteligentes que cooperam um com o outro. O modelo de crenças pode ser representado por meio de vários tipos de lógicas.

E. Inicialização do Módulo do Estudante

O processo de inicialização do módulo do estudante é realizado sempre que um aluno inicia uma interação com o STI [10]. Para isso há algumas opções como, usar informações disponíveis sobre o aprendiz, para classificá-lo em classes pré-definidas, realizar pré-testes, dentre outros [9, 15].

A inicialização do módulo do estudante pode ser feita a partir de duas metodologias que também podem ser combinadas, as quais serão descritas a seguir:

Sondagem Inicial – é uma técnica aplicada para ter informações sobre o aluno e seu nível de conhecimento sobre a base de conhecimento do STI [14]. Ela utiliza questionários e/ou formulários para levantar alguma informação sobre o aprendiz.

Valores Default – o uso do modelo de estereótipos pode ser utilizado para iniciar o módulo do estudante. Esta técnica classifica o aprendiz em uma determinada classe e usa as características desse estereótipo para iniciar o modelo [10].

F. Arquitetura do Módulo do Estudante

Para atender às necessidades do módulo do estudante, têm sido desenvolvidas arquiteturas que são subdivididas em três subcamadas, para armazenar os dados estáticos e dinâmicos dos alunos. Os dados estáticos consistem nas informações que não são alteradas, como o nome, o *e-mail*, *login*, o ID, ou seja, os dados pessoais do aluno. Os dados dinâmicos referem-se ao

desempenho do aluno obtido nas questões formuladas pelo sistema e, a partir disso, o sistema é capaz de interpretar o módulo do estudante.

Os autores Jeremic e Devedžic [1] propõem um módulo do estudante, ilustrado na Figura 5, composto pelas seguintes subcamadas:

Dados pessoais: Esses dados referem-se às características pessoais do aluno, como o seu número de identificação, nome, *e-mail*, dentre outros.

Dados de desempenho: Esses dados representam as características cognitivas e individuais do aluno e, ao longo prazo, podem representar as características gerais do aluno.

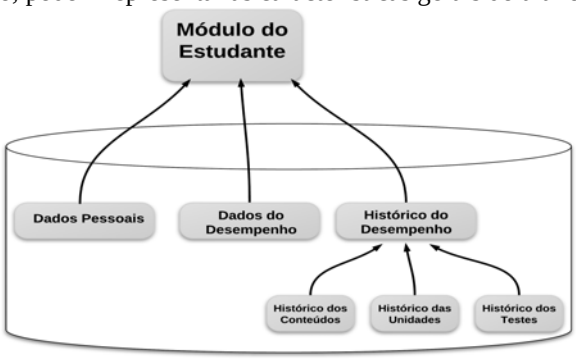


Fig.5 – Arquitetura do módulo do estudante segundo Jeremic e Devedžic [1]

Histórico de ensino: É responsável por manter o controle das ações que o aluno realizou durante o processo de aprendizagem. Pode-se subdividir em mais três subcamadas, que são:

– **Histórico do conteúdo:** armazena os conteúdos do domínio já aprendidos pelo aprendiz e o seu desempenho em todo o conteúdo.

– **Histórico da unidade:** armazena as unidades do conteúdo já aprendidas pelo estudante e o seu desempenho em toda a unidade.

– Histórico do teste: armazena os testes da unidade já aprendidos e o desempenho do aluno no teste.

G.Processo de Modelagem do Estudante

O processo de modelagem do estudante consiste em definir o que deve ser representado e como deve ser repassado para o aprendiz. Além disso, refere-se à coleta de dados necessários para a criação do modelo e as técnicas escolhidas para a representação das informações que foram coletadas. De acordo com Freiberger [13], os processos de modelagem do módulo do estudante consistem nas seguintes etapas:

1. **Identificação da finalidade da utilização do módulo:** essa etapa refere-se à identificação dos serviços que devem ser executadas pelo sistema, de acordo com os objetivos dos aprendizes que irão utilizar o sistema.

2. **Propriedades do módulo**: as propriedades do modelo podem ser individuais ou em grupo, a extensão temporal pode ser de curto ou em longo prazo.

3. **Formato de representação do conhecimento do modelo:** essa etapa consiste na definição da técnica pela qual os dados coletados serão manipulados, por exemplo, representação baseada em regras, lógica difusa, redes semânticas, redes bayesianas, etc.

4. **Escolha dos dados de coleta:** essa etapa consiste nos dados que deverão ser coletados sobre o aluno, os quais possuem informações importantes para determinar o nível de conhecimento do aprendiz.

5. **Coleta de dados:** essa etapa refere à coleta de dados na prática, no qual se obtém uma representação explícita dos dados obtidos.

IV. Conceitos de Redes Bayesianas

As redes bayesianas (RBs) são baseadas na teoria da probabilidade, a qual possibilita a atualização de crenças, isto é, de probabilidades de determinado fato ocorrer baseando-se em retornos que são obtidos sobre tais crenças. Estas redes permitem que se represente a estrutura intuitiva de certo conhecimento ou raciocínio incerto [13].

O raciocínio incerto é definido como um enunciado que está bem definido, mas não se conhece o seu valor verdadeiro, por exemplo, *"Irei jogar um dado e sairá o número 6"*. É fato que ao jogarmos um dado, algum número será obtido, porém não se sabe se sairá o número 6 de verdade.

O raciocínio sobre incertezas é uma das principais vantagens do raciocínio probabilístico sobre o raciocínio lógico. O fato é que as RBs podem tomar decisões mesmo quando não existem informações suficientes para se provar que uma ação funciona. Por isso, o módulo do estudante, que necessita tratar das incertezas dos estados cognitivos do aluno, irá utilizar as técnicas de raciocínio probabilístico.

Nesse entremeio, nota-se que as RBs têm sido bastante utilizadas para realizar o tratamento de incertezas no módulo do estudante, pois elas são extremamente eficientes quando se trata de probabilidades condicionais [10, 4].

Para entender os aspectos referentes à técnica supracitada, serão explicadas, nas próximas subseções, o Teorema de Bayes e a técnica das Redes Bayesianas.

A. Teorema de Bayes

O teorema de Bayes é utilizado para a realização de propagação de evidências nas redes bayesianas e é dado pela equação a seguir:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \times P(A)}{P(B)} \quad (1)$$

Aqui:

- P(A): é a probabilidade a priori de A;
- P(B): é o fator de normalização;
- P(A|B): é a probabilidade a posteriori de A dado B;
- P(B|A): é a verossimilhança de B.

O teorema de Bayes é essencial no cálculo de probabilidades condicionais, em que se adota um método quantitativo para a análise de probabilidades conhecidas conforme um novo dado amostral. É um teorema importante para a verificação de um conjunto de informações de uma conclusão objetiva, dada numericamente [10].

B. Aplicando as Redes Bayesianas

Para ilustrar a construção e o funcionamento de uma rede bayesiana, considere o seguinte exemplo apresentado por Russel e Norvig [22]: *"Uma casa possui um novo alarme contra assaltantes. Este alarme é bastante confiável na detecção de um roubo, porém, ele também dispara quando ocorre um pequeno terremoto. Existem dois vizinhos, João e Maria, os quais se disponibilizaram a telefonar para o dono da casa caso o alarme dispare. João sempre liga quando ouve o alarme disparar, porém algumas vezes ele confunde o alarme com o toque do telefone e também liga nestes casos. Já a Maria gosta de ouvir música alta e às vezes não ouve o alarme disparar, e assim não ligando nestes casos"*.

O domínio do problema pode ser ilustrado como mostrado na Figura 6.

O fato do João e Maria ligarem é condicionalmente independente, dado o alarme, e também são independentes do roubo e do terremoto.

As probabilidades são representadas por meio de tabelas de probabilidades condicionais (TPCs). A probabilidade em cada linha corresponde a um caso condicional, isto é, uma probabilidade para cada combinação dos valores do nodo pai. Para cada *n* pais, a TPC de uma variável booleana terá 2^n entradas. Se o nodo não tiver pai, a TPC terá a sua probabilidade a priori.

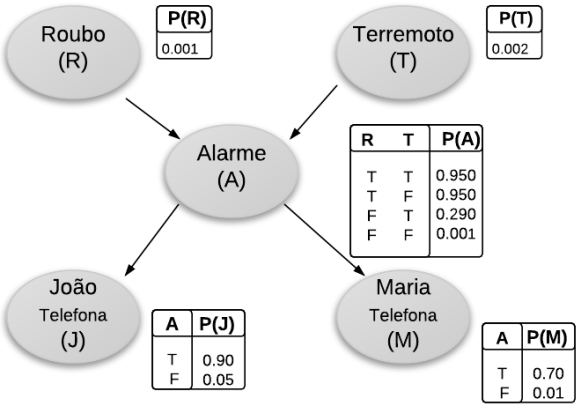


Fig. 6. Rede bayesiana para o exemplo do alarme.

Para a construção da rede bayesiana é importante que se siga os seguintes passos:

1. Definir as variáveis que representaram o domínio do sistema;
2. Definir a ordenação das variáveis, enquanto restarem variáveis no conjunto;
3. Selecionar uma variável X_i e incluir um nó à rede;
4. Definir os pais de X_i (pai(X_i)) como algum conjunto mínimo de nós que já estão na rede, tal que a propriedade de independência condicional seja satisfeita;
5. Criar a tabela de probabilidades condicionais de X_i.

C. Inferência em Redes Bayesianas

A tarefa básica de uma inferência probabilística é computar a distribuição de probabilidades a posteriori para um conjunto de variáveis de consulta, dada uma determinada evidência, isto é, o sistema irá computar P(evento|evidência) [12]. A inferência nas redes bayesianas é feita por meio de cálculos probabilísticos utilizando informações presentes nas redes. É um dos procedimentos mais importantes para construir a distribuição de probabilidades a posteriori para os objetivos de interesses, dadas as probabilidades a priori.

Luna [17] e Nunes [10] ressaltam que há três tipos diferentes de algoritmos de inferências, a saber:

Método Exato: faz o cálculo de probabilidades a posteriori por meio de somatórios e combinações de valores, verificando se há outros erros além do arredondamento no cálculo. Há diversos tipos de métodos exatos, como a propagação de evidência, a eliminação de variáveis, a propagação em poliárvores, a propagação em redes multiconectadas, a enumeração e a árvore de junção.

Método Aproximado: usa diferentes técnicas de simulação para que possa ter valores aproximados das probabilidades; às vezes são aplicadas em situações nas quais os algoritmos exatos não são úteis ou existe um alto custo computacional. Os métodos aproximados podem ser classificados em algoritmos de simulação estocástica, métodos de simplificação de modelos, métodos baseados em busca e propagação de crença em ciclos.

Método Simbólico: levam as soluções que se apresentam como funções dos parâmetros, em que as respostas gerais as vezes podem ser dadas de modo simbólico em funções de parâmetros.

D. Aprendizagem de Redes Bayesianas

A aprendizagem de redes bayesianas refere-se a induzir, a partir de uma amostra de dados, as distribuições de todas as probabilidades identificando as relações de dependência entre as variáveis do domínio. A aprendizagem de redes bayesianas pode ser classificada em dois tipos: aprendizagem da estrutura e aprendizagem de parâmetros [10, 17].

Aprendizagem de Estrutura: é uma abordagem do tipo indutiva na qual a partir dos dados disponíveis, deseja-se gerar uma estrutura RB em que a distribuição conjunta expressa melhor a verdadeira distribuição dos objetos. É um processo considerado complexo que ainda não esta completamente resolvida, devido sua indução automática, que enfrenta um problema de explosão combinatória.

Aprendizagem de Parâmetros: é utilizada quando a estrutura de uma rede é conhecida e os atributos numéricos ainda não foram identificados e há a possibilidade de utilizar técnicas para aprender as distribuições de probabilidade conforme os dados disponíveis.

V. Lógica Difusa

A Lógica Difusa foi criada por Lotfi A. Zadeh em 1965, baseadas na teoria dos conjuntos [18, 19], para auxiliar as tomadas decisões do sistema nos casos em que o conhecimento é impreciso, e principalmente quando se tem que manipular uma grande quantidade de informações vagas e incertas. Os conjuntos difusos têm a responsabilidade de aproximar o raciocínio humano à maneira de interpretações do sistema [18]. A lógica difusa é um tipo evoluído da lógica booleana, em que a função de pertinência é bivalente.

A principal propriedade da lógica difusa consiste na função de pertinência $\mu_{A(x)}$ em que se têm todos os valores pertencentes ao intervalo [0,1] e não só 0 ou 1. Isto é, um elemento tem a possibilidade de ser membro de um conjunto, indicado por um valor fracionário pertencente ao intervalo numérico.

Nos conjuntos booleanos há uma diferença muito grande entre os limites dos elementos que pertencem aos mesmos conjuntos e entre os elementos não pertencentes. Em um conjunto difuso a transição entre o membro e o não membro está numa faixa gradual, sendo associado um grau entre 0, isto é, totalmente não membro e 1, totalmente membro [18].

A característica principal da lógica difusa é a capacidade de descrever em uma forma linguística os dados imprecisos, de maneira muito diferente de outras teorias [18], isto é, na lógica difusa existe a opção adicional de se empregar probabilidades linguísticas, por exemplo, provável, altamente provável, improvável, etc. Uma variável linguística é uma variável em que os valores são nomes de conjuntos difusos.

De acordo com Fachini [18] a utilização da lógica difusa apresenta algumas vantagens em relação às outras técnicas de representação do conhecimento:

- A lógica difusa constitui-se em palavras e não em dados números, isto é, os valores verdades são representados como, muito bom, bom, rápido, lento e etc.
- Utiliza probabilidades linguísticas, em que são interpretadas como valores difusos e manipuladas pela aritmética. Manipula todos os valores entre o intervalo [0,1], tendo estes somente como limites.

A. Conjuntos Difusos

Um conjunto difuso é um conjunto de objetos com graus de pertinências contínuos, em que cada objeto "X" tem um grau de pertinência, o qual está entre 0 e 1. Esse conjunto é constituído por uma ou mais classes que são identificadas pelas variáveis linguísticas e classificadas por suas funções de pertinências [18].

Um conjunto difuso "A" em um universo X é definido por uma função característica, a qual pode representar diversos graus de pertinências para os objetos de um dado conjunto difuso [20], em que pode ser representado pela equação 2:

$$\mu(x): X \rightarrow [0, 1] \qquad (2)$$

Aqui:

- $\mu(x)$: descreve o grau com que x pertence a "A" e representa a extensão com que x se em caixa na classe representada por A.

B. Variáveis Linguísticas

As variáveis linguísticas são variáveis no qual os valores são nomes de conjuntos difusos, por exemplo, a nota de um aluno em determinado exercício pode ser uma variável linguística assumindo valores como, baixa, média e alta [18]. Estes valores são representados por meio de conjuntos difusos, representados por funções de pertinência, é ilustrado na Figura 7 um exemplo de uma função pertinente para uma variável linguística chamada "nota".

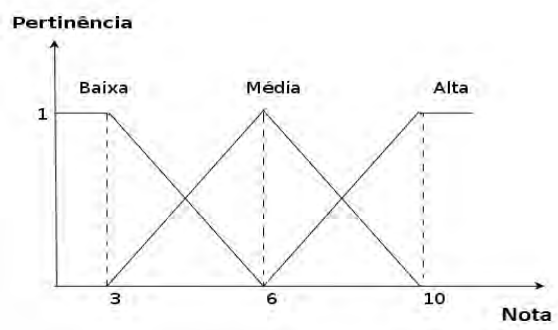


Fig. 7 – Função de pertinência para a variável linguística "nota"

Os valores de uma variável linguística podem ser termos de uma determinada linguagem, formada por termos primários (alto, baixo, pequeno, etc.), de conectivos lógicos (negação, e, ou), de modificadores (muito, pouco, extremante) e de delimitadores (por exemplo, os parênteses) [18]. As variáveis linguísticas são muito importantes para que se possa oferecer de maneira sistemática uma descrição aproximada de acontecimento complexa ou mal definida [20].

C. Processos para a criação de um sistema difuso

Basicamente são três as etapas envolvidas na construção de um sistema difuso (veja a Figura 8):

Fuzzificação: A fuzzificação dos dados indica que existe atribuição de valores linguísticos, isto é, descrição vagas ou qualitativas, definidas por funções de pertinência às variáveis de entrada. Esta etapa consiste no pré-processamento dos dados numéricos (os dados de entrada) passados pela interação do aluno com o sistema tutor em valores difuso. Cada variável difuso criada irá representar um atributo do aluno, assim será possível configurar as funções de pertinência para cada valor difuso [21].

De acordo com Gomide et al. [20] e com Sandri e Correa [21], a interface de fuzzificação é responsável por identificar os valores das variáveis de entrada e que descrevem o estado do sistema. Logo, esses valores são "fuzzificados", com a transformação das variáveis de entradas em conjuntos difusos para que se transformem instâncias de variáveis linguísticas.

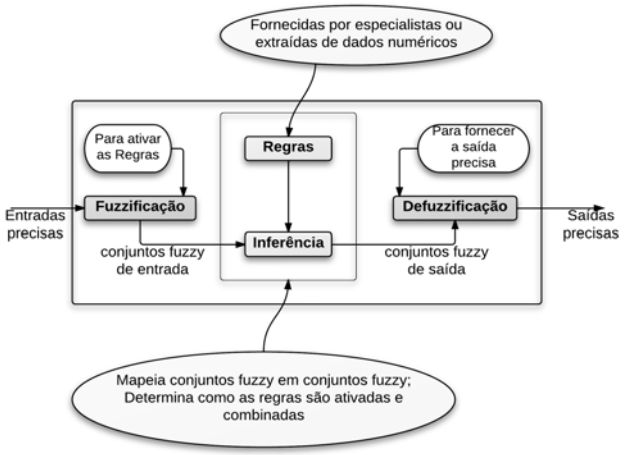


Figura 8 – Arquitetura de um sistema difuso

Procedimento de Inferência: No procedimento de inferência, as proposições (regras) são geradas e depois analisadas simultaneamente ao processo de inferência. O principal mecanismo do modelo difuso são as regras, pois elas têm a função de relacionar as variáveis do modelo e as regiões difusas.

Há dois tipos de regras:

- Regras Condicionais: Se A é B então X é Y;
- Regras Não-Condicionais: A é B.

O processo de inferência consiste em quatro etapas, que segundo Sandri e Correa [21] são:

1. Verificar o grau de compatibilidade entre os fatos e as cláusulas das regras;
2. Determinar o grau de compatibilidade global de cada regra;
3. Determinar o valor do resultado em função do grau de compatibilidade da regra com as informações e a ação de controle e analise durante todo o tempo na conclusão;
4. Agregar os valores obtidos como resultado nas diversas regras, tendo-se uma ação de controle global.
5. O processo de inferência pode ocorrer de duas maneiras, pela agregação ou pela composição.
6. O processo de agregação calcula a importância de certa proposição para o problema corrente. O processo de composição calcula a influência de cada proposição nas variáveis de saída.

Base de Conhecimento: Uma vez obtidas às entradas difusas, o modelo deverá realizar as inferências necessárias para gerar as saídas dos conjuntos difusos. Esse processo consiste na aplicação de regras que simulam o conhecimento do especialista.

Conforme definido por Sandri e Correa [21], a base de conhecimento refere-se ao conhecimento de determinado domínio e uma base de regras, de forma a classificar as estratégias de controle e seus objetivos. No domínio ficam guardadas as especificações sobre discretização e normalização do universo de discurso e as especificações de funções de pertinência dos dados difusos [20]. A base de regras é formada por premissas do tipo [21]:

Se <*premissa*> então <*conclusão*>

Segundo Sandri e Correa [21] as proposições são ligadas por meio dos conectivos lógicos como, os operadores de conjunção (e) e de disjunção (ou). Normalmente, as premissas possuem a forma de um sistema de múltiplas entradas e saídas, porém podem ser alteradas em diversos sistemas com múltiplas entradas e uma saída.

Defuzzificação: Na etapa de defuzzificação ocorre a mudança dos valores difusos, obtidos na etapa de fuzzificação, em valores discretos (ou crisp). A defuzzificação consiste na identificação da informação das variáveis de saída num correspondente do universo de discurso e com a ação de controle difuso inferida evoluindo-se numa ação de controle não difuso.

As etapas para a realização da desfuzzificação frequentemente utilizados de acordo com Sandri e Correa [21] são:

1. Primeiro Máximo (SOM): nesta etapa encontra-se o valor de saída por meio do grau de pertinência da distribuição da ação de controle no ponto que alcança o primeiro valor máximo;
2. Método da Média dos Máximos (MOM): nesta etapa identifica-se o ponto médio entre os dados que têm o maior grau de pertinência inferido pelas proposições;
3. Métodos do Centro da Área (COA): nesta etapa o principal objetivo é o valor de saída da função de distribuição de possibilidade da ação de controle.

VI. Procedimento Metodológico

Para a execução do trabalho descrito neste artigo, serão realizados os seguintes procedimentos:

1. Modelagem da Rede Bayesiana do conhecimento do especialista

Nesta primeira etapa será feito um estudo sobre o conteúdo da disciplina Estrutura de Dados 1. Esse estudo servirá para que possa ser realizada a modelagem do domínio de forma correta, isto é, respeitando as relações de pré-requisitos de um conteúdo para outro. Será gerado um grafo direcionado acíclico com os conteúdos da disciplina ED1.

2. Implementação da Rede Bayesiana

A implementação da modelagem do conhecimento do especialista se dará por meio de uma rede bayesiana que respeitará as condições do domínio da disciplina de Estrutura de Dados 1. Pelo fato da estrutura da rede já ser conhecida, apenas os parâmetros necessitam ser aprendidas.

3. Realização de testes na Rede Bayesiana

Após a implementação do módulo da rede bayesiana serão realizados testes para analisar se as inter-relações entre os conteúdos foram adequadamente modeladas. Serão realizadas também simulações na rede bayesiana visando explorar a conectividade do seu grafo subjacente.

4. Especificação da arquitetura do módulo do estudante usando rede bayesiana

Nessa etapa será especificada uma arquitetura do módulo do estudante capaz de identificar os diferentes níveis de conhecimento dos aprendizes proposta por Jeremic e Devedžic [1], considerando seus históricos de desempenho e os seus estilos cognitivos. Essa arquitetura deverá ser capaz de:

- Analisar as respostas fornecidas pelo aluno considerando faixa de acertos e de erros em um determinado exercício respondido;
- Analisar o tempo que o aluno gasta para responder a determinado exercício;
- Informar qual tipo de exercício é mais indicado para o aluno de acordo com seu estilo de aprendizagem;
- Fornecer dados suficientes para que o módulo pedagógico possa montar a melhor estratégia de ensino para o aluno.

5. Implementação da arquitetura do módulo do estudante

usando rede bayesiana

A implementação deste módulo seguirá as seguintes sub-etapas:

(a) Propriedades do módulo do estudante

O módulo proposto terá as seguintes características:

- A especialização do módulo será tanto individual, quanto por grupo. Primeiramente serão consideradas as características em grupo através do modelo genérico e a partir deste será realizada a individualização do aprendiz.
- A capacidade de modificabilidade do estudante será dinâmica, pois seu nível de conhecimento deve ser alterado a cada interação com o sistema.
- A extensão temporal do sistema será tanto de curto quanto em longo prazo, isto é, será baseado em informações recentemente coletadas e atualizadas e em informações baseadas em monitoramento.
- O método de uso será tanto explícito quanto implícito, isto é, o método explícito será descrito numa base de dados, por exemplo, um questionário e o método implícito, em que o módulo do estudante é obtido de forma passiva por meio do monitoramento de seu comportamento.

(b) Inicialização do módulo

A inicialização do módulo do estudante será feita primeiramente por meio de valores default e depois para a identificação do nível de conhecimento do aluno será utilizado à sondagem inicial, com um pequeno questionário;

(c) Dados a serem coletados pelo módulo

Para o módulo tratado os dados a serem coletados serão os dados pessoais cadastrados ao efetuar pela primeira vez uma interação com sistema e as respostas fornecidas ao responder as questões que representarão o conhecimento do aluno;

(d) Quantificação dos valores dos atributos

Para a quantificação dos valores dos atributos das características de conhecimento e experiência do aprendiz será utilizado o modelo contínuo, sendo que, dependendo da resposta dos exercícios práticos deve se considerar uma determinada faixa de acerto;

(e) Coleta dos dados

Serão utilizadas as técnicas de aquisição direta e indireta para a coleta de dados no módulo do estudante. O modo direto será aplicado nos questionários e nos exercícios práticos. Já o modo indireto será aplicado, por exemplo, na contagem do tempo gasto do aluno responder determinado exercício; na contagem das vezes nas quais o aluno solicita dicas; para perceber se o aluno compreende melhor com exercícios usando recursos multimídia como animações e vídeos; ou quando possuem gráficos, ou até mesmo textos explicativos, assim identificando o estilo de aprendizagem do discente. Todo o modo de aquisição das informações do estudante será definido *online*, ou seja, durante a interação do estudante com o sistema.

(f) Representação e atualização do conhecimento do aprendiz no modelo do estudante

A representação e a atualização do conhecimento do estudante serão feita por meio da rede bayesiana modelada anteriormente.

6. Aplicação do módulo do estudante usando as redes bayesianas
7. Análise dos resultados obtidos no item 6

A coleta dos dados para a tabulação será realizada de duas maneiras:

- Através dos dados disponibilizados pelo sistema;
- E através de consultas SQL realizadas diretamente no banco de dados que registrou todas as transações.

8. Modelagem difusa do conhecimento do especialista

Nesta etapa será modelado o conhecimento do especialista utilizando lógica difusa, não será necessário fazer um estudo sobre a disciplina de ED1, já realizado no item 1. A identificação das variáveis linguísticas e a definição das regras difusas deve respeitar as dependências e relações de pré-requisitos. As sub-etapas desta fase consistem em:

(a) Modelagem das variáveis linguísticas – após ter identificado as variáveis linguísticas é necessário determinar para cada variável seu universo de discurso, a partição do conjunto de termos e os respectivos conjuntos difusos.

(b) Entradas – as entradas do modelo difuso serão a taxa de acertos e erros em testes, quantidade de acessos e tempo na leitura do material instrucional, tempo para execução dos testes (por questão e total), tentativas em acertar os exercícios, assiduidade em acessar o ambiente, nível de dificuldade, complexidade e importância das questões.

(c) Saídas – as saídas do modelo difuso serão: a aprovação, o desempenho, recomendações para o aluno (acessar determinado material, fazer exercícios), habilidade, estilo de aprendizado, grau de colaboração e proveito nas atividades.

(d) Fuzzificação – esta fase será responsável pela transformação das entradas discretas em entradas difusas.

(e) Base de Regras – depois de obtidas as entradas difusas serão necessárias realizar inferências para gerar as saídas dos conjuntos difusos. Esse processo consistirá na aplicação de regras que simulem o conhecimento do especialista.

(f) Defuzzificação – esta fase consistirá na transformação dos valores difusos, calculados anteriormente (etapa d), em valores discretos. Para isso, será utilizado o resultado da implicação obtida com cada regra e, através do método das médias ponderadas, será obtido um valor discreto.

9. Implementação do motor de inferências difusas

Nesta etapa será implementado o motor responsável pelas inferências. Serão realizados vários testes para se certificar se as inferências realizadas por este sistema estão corretas.

10. Realização de testes no modelo difuso

Após a implementação do modelo difuso serão realizados testes para analisar se a base de regras e as variáveis linguísticas estão respeitando as inter-relações entre os conteúdos do domínio. Serão realizadas também simulações no modelo difuso visando explorar as entradas e verificando se as saídas estão corretas.

11. Especificação e implementação da arquitetura do módulo do estudante usando o modelo difuso

Arquitetura que será utilizada para o módulo do estudante

será a mesma apresentada nos itens 4 e 5. Logo, terá uma implementação semelhante, diferenciando apenas na forma de representação e na atualização do conhecimento do estudante que será por meio do modelo difuso.

12. Aplicação do módulo do estudante usando o modelo difuso

Após a implementação do módulo serão realizados alguns pequenos testes para certificar-se que está funcionando corretamente. A validação deste módulo será realizado via os mesmos experimentos práticos citados no item 6. Os dois módulos do estudante serão submetidos aos mesmos conjuntos de testes para que futuras comparações possam ser feitas entre eles. Ao final de cada teste será registrado o tempo de atualização do modelo cognitivo utilizando o modelo difuso, a capacidade do sistema em identificar o nível de conhecimento do aluno e suas dificuldades ou facilidades no aprendizado de determinado conteúdo e serão gerados gráficos e tabelas de desempenho do módulo do estudante. Também serão geradas tabelas estatísticas com os dados do questionário aplicado aos alunos para futuras comparações.

13. Análise dos resultados obtidos no item 7

A coleta dos dados para a tabulação será realizada de duas maneiras:

- Por meio dos dados disponibilizados pelo sistema;
- E por meio de consultas SQL realizadas diretamente no banco de dados que registrou todas as transações.

14. Comparação entre as análises obtidas nos itens 7 e 8

Nesta etapa serão analisados os resultados dos itens 7 e 8, contrastando os gráficos e as estatísticas obtidas nos testes dos sistemas e nos questionários aplicados ao mesmo grupo de alunos que utilizaram os sistemas. De posse dos dados e dos registros dos experimentos, serão organizadas novas tabulações e novos dados estatísticos.

15. Discussão sobre as vantagens e desvantagens da utilização do módulo do estudante utilizando as Redes Bayesianas e do módulo do estudante utilizando a lógica difusa.
16. Comparação e análise do desempenho dos alunos que utilizaram os sistemas tutores

Nesta etapa será analisado o desempenho dos alunos que utilizaram os sistemas tutores inteligentes, dentro da amostra de alunos que utilizaram os sistemas serão analisados:

- A quantidade de repetentes;
- A quantidade de homens;
- A quantidade de mulheres;
- A quantidade que trabalham;
- A quantidade que já possui experiência prévia com programação.

Depois da análise desses grupos será feito uma comparação do desempenho entre eles e serão observados os fatos que podem influenciar no aprendizado dos alunos. Também será analisado como foi que os alunos utilizaram o sistema, por exemplo:

- Acessos em horários extraclasses;
- Acesso aos materiais de referências;
- Acesso aos materiais complementares;
- Quantidade de exercícios realizados;
- Notas nos exercícios.

Assim, poderá ser analisado o quanto esses fatos auxiliarão os alunos na melhoria de seus desempenhos. E com esses dados serão realizadas análises estatísticas com o desempenho dos alunos para fins comparativos. A primeira comparação será entre o desempenho dos alunos do mesmo período que utilizaram o sistema e os alunos que não utilizaram. E a segunda comparação será feita entre os alunos que utilizaram o sistema e os alunos dos períodos anteriores que não utilizaram.

17. Discussão sobre as vantagens e desvantagens da utilização do Sistema Tutor Inteligente na disciplina de Estrutura Dados 1.

VII. Desenvolvimento

Este projeto encontra-se em andamento e já possui um protótipo do modelo do estudante em funcionamento num STI chamado e-duca.

O e-duca é um sistema tutor inteligente para *web* desenvolvido por alunos da Faculdade de Computação da Universidade Federal de Uberlândia, para auxiliar o ensino das disciplinas Introdução à Programação e Estrutura de Dados.

O modelo do estudante utiliza a EBayes, uma rede bayesiana desenvolvida por Fabio Gagliardi Cozman em 1999, hoje professor da Universidade de São Paulo.

A implementação do modelo do estudante está sendo realizada por meio da linguagem de programação functional Clojure. Esta linguagem foi escolhida pelo fato de executar sobre a máquina virtual Java e ter a possibilidade de incorporar códigos escritos em Java.

Clojure tornou possível o acoplamento do modelo do estudante desenvolvido em Clojure à biblioteca EBayes desenvolvida em Java. A linguagem tornou possível a incorporação da biblioteca jFuzzyLogic, também desenvolvida em Java, ao módulo pedagógico do e-duca, disponibilizando assim um motor de inferências difusas para o sistema.

O código-fonte do projeto e-duca encontra-se disponível como código aberto a partir do endereço: https://github.com/pablohenrique/ILS/tree/development.

VIII. Conclusões

Diante do que foi apresentado na literatura, mesmo não tendo resultados concretos, acredita-se que usar as Redes Bayesianas para a representação e atualização do estado de conhecimento do aluno dentro do sistema tutor inteligente tenha um desempenho melhor do que usar a Lógica Difusa.

Não se sabe ainda quais das técnicas terão melhor desempenho no módulo do estudante. Após o término deste projeto espera-se publicar outro artigo apresentando os resultados desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

[1] Z. Jeremic, and V. Devedžic, “Student modeling in design pattern ITS” in *Lecture Notes in Computer Science*, v. 3213/2004, p. 299–305, 2004. Disponível em: http://zoranjeremic.org/publications/Student%20Modeling%20in%20Design%20Pattern%20ITS.pdf. Acesso em: 29 jul. 2012.

[2] Z. Jeremic, J. Jovanovic, and D. Gaševi, “Student modeling and assessment in intelligent tutoring of software patterns,” in *Expert Systems with Applications*. Disponível em: http://www.deepdyve.com/lp/elsevier/student-modeling-and-assessment-in-intelligent-tutoring-of-software-ChLXH0mmSz. Acesso em: 22 maio 2012.

[3] M. H. F. Zarandi, et al. “*A fuzzy expert system architecture for intelligent tutoring systems*: A cognitive mapping approach,” in *Journal of Intelligent Learning Systems and Applications*, p. 29–40, 2012. Disponível em: https://journaldatabase.org/articles/fuzzy_expert_system_architecture_for.html. Acesso em: 06 jul. 2012.

[4] S. F. Lima, *Um Modelo de Estudante baseado em Redes Bayesianas para o Estudo de Fundamentos de Orientação a Objetos*. Mestrado em Engenharia Elétrica, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2010. Disponível em: http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=191557. Acesso em: 20 mai. 2012.

[5] B. P. Woolf, *Building Intelligent Interactive Tutors*. 2. ed. University of Massachusetts, Amherst: Morgan Kaufmann Publishers, 2009. 467 p.

[6] C. Conati, A. Gertner, and K. Vanlehn, “Using bayesian networks to manage uncertainty in student modeling,” in *Journal of User Modeling and User-Adapted Interaction*, v. 12, p. 371–417, 2002. Disponível em: http://www.public.asu.edu/~kvanlehn/Stringent/PDF/02UMUAI_CC_AG_KVL.pdf. Acesso em: 26 jul. 2012.

[7] D. G. Fowler, “A model for designing intelligent tutoring systems,” in *Journal of Medical Systems*, v. 15, p. 47–63, 1991. Disponível em: http://www.springerlink.com/content/g87m867733g48111. Acesso em: 6 jul. 2012.

[8] Z. Jeremic, “Modeling and diagnosing of student knowledge in intelligent tutoring systems” presented at the *International Conference on Informatics*, p. 207–209, 2008. Disponível em: http://ebookbrowse.com/modeling-and-diagnosing-of-student-knowledge-in-intelligent-tutoring-systems-jeremic. Acesso em: 29 maio 2012.

[9] M. Orquera, et al. *Estudio de las Redes Bayesianas y Razonamiento aproximado para el Modelado del Alumno en los Sistemas Inteligentes Educativos*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidad Tecnica del Norte, 2011. Disponível em: http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/618. Acesso em: 22 maio 2012.

[10] T. Nunes, *Ambiente Inteligente de Apendizagem*: uma proposta baseada em Hipermídia Adaptativa e Redes Bayesianas. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade do Vale do Itajaí, São José, 2007. Disponível em: http://siaibib01.univali.br/pdf/Tanara%20Nunes.pdf. Acesso em: 28 jul. 2012.

[11] J. J. Z. Gavidia, and L. C. V. Andrade, *Sistemas tutores inteligentes*. Disponível em: http://www.cos.ufrj.br/~ines/courses/cos740/leila/cos740/STImono.pdf. Acesso em: 6 jul. 2012.

[12] L. F. R. Faria, *Treino e Apoio a Operadores de Centros de Controlo e Condução de Redes Elétricas*: uma abordagem baseada em conhecimento e tutores inteligentes. Doutorado em Engenharia Eletrotécnica, Universidade do Porto, jan. 2002. Disponível em: http://www.gecad.isep.ipp.pt/ies/Entrada/Teses/Dout/Luiz.pdf. Acesso em: 26 jul. 2012.

[13] P. H. Freiberger, *Um Modelo do Usuário para a Adaptação de um Ambiente de Avaliação de E-learning*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2007. Disponível em: http://www.pergamum.udesc.br/dados-bu/000000/000000000008/000008A2.pdf. Acesso em: 15 jul. 2012.

[14] E. L. Bugay, *O Modelo Aham-Mi*: modelo de hipermídia adaptativa utilizando inteligências múltiplas. Doutorado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, mar. 2006. Disponível em: http://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/14355/225285.pdf?sequence=1. Acesso em: 9 maio 2012.

[15] E. M. Valldeperas, *Sistema bayesiano para modelado del alumno*. Doutorado, Universidad de Málaga, Málaga, maio 2000. Disponível em: http://www.lcc.uma.es/~eva/investigacion/SBMA.pdf. Acesso em: 26 jul. 2012.

[16] C. L. V. Oliveira, *AutoExplC Sistema Tutor Inteligente para auxílio ao Ensino da Linguagem “C” Baseado na Aprendizagem por Auto-Explicação de Exemplos*. Mestrado em Sistemas de Computação, PUC-Campinas, Campinas, 2005. Disponível em: http://www.profclaudio.com.br/arquivos/auto-explC-v7.pdf. Acesso em: 9 maio 2012.

[17] J. E. O. Luna, *Algoritmos EM para Aprendizagem de Redes Bayesianas a partir de Dados Incompletos*. Mestrado em Ciência da Computação, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Julho 2004. Disponível em: http://www.dct.ufms.br/mestrado/dissertacoes/2004/jose_eduardo.pdf. Acesso em: 29 mai. 2012.

[18] S. S. Fachini, *Modelagem de um Sistema Especialista para o Processo de Seleção de Pessoal: Um enfoque à aplicação da Lógica Fuzzy*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade do Itajaí, Rio do Sul - SC, 2003. Disponível em: http://pt.scribd.com/doc/108633562/036-2003-Sidney-Fachini. Acesso em: 18 set. 2012.

[19] C. R. T. Pereira, *Sistema de Tomada de Decisão para compra e venda de Ativos Financeiros utilizando Lógica Fuzzy*. Mestrado em Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3142/tde-06112008-104532/pt-br.php. Acesso em: 18 set. 2012.

[20] F. A. C. G. Gudwin, and R. Tanscheit, Conceitos fundamentais da teoria de conjuntos fuzzy, lógica fuzzy e aplicações. *proceedings of the 6th IFSA Congress -Tutorials*, p. p. 1–38, 1995. Disponível em: ftp://ftp.dca.fee.unicamp.br/pub/docs/gudwin/publications/ifsa95.pdf. Acesso em: 26 set. 2012.

[21] S. Sandri, and C. Correa, “Lógica nebulosa”. V Escola de Redes Neurais, p. p. 73–90, jul. 1999. Disponível em: http://raquel.ele.ita.cta.br/cnrn/minicursos-5ern/log-neb.pdf. Acesso em: 24 set. 2012.

[22] S. J. Russell, and P. Norvig, *Inteligência Artificial*. Rio de Janeiro: Campus 2004. 1021 p. ISBN 8535211772.

Sistema de Emulação de Falhas do Tipo *Single Event Upset* (SEU) para Sistemas Microcontrolados

Thalles Hermes Reis Gomes
Universidade Federal de Minas Gerais
thalleshrg@gmail.com

Ricardo de Oliveira Duarte
Universidade Federal de Minas Gerais
ricardoduarte@ufmg.br

Fernando Esquírio Torres
Universidade Federal de Minas Gerais
esquirio@gmail.com

***Resumo*— Esse artigo trata da emulação de falhas do tipo SEU em sistemas embarcados e microcontrolados. Um sistema foi implementado com o objetivo de emular essas falhas. Testes são feitos a fim de validar o sistema desenvolvido, observar seus limites funcionais e de desempenho.**

***Palavras chave*— emulador de falhas, microcontrolados, microprocessados *Single Event Upset* (SEU), sistemas tolerantes a falhas.**

I. Introdução

Os dispositivos semicondutores utilizados em sistemas que vão funcionar em ambientes espaciais exigem implementação com técnicas de tolerância a falhas para atingirem suas funcionalidades com confiabilidade e disponibilidade em ambientes hostis. Normalmente os dispositivos implementados com tais técnicas necessitam ser validados e qualificados em Terra antes de serem submetidos a uma missão espacial.

As falhas que ocorrem nos dispositivos semicondutores podem ser classificadas em duas categorias de acordo com a sua temporariedade: transientes e permanentes. Esse trabalho considera as falhas transientes ocorridas nos dispositivos semicondutores, mais especificamente, aquelas que causam uma inversão de nível lógico em alguma célula de memória do dispositivo semicondutor, conhecida na literatura técnico-científica da área como *Single Event Upsets* (SEU) [1].

O objetivo principal desse trabalho é desenvolver um sistema de baixo custo que possa emular falhas do tipo SEU em sistemas microprocessados. Esse emulador permite realizar uma análise preliminar do comportamento desses sistemas em ambiente hostil, descartando a necessidade de testes que envolvam técnicas de radiação, que demandam uso de aceleradores de partículas, pessoal especializado e alto custo, ou enviá-lo ao ambiente espacial.

T. H. R. Gomes (thalleshrg@gmail.com), R. de O. Duarte (ricardoduarte@ufmg.br) e F. E. Torres (esquirio@gmail.com) fizeram este trabalho enquanto a serviço da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Av. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha - Belo Horizonte – MG – Brasil - 31270-901.

A principal motivação do trabalho é testar e validar um sistema de determinação de atitude (SDA) tolerante a falhas desenvolvido para um satélite de baixa órbita terrestre da Agência Espacial Brasileira (AEB). O sistema de determinação de atitude orienta o satélite quanto ao seu posicionamento em relação à Terra, fornecendo o deslocamento espacial necessário para que o satélite aponte para a posição desejada. Esse deslocamento espacial que o satélite deve realizar é chamado na literatura específica da área de Engenharia Aeroespacial de atitude [2]. O SDA desenvolvido tem como entrada a posição atual do satélite, fornecida por um magnetômetro, e como saída a atitude a ser tomada. Nesse caso, o sistema de emulação de falhas emula falhas do tipo SEU no SDA e analisa o resultado. Todo o projeto foi financiado pelo programa UNIESPAÇO da AEB.

A Seção II desse artigo discorre sobre os conceitos envolvidos e os efeitos das falhas do tipo SEU em dispositivos semicondutores. A Seção III mostra algumas alternativas para se emular esse tipo de evento, dando ênfase ao trabalho realizado. A Seção IV trata das aplicações e limitações do sistema desenvolvido. A Seção V mostra os testes feitos e os resultados obtidos em aplicações-alvo. Por fim, na Seção VI são apresentadas as conclusões e trabalhos futuros.

II. Escopo do Problema

Falhas do tipo SEU são falhas transientes que causam uma mudança de nível lógico (também chamada *upset* ou *bit-flip*) em alguma célula de memória do dispositivo semicondutor [3]. Os SEUs surgem aleatoriamente quando o dispositivo fica exposto a uma grande variedade de partículas radioativas de alta energia provenientes dos ventos solares.

Um dos pontos sensíveis do material semicondutor dos dispositivos COTS são as vizinhanças das junções dos drenos dos transistores polarizadas reversamente. Se uma partícula radioativa de alta energia atravesse a junção *pn* de um transistor CMOS em estado *off*, um curto circuito momentâneo pode ser criado entre o substrato e o terminal de dreno. Entretanto, se esse curto não acontece, a quantidade de carga armazenada resultante da penetração dessa partícula no

material pode ser suficiente para produzir um pequeno pulso de corrente transiente (Fig. 1) que poderá persistir por um pequeno intervalo de tempo δ até que o efeito dessa carga desapareça, seja por recombinação com outras cargas ou através de um caminho livre para *Vdd* ou *Vss* no circuito integrado. Nesse último caso, a lógica do dispositivo continuará funcionar de forma normal assim como fora projetado sem causar erros no sistema. Entretanto, se tal recombinação de cargas não desaparecer dentro de um período de tempo no qual certo dado estará sendo computado ou armazenado por um elemento de memória, o efeito dessa partícula radioativa produzirá um fenômeno conhecido na literatura científica da área de confiabilidade de circuitos integrados como *Single Event Upset* (SEU), que se comporta no universo da informação como uma inversão de estado lógico booleano (*bit-flip*) [4].

Fig. 1. Pulso de corrente causado pela radiação

As falhas do tipo SEU são aleatórias e a sua ocorrência nos circuitos integrados CMOS obedece a uma distribuição de Poisson no tempo e no espaço [1]. Essa distribuição está relacionada à *cross-section* do dispositivo em teste (DUT) e à fluência de radiação que atinge esse dispositivo. A fluência é, basicamente, o fluxo de partículas radioativas que atinge o dispositivo multiplicada pelo tempo de duração do experimento. Já a *cross-section* é definida como o número de *upsets* que ocorrem durante o experimento dividido pela fluência [1].

Com as informações citadas e estudos prévios, como os apresentados em [5] e [6], pode-se projetar um sistema capaz de emular a operação de dispositivos semicondutores em ambiente espacial. Essa emulação pode ser realizada através de hardware ou software [7]. A técnica escolhida para emular o efeito de partículas radioativas do ambiente espacial em circuitos integrados CMOS depende das características do dispositivo microprocessado e da aplicação que o mesmo executa. A emulação de SEUs por hardware demanda muito capital e equipamento especializado [8], [9]. Uma forma mais simples e confiável é emular essas falhas através de uma combinação de hardware de baixo custo e software [10], como apresentado nesse trabalho.

III. Sistemas de Emulação de SEUs

É recorrente na literatura a emulação esse tipo de falhas criando-se um sistema automatizado de emulação de SEUs, como feito nesse trabalho. Nesse caso, utiliza-se de uma plataforma para gerar e injetar essas mudanças de nível lógico no sistema microcontrolado gravado com alguma aplicação que produza sinais binários em suas saídas. É também necessária uma adaptação da aplicação gravada no sistema microcontrolado à injeção desses *bit-flips*, configurando uma interrupção externa ou alguma outra funcionalidade parecida e incluindo uma rotina de tratamento de interrupção à ocorrência do tipo de interrupção mencionado. Os requisitos, as aplicações e as limitações do sistema desenvolvido serão explicados e discutidos posteriormente nesse documento.

A seguir são citados alguns sistemas de emulação e injeção de falhas já desenvolvidos com o intuito de se emular SEUs que foram publicados em veículos científicos da área.

A. *THESIC*

A plataforma THESIC (*Testbed for Harsh Environment Studies on Integrated Circuits*) foi desenvolvida para realizar testes e estudos de ambiente hostil em circuitos integrados e é composta por duas placas: a placa-mãe e a placa-filha. A placa-mãe controla os testes operacionais e apresenta uma interface com o usuário, enquanto a placa-filha faz a adaptação do DUT ao protocolo de comunicação da placa-mãe [5].

Esse sistema usa uma técnica conhecida como CEU (*Code Emulated Upset*) que provoca uma mudança em alguma célula de memória, que pode ser uma variável, um registrador de uso geral ou de uso específico. O CEU fica localizado na memória do dispositivo em teste e é acionado através de uma interrupção externa. O hardware das placas mãe e filha geram o gatilho para causar a interrupção, acionando o alvo CEU.

Além de injetar os *bit-flips* no DUT, as placas do THESIC comparam as saídas esperadas e monitoram o tempo de execução da aplicação. Para evitar erros de travamento um software um *watchdog* é implementado na placa-mãe.

B. *OTTI*

O OTTI (*Orbiting Technology Testbed Initiative*) é um programa aeroespacial definido para atingir três principais objetivos. O primeiro desses objetivos é desenvolver técnicas simples e de baixo custo para validação de tecnologias para sistemas de satélites. O segundo objetivo é melhorar as definições de ambiente espacial, modelos dos efeitos e diretrizes. O último é aumentar a capacidade de previsão e validação de resultados para fins como: previsão do tempo, naves espaciais e aeronaves [11].

Esse software caracteriza o DUT a fim de melhorar o desempenho desse dispositivo e evitar falhas de hardware quando exposto a um ambiente específico. É, portanto, necessário caracterizar o ambiente de estudo para minimizar erros e incertezas do método.

C. *PORTHES*

O sistema desenvolvido nesse trabalho é baseado na técnica já citada de CEU. Nesse caso, o sistema de emulação de falhas injeta *bit-flips* no DUT que, por sua vez, sofre uma interrupção externa e aciona a rotina de tratamento de interrupção (ISR). Essa ISR muda um bit em alguma célula de memória ou registrador. O comportamento da aplicação

embarcada no dispositivo em teste é monitorada e os erros são classificados e contabilizados.

No que diz respeito a hardware, o sistema é composto por um computador (laptop), uma placa de aquisição de dados (DAQ) e o dispositivo em teste. O computador é responsável por comportar o programa criado no software LabVIEW. O programa é composto por um gerador de números aleatórios, temporização das falhas, interpretação dos dados provenientes da DAQ, classificação e contabilização dos erros. A placa de aquisição de dados injeta a mudança de nível lógico no DUT e faz a aquisição da reposta do dispositivo. Já ao dispositivo-alvo cabe executar a aplicação embarcada, sofrer as interrupções geradas pela DAQ e enviar continuamente o resultado de sua aplicação à placa de aquisição de dados.

A Fig. 2 a seguir mostra um diagrama de blocos do emulador desenvolvido juntamente com dispositivo alvo (DUT) e um circuito de *clock* externo necessário ao sincronismo do processo como um todo. O sistema de emulação de falhas pode ser divido em três partes principais para melhor compreensão e análise: geração de falhas, injeção de falhas e aquisição de dados.

A primeira parte gera um lote com uma determinada quantidade de números aleatórios. Esses números formam um vetor que será acessado pelo sistema posteriormente e serão usados para o cálculo da frequência de injeção de *upsets*.

A injeção de falhas usa o vetor de números aleatórios para calcular os instantes temporais de injeção de mudança de nível lógico e, através da placa de aquisição de dados, injeta uma transição de sinal (nível lógico) em um dos pinos do DUT causando no mesmo uma interrupção onde um *bit-flip* em um dos elementos de memória acontecerá de maneira aleatorizada.

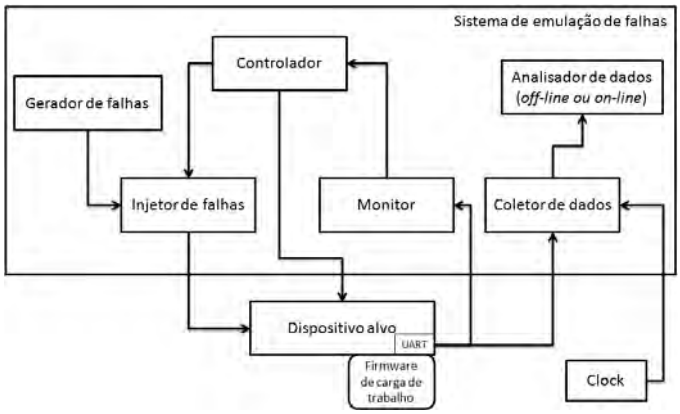


Fig. 2. Diagrama de blocos do sistema de emulação de falhas desenvolvido

O módulo de aquisição de dados do sistema recebe do DUT, através da placa de aquisição de dados, um sinal elétrico ou um padrão de dados (sequência de bits) e compara com um sinal ou padrão de bits esperado pelo sistema de emulação como um todo. Se o dado recebido estiver de acordo com o esperado esse erro é contabilizado como erro tolerável (*tolerated error*). Se o dado recebido for, em algum ponto, diferente do esperado esse erro é contabilizado como erro de resultado (*Result Error*). Se nenhum dado for recebido dentro de um tempo pré-determinado, contabiliza-se um erro por perda de sequência (*Sequence Loss*).

Além dessas três partes principais já explicadas, o sistema construído no LabVIEW apresenta outros componentes que o auxiliam na manutenção da aplicação. Como exemplo tem-se o *watchdog* timer implementado com o intuito de contabilizar os erros por perda de sequência. Também há o *master-clear* do timer, que reinicia o DUT caso haja perda de sequência ou o dispositivo não responda por um limite de tempo programado. O sistema desenvolvido também apresenta janelas de erro interno para exibir alguma mensagem de erro caso tenha ocorrido algo fora do esperado.

IV. Aplicações e Limitações

Como citado anteriormente, o sistema emulador desenvolvido é baseado na metodologia conhecida como CEU, envolvendo a funcionalidade de interrupção externa. Logo, o dispositivo em teste (DUT) deve possuir essa funcionalidade, como, por exemplo, microcontroladores, microprocessadores e DSPs. Uma limitação oriunda dessa característica é o fato de que não podem ser emuladas falhas que ocorrem durante o ciclo de instrução, uma vez que a interrupção só é atendida após qualquer instrução ser completamente executada [5].

Como dito brevemente na seção II, o nosso sistema foi desenvolvido usando a plataforma LabVIEW, fornecido pelo fabricante *National Instruments* (NI). Para a execução do emulador de SEUs foi criado um instrumento virtual (VI) com o ferramental do LabVIEW. Daí surge algumas limitações do próprio ambiente e de sua prioridade de tratamento de sinais dependente do sistema operacional.

Outra limitação do sistema que desenvolvemos é a restrição do período de trabalho, devido à comunicação, ao envio de *bit-flips* e à aquisição do sinal enviado pelo DUT. Esse tempo de trabalho é limitado pela placa de aquisição de dados, também do fabricante NI, pelo hardware e pelo sistema operacional onde a aplicação será executada. Na próxima seção essas limitações serão aferidas e as condições de operação e uso do sistema proposto serão apresentadas.

V. Testes e Resultados

Alguns testes foram realizados com o emulador de SEUs desenvolvido a fim de validar seu funcionamento e conhecer suas características e limitações. A seguir são explicados os experimentos que foram feitos e os resultados obtidos.

A. Teste 1 – geração de números aleatórios

O primeiro experimento realizado teve como objetivo validar e auferir a qualidade do gerador de números aleatórios usado no sistema e conhecer a precisão da distribuição estatística desejada. O gerador de números aleatórios que usamos no sistema é o fornecido pela *National Instruments* no software LabVIEW.

Para testar o gerador foram gerados vários pacotes de números aleatórios contendo até sessenta mil números. Um exemplo dos dados gerados é mostrado na Fig. 3 abaixo. Os

dados obtidos foram analisados no software MATLAB do fabricante *The Mathworks*. Nessa análise foram estimados os parâmetros da distribuição de Poisson, obtendo-se uma confiabilidade de 99,5% para o pacote de sessenta mil números.

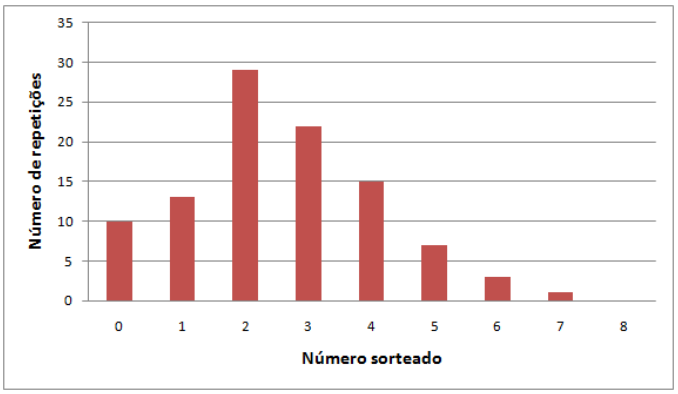


Fig. 3. teste feito com o gerador de números aleatórios

Com esse teste observou-se que quanto mais números eram gerados aleatoriamente, mais próxima a distribuição obtida estava da distribuição de Poisson. Desse modo, para não interferir no desempenho do sistema no processo de emulação de SEU, optou-se por gerar uma grande quantidade de números de uma só vez, de forma off-line ao sistema de injeção de análise de SEUs usá-los aos poucos durante a aplicação.

B. Teste 2 – limitação temporal da aplicação

O segundo teste feito teve como objetivo caracterizar a aplicação em relação ao seu tempo mínimo de operação sem que ocorram erros internos que possam ocasionar "falsos-positivos". O tempo de operação é denominado como o momento entre a injeção da interrupção no DUT e a apresentação do resultado da análise do tipo de erro provocado. Já os "falsos-positivos" são falhas que aparecem na aplicação, que são contabilizadas pelo sistema, mas não são resultado da injeção de *bit-flips*.

Para medir qual é esse tempo mínimo foram realizados testes variando-se o esforço computacional, a frequência da comunicação e a quantidade de bits enviados. Nesse caso, foi retirada a injeção das mudanças de nível lógico e foi medido o tempo mínimo de aquisição do sinal oriundo do DUT sem nenhum erro.

A primeira bateria de testes foi realizada com o próprio sistema de determinação de atitude que motivou a criação desse sistema de emulação de falhas. A frequência da comunicação (*baud rate*) variou entre 9600 e 19200 bits por segundo. O número de caracteres enviados variou entre 1, 4, 8 e 16 caracteres. Desse modo, obteve-se os tempos mínimos sem erros como mostrado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** a seguir.

Pode-se observar pela Tabela I que o tempo mínimo sem erros cresce à medida que se aumenta o número de caracteres enviados. A diferença entre a frequência de envio não interfere muito nesse intervalo.

Também foram feitos experimentos com outras duas aplicações: determinante do produto de matrizes e cálculo da série de Fibonacci. Na primeira bateria de testes variou-se o esforço computacional através da mudança de dimensão das matrizes. Testes com matrizes 2x2 e 3x3 não variaram o tempo mínimo sem erros, que para esse caso foi de 31 ms. Já no cálculo da série o tempo foi maior, devido ao maior número de caracteres enviados.

Ao observar os experimentos feitos, conclui-se que o grande gargalo do sistema desenvolvido é a aquisição do sinal oriundo do DUT, uma vez que quanto maior o número de caracteres enviados maior é o tempo mínimo sem "falsos-positivos". Acredita-se que grande parte dessa limitação é provocada pelo sistema operacional e suas prioridades de tratamento.

TABELA I
RESULTADOS DA LIMITAÇÃO TEMPORAL.

Teste feito com o sistema de determinação de atitude		
Baud rate (bits/s)	***Números de caracteres enviados***	***Tempo mínimo sem erros (ms)***
9600	1	16
9600	4	50
9600	8	57
9600	16	67
19200	1	23
19200	4	48
19200	8	50
19200	16	60

C. Teste 3 – tempo mínimo de injeção de bit-flips

O terceiro experimento foi realizado com intuito de se descobrir qual é o tempo mínimo de injeção de *upsets*. Desse modo, pode-se conhecer a limitação do hardware e da aplicação para a injeção de falhas. Para a realização desse teste foram injetadas duas mudanças de nível lógico seguidas, o mais rápido possível, sem nenhuma distribuição probabilística.

Os resultados obtidos variaram entre 2,96 ms e 3,0 ms. Acredita-se que, novamente, o sistema operacional interfere com suas prioridades e que um tempo seguro para garantir a injeção da mudança de nível lógico é 3,0 ms.

VI. CONCLUSÕES

O sistema de emulação de *Single Event Upset* atendeu às necessidades e expectativas, com algumas limitações. O sistema desenvolvido é de baixo custo e consegue validar sistemas tolerantes a falhas do tipo SEU. As limitações do método não o tornam menos benéfico para a aplicação. A solução escolhida atendeu bem às perspectivas do trabalho.

Como trabalho futuro pode-se citar a realização de mais testes com outras aplicações e outros dispositivos semicondutores realizando o papel de DUT. Há também a possibilidade de realização de experimentos em outros

sistemas operacionais, observando a diferença de funcionamento e os tempos de execução do sistema.

VII. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Programa de Educação Tutorial (PET) da Engenharia Elétrica, à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, à Agência Espacial Brasileira (AEB), ao Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE).

REFERÊNCIAS

[1] F. Fauri, R. Velazco e P. Peronnard, "Single-Event-Upset-Like Fault Injection: A Comprehensive Framework", IEEE Transactions on Nuclear Science, Dezembro 2005.

[2] R. O. Duarte, F. E. Torres, T. H. Gomes, L. S. Martins-Filho, e H. K. Kuga, "An Attitude Determination System Implementation to Low Orbit Small Satellite with Fault-Tolerant Techniques", 8th IAA Symposium on Small Satellites for Earth Observation, Abril 2011.

[3] P. E. Dodd, L. W. Massengill, "Basic Mechanisms and Modeling of Single-Event-Upset in Digital Microeletronics", IEEE Transaction on Nuclear Science, Junho 2003.

[4] T. R. Balen, "Efeitos da Radiação em Dispositivos Analógicos Programáveis e Técnicas de Proteção", Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica UFRGS, Agosto 2010.

[5] R. Velazco, S. Rezgui e R. Ecoffet, "Predicting Error Rate for Microprocessor-Based Digital Architectures trough C.E.U. (Code Emulating Upsets) Injection", IEEE Transactions on Nuclear Science, Dezembro 2000.

[6] S. Rezgui, R. Velazco, R. Ecoffet, S. Rodriguez, e J. R. Mingo, "Estimating Error Rates in Processor-Based Architectures", IEEE Transactions on Nuclear Science, Outubro 2001.

[7] M. C. Hsueh, T. K. Tsai, R. K. Iyer, "Fault Injection Techniques and Tools", Abril 1997.

[8] M. Nicolaidis, "Soft Errors in Modern Electronics Systems", Nova York: Spring-Verlag, 2010. Capitulo 1 páginas 1 a 10, capitulo 6 páginas 141 a 166.

[9] P. Fouillat, V. Pouget, D. McMorrow, F. Darracq, S. Buchner e D. Lewis, "Fundamentals of the Pulsed Laser Technique for Single-Event Upset Testing" capitulo em "Radiation Effects on Embedded Systems", página(s): 121-144 – Springer Netherlands – 2007.

[10] M. G. Valderas, P. Peronnard, C. L. Ongil, R. Ecoffet, F. Bezerra, e R. Velazco, "Two Complementary Approaches for Studying the Effects of SEUs on Digital Processors", IEEE Transactions on Nuclear Science, Agosto 2007.

[11] D. A. Brewer, K. A. LaBel, J. C. Ritter, J. L. Barth, K. S. Klifton, S. D. Pearson, J. Peden, A. Campbell e R. Liang, "The Orbiting Technology Testbed (OTTI) Space Experiments", IEEE 2000.

[12] T. H. Gomes, R. O. Duarte, "Experimentos com Injeção de Falhas para Validação de Sistemas Microcontrolados Voltados a Aplicções Espaciais", XIX Semana de Iniciação Científica UFMG, Outubro 2010.

[13] E.G. Stassinopoulos, e J. P. Raymond, "The Space Radiation Environment for Electronics".

Estudos sobre as aplicações de Realidade Aumentada dentro e fora da educação

Rafael L. Jóia
Instituto Nacional de Telecomunicações
rafael.liberato@gec.inatel.br

Wesley P. Aquino
Instituto Nacional de Telecomunicações
wesleyp@gec.inatel.br

Marcos Peres Mokarzel
Instituto Nacional de Telecomunicações
mpmoka@inatel.br

Resumo. **Neste trabalho utilizamos a linguagem de programação C++, juntamente com os recursos da biblioteca OpenCv e Artoolkit, ambas open source, para captura e tratamento da imagem. Através de processamento de imagens e segmentação, é possível identificar pontos e regiões de interesse, bem como localizar formatos distintos de objetos pertencentes à imagem.**

Palavras-chave**: Artoolkit, OpenCV, Realidade Aumentada.**

Abstract. **In this work we use the programming language C + +, along with the resources of the library OpenCV and ARToolkit, both open source to capture and process the image. Through image processing and segmentation, it is possible to identify points of interest and regions, as well as locate different shapes of objects belonging to the image.**

Keywords: Artoolkit, OpenCV, Reality Augmented.

I. INTRODUÇÃO

Atualmente, com o desenvolvimento da tecnologia, estão aparecendo novos conceitos e aplicações que aproximam o mundo virtual com a realidade. A matemática computacional e os recursos computacionais gráficos proporcionam várias ferramentas para o desenvolvimento na área. A realidade aumentada nada mais é que a união entre todos esses fatores, a qual permite realizar a interface homem-máquina (IHM).

Com a utilização de técnicas avançadas de processamento de imagens, poderemos buscar em uma imagem, formas primitivas como: quadrados, retângulos, círculos entre outros. Para realizar essa busca pixel-a-pixel na imagem capturada, será necessário explorar os recursos oferecidos pela biblioteca OpenCv juntamente com alguns recursos matemáticos. Ao longo do desenvolvimento do projeto serão buscados marcadores, como exemplo figura 1.

Na seção II apresentaremos como foi realizada a captura e a aplicação de filtros que proporcionam uma forma de processamento de imagem mais eficaz.

II. PROCESSAMENTO

A. Captura da Imagem

Para a captura da imagem tivemos que utilizar os seguintes métodos:

```
int _tmain(int argc, _TCHAR* argv[])
{
CvCapture * capturar=0;
capturar=cvCaptureFromCAM (0);

 while(TRUE)//Loop Infinito
 {
  IplImage *quadro=0;
  quadro=cvQueryFrame(capturar);

  if(!quadro)
  break;
 }
   return 0;
}
```

O resultado obtido figura 1, nada mais é que a captura da imagem da webcam.

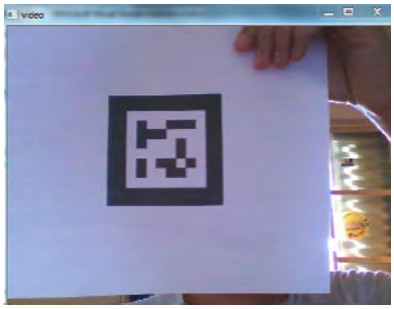


Fig. 1. Imagem Capturada

A partir da imagem capturada geramos uma outra imagem em tons de cinza, como mostra a figura 2.

Fig. 2. Imagem em Tons de Cinza

B .Filtros

Utilizando a biblioteca OpenCV aplicamos filtros afim de otimizar a busca do objeto procurado. Os filtros utilizados foram Canny e Threshold .

O filtro Canny suaviza ruído e realiza a detecção de bordas através da localização dos pontos máximos de variação de cor.Figura 3.

O filtro Threshold processa a imagem, através de um limite. Se a imagem original possuir valores maiores que o limite informado, esses serão definidos como preto, caso contrário, serão definidos como branco.Figura 4.

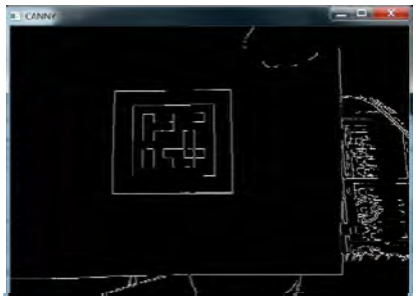


Fig. 3. Filtro Canny.

Fig. 4. Filtro Threshold.

C. Localização dos Pontos de Interesse

Para a localização dos pontos de interesse, é extremamente necessária a eliminação de ruídos que se encontram na imagem capturada. Através do programa Color Insepector, é possível identificar a região de interesse, visualizando a distribuição das cores RGB em um cubo.Figura 5 e Figura 6.

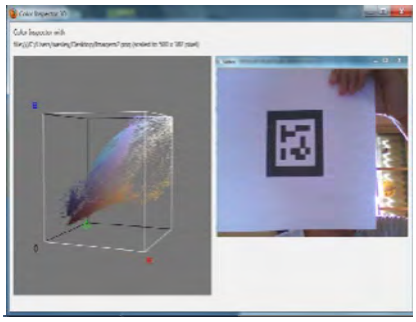


Fig. 5. Concentração de Cores

Devido a variação nas faixas RGB provocada pela luz, resolvemos trabalhar com uma faixa de cores, que determinamos através do Color Inspector. Sendo assim, como solução para o problema de ruído, aplicamos a segmentação por cores, eliminando as regiões não desejadas. As figuras 6 e 7 abaixo demonstram o efeito da segmentação realizada.

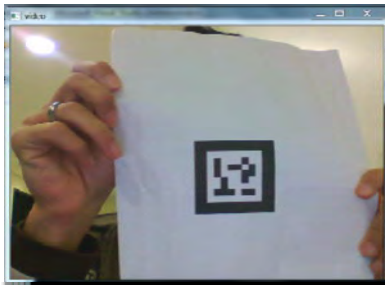


Fig. 6. Imagem Normal

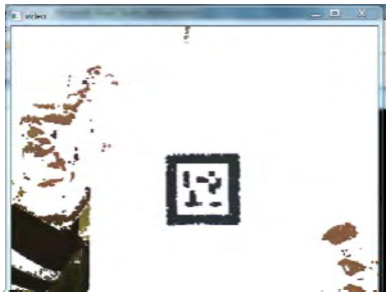


Fig. 7. Aplicação da Segmentação

Mesmo com a segmentação, observamos na figura 7 que ocorreu a eliminação parcial das regiões de não interesse, porém, nosso objeto foi deformado, o que nos prejudica futuramente na identificação do marcador. Logo abaixo será detalhada a utilização de outra ferramenta chamada Artoolkit que também nos permite o rastreamento do marcador.

III. UTILIZAÇÃO DA BIBLIOTECA ARTOOLKIT

Artoolkit é uma biblioteca Open Source utilizada para o desenvolvimento de aplicações de realidade aumentada. Através de uma matriz 3x4 fornecida por um recurso da API, foi possível encontrar as coordenadas da câmera em relação ao marcador. Na figura 8 está ilustrado o fluxo de eventos realizados desde a captura até a renderização do objeto virtual no vídeo de saída. De posse das informações relacionadas às coordenadas, partimos para o desenvolvimento gráfico utilizando a biblioteca OpenGL.

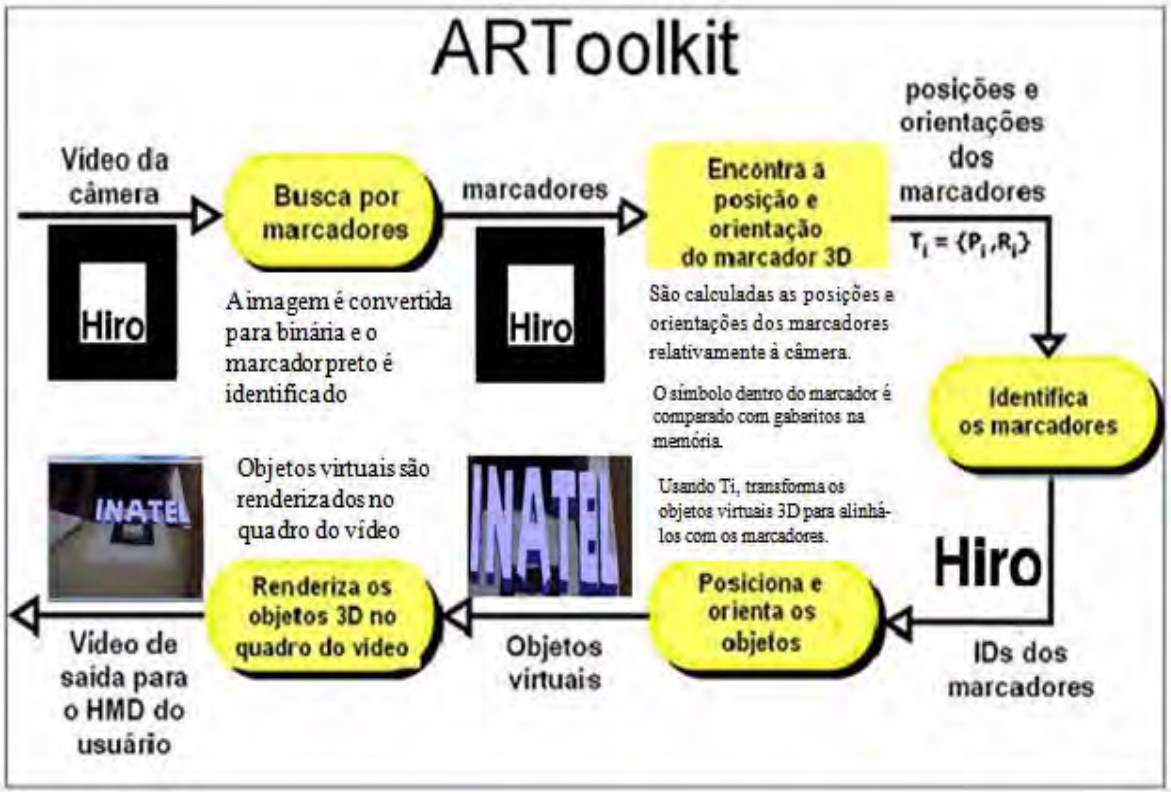


Fig. 8. Processos realizados pela Artoolkit

IV. Desenvolvimento da Animação

Para o desenvolvimento da animação, foi utilizada a biblioteca OpenGL que nos fornece sólidos primitivos 3D como por exemplo o cubo citado na figura 9 . Com o agrupamento dos sólidos decidimos construir a palavra INATEL, cubo a cubo, conforme figura 10.

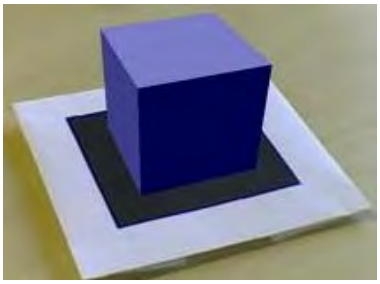


Fig. 9. Cubo Sólido 3D

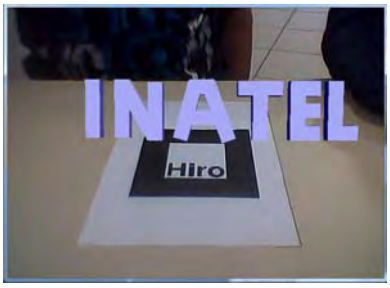


Fig. 10. Agrupamento final

Para facilitar o desenvolvimento das animações, passamos a utilizar o software 3ds Max, cuja as principais funções são modelagem, animação e renderização. Esta ferramenta aumentou a qualidade da animação e nos possibilitou a criação de diversos modelos e animações em 3D.

Novas animações foram desenvolvidas especialmente para a feira, como podemos ver nas figuras 11 e 12. Estas animações tiveram sucesso, despertando curiosidade e interesse nos visitantes em relação a nossa pesquisa.

Fig. 11. Logo Inatel

.

Fig. 12. Avião 3D

Depois da apresentação na feira, passamos a direcionar nosso trabalho em relação a educação, conforme foi planejado em nosso cronograma. Procuramos formas geométricas para o desenvolvimento de uma animação, e por final decidimos desenvolver uma parabolóide de duas folhas. Figura13.

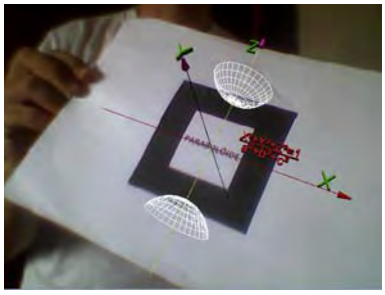


Fig. 13. Parabolóide

V.CONCLUSÃO

Com este trabalho, foi possível acompanhar os processos para a detecção dos Marcadores de Realidade Aumentada e também um dos diversos recursos para a modelagem 3D de objetos.

As aplicações de Realidade Aumentada são infinitas e podem ser direcionados para as áreas da Educação, Jogos, Ações de Marketing, entre outras. Para isso basta criatividade na criação das animações e exploração dos recursos de modelagem 3D.

VI.REFERÊNCIAS

Livros:

GONZALES, Rafael , WOODS, Richard. Digital Image Processing , 1992

COHEN, Marcelo. OpenGL : Uma abordagem prática e objetiva, 2006

Sites:

http://carmonahernandes.wordpress.com/2011/01/23/tutorial-instalacao-opencv/

http://projetos.inf.ufsc.br/arquivos_projetos/projeto_831/tcc_final_revisado.pdf http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/

http://www.inf.pucrs.br/~pinho/CG/Aulas/OpenGL/Texturas/MapTextures

Avaliação experimental da transmissão de dados via rede elétrica

Rodrigo Romão França Soares
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
rodrigoromao@etel.ufu.br

Yuri Gomes dos Santos
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
yuri_santos27@hotmail.com

Karine Barbosa Carbonaro
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
karine@eletrica.ufu.br

Éder Alves de Moura
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
edermoura@gmail.com

***Resumo*—Neste artigo apresenta-se uma avaliação da capacidade de transmissão dos modens PLC de 56 Mbps. Desenvolveram-se diversos experimentos na rede *PowerLine Communications* (PLC) laboratorial para verificar a influência do ruído colorido, gerado por eletrodomésticos, na taxa e no tempo de transferência de dados. Os resultados obtidos demonstram que os eletrodomésticos diminuem a taxa e aumentam o tempo de transferência de dados**

***Palavras chave*— PLC, ruído, taxa de dados, tempo de transferência.**

I. Introdução

Nas últimas duas décadas, observou-se um interesse crescente na utilização das redes de distribuição de energia elétrica como uma alternativa para o fornecimento de diversos serviços de telecomunicações, voz, vídeo e dados. Estes serviços são transmitidos em velocidade alta na última milha (*last mile*) que é denominada de rede de baixa tensão. Ela é uma rede de menos de 1 kV e tem toda uma infraestrutura extensa já instalada. No *Powerline Communication*, a tomada elétrica também servirá para acesso à Internet.

A rede PLC difere nos quesitos de topologia, estrutura e propriedades físicas dos meios convencionais como: par trançado, coaxial ou cabos de fibra óptica. Esta rede tem propriedades muito hostis para ser um canal de transmissão de dados.

Neste artigo, faz-se uma avalição da taxa e do tempo de transferência de dados do modem PLC na rede ethernet laboratorial onde a camada física é a rede elétrica. Os experimentos consideram a adição de ruído colorido na rede elétrica para similar a propriedade hostil deste canal de transmissão.

O restante deste artigo está organizado da seguinte maneira. A Seção II descreve o funcionamento da tecnologia PLC. Na Seção III apresentam-se os experimentos realizados com o modem PLC e discutem-se os resultados obtidos. Por fim, as conclusões deste trabalho são apresentadas na Seção IV.

II. Funcionamento

A. Definição da tecnologia

PLC é um sistema de telecomunicações através de rádio frequências que utiliza como meio de transporte a rede elétrica de distribuição. O princípio básico de funcionamento está na frequência dos sinais gerados, no PLC o sinal opera em MHz (1,7 MHz a 30 MHz), e o sinal de energia elétrica em Hz (50 Hz a 60 Hz), os dois sinais podem utilizar o mesmo meio sem que um interfira no outro, no mesmo meio de transmissão.

Os dois seguimentos de tecnologia PLC são apresentados na Figura 1:

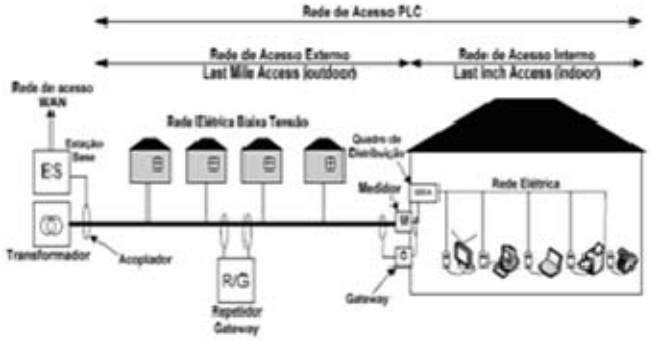


Fig. 1. Visão geral da rede de acesso PLC.

- ***Last Mile Acess (outdoor):*** É a rede de acesso à residência conecta os usuários com os provedores de acesso. A faixa de frequência é de 1MHz a 10/13 MHz.

R.R.F. Soares (rodrigoromao@etel.ufu.br) e Y.G. Santos (yuri_santos27@hotmail.com) alunos, K.B. Carbonaro (karine@eletrica.ufu.br) e É.A. Moura (edermoura@gmail.com) professores do curso de Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações da Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Av. Getúlio Vargas, 230 - Patos de Minas - MG - Brasil - 38700-103.

- ***Last Inch Access (indoor):*** É a rede dentro das edificações: residenciais, comerciais e industriais. A faixa de frequência é de 10/13 MHz a 30 MHz.

As avaliações experimentais propostas neste artigo são aplicadas a *last inch access*, rede *indoor*.

B. Elementos básicos da rede

Os elementos PLC básico, apresentados na Figura 1, possuem as tarefas de: preparação, conversão, transmissão e recepção dos sinais nos padrões PLC. Os seguintes elementos fazem parte de uma rede PLC básica de acesso.

- **PLC estação base:** convertem, gerenciam e transmitem as informações em uma rede PLC. São instalados próximo dos transformadores de baixa tensão para os casos de aplicações externas (*outdoor*), são conectados com a rede elétrica de baixa/média tensão de um lado e do outro com a rede de acesso a WAN.
- **PLC modem:** conectam equipamentos de comunicações padrões, usados pelos usuários com o meio de transmissão *powerline*. A interface do lado do usuário pode prover vários padrões de interfaces para dispositivos de comunicações diferentes, por exemplo, a Ethernet, USB e S0. No outro lado, o modem PLC é conectado à rede elétrica através de uma junção específica que permite a sua alimentação, a transmissão e recepção de sinais no meio *powerline*. A junção tem que assegurar uma separação de tecnologia e agir como um filtro passa alta dividindo as comunicações que operam acima de 9 KHz do poder elétrico 50 Hz ou 60 Hz. O modem PLC implementa todas as funções da camada física, modulação e codificação. A segunda camada também inclui seu MAC (Controle de acesso Meio) e LLC (Ligação lógica Controla) de acordo com o OSI.

C. Tipos de ruídos

Os ruídos encontrados na rede elétrica não podem ser caracterizados como AWGN (*Additive White Gaussian Noise*), pois estes apresentam características peculiares à rede elétrica podendo ser classificados em cinco categorias:

1. **Ruído colorido de fundo:** tem densidade espectral relativamente baixa e diminui com a frequência. Este ruído é causado principalmente pela sobreposição de numerosas fontes de intensidade baixa. Este apresenta forte dependência com a frequência considerada, os parâmetros deste ruído variam bruscamente em um pequeno intervalo de tempo.
2. **Ruído de banda estreita:** tem na maioria das vezes formato senoidal, com amplitudes moduladas. Este ocupa diversas sub-bandas que são relativamente pequenas e continuas sobre o espectro frequência. É causado principalmente pela inserção de estações sobre faixas de frequências e pela transmissão de ondas curtas na linha.
3. **Ruídos impulsivos periódicos assimétricos:** tem taxa de repetição de aproximadamente 50 KHz e 200 KHz Este tipo de ruído é causado pela comutação de equipamentos como motores ligados à rede elétrica, devido a sua alta taxa de repetição este tipo de ruído ocupa uma larga faixa de banda no espectro de frequência.
4. **Ruídos impulsivos periódicos simétricos:** tem taxa de repetição entre 50 Hz e 100 Hz, que é a frequência de operação da rede de distribuição de energia. Este tipo de ruído tem duração curta na ordem dos microssegundos e tem uma densidade espectral que diminui de acordo com a frequência.
5. **Ruídos impulsivos:** são causados principalmente pela comutação de transientes na rede, estes têm a duração de alguns microssegundos até alguns milissegundos. Sua densidade espectral pode alcançar valores de até 50 dB em relação ao ruído de fundo na comunicação digital sobre redes do PLC.

A Figura 2 ilustra a adição dos vários ruídos no canal de comunicação. Nos experimentos realizados adicionaram-se a rede elétrica fontes de ruído do tipo de ruído colorido.

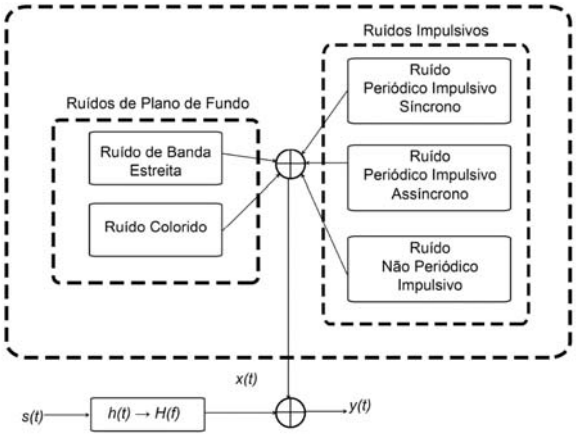


Fig. 1. Cenário de ruído no canal de comunicação.

III. EXPERIMENTAL

A. Topologia de rede

A Figura 3 ilustra a topologia de rede montada em laboratório para a realização dos experimentos. A escolha da topologia baseou-se na literatura, de acordo com os livros com os livros e os artigos estudados a priori. Montou-se uma nova rede com as distâncias de cada ponto que compõem a rede conhecida. Como a montagem foi em laboratório, a caracterização do cenário de estudo e os parâmetros de avaliação de desempenho foram definidos para um sistema *indoor*. O desenvolvimento do experimento objetivou o conhecimento da funcionalidade e desempenho dos *modens* PLC em condições adversas.

Nesta topologia considerou-se 6 (seis) tomadas: 1 (uma) tomada para o modem com a função de transmissor, 1 (uma) tomada para o modem com a função de receptor e outras 4 (quatro) tomadas para a adição de eletrodomésticas: batedeira, liquidificador, e secador que foram utilizados como fontes de ruído. Durante os experimentos, as posições do transmissor e

receptor foram alteradas para avaliar o impacto da distância da fonte de ruído nos parâmetros de desempenho de uma rede ethernet: taxa e tempo de transferência do arquivo. O arquivo é constituído por imagem colorida de 53,6 MB em formato *bit map* (.bmp).

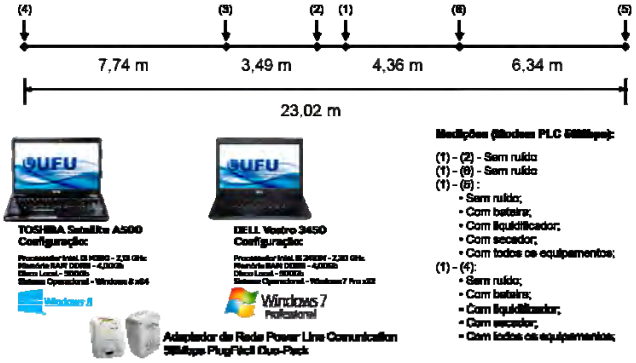


Fig. 1. Topologia da rede experimental.

B. *Cenários avaliativos*

Depois de montada a rede experimental em laboratório definiram-se os seguintes cenários avaliativos:

- **Cenário 1** – sem fonte de ruído na rede;
- **Cenário 2** – batedeira como fonte de ruído na rede;
- **Cenário 3** – liquidificador como fonte de ruído na rede;
- **Cenário 4** – secador como fonte de ruído na rede;
- **Cenário 5** – modem PLC ligado no estabilizador.

Os experimentos foram realizados e validados, com um número de repetições significativos, em dois dias da semana distintos:

- **Dia 1** – no intervalo de segunda-feira à sexta-feira e no horário do expediente do campus. Neste dia, a rede elétrica estava sendo utilizada por todos os técnicos e docentes para as mais variadas atividades e com uma grande variedade de equipamentos como carga.
- **Dia 2** – no domingo, onde não havia expediente no campus. Neste dia, a rede elétrica estava sendo utilizada por uma variedade mínima de equipamentos como carga.

C. *Resultados obtidos*

A Tabela I apresenta os resultados dos experimentos realizados no dia 1 para os cincos cenários supracitados. A primeira coluna representa as distâncias entre os modems transmissor (Tx) e receptor (Rx) PLC. A segunda coluna está subdividida em 06 subcolunas indicando: taxa da transferência de Tx para Rx nos 05 cenários.

De acordo com os valores apresentados, observou-se que o menor valor de taxa de transferência de arquivo corresponde à utilização do secador como fonte de ruído na rede elétrica. A menor taxa corresponde ao maior tempo de transferência do arquivo. Observe ainda que as distâncias foram variadas, mas mesmo assim o secador manteve-se como o com o pior desempenho.

TABELA I

RESULTADOS DOS CINCO CENÁRIOS NO DIA 1..

	Taxa de Transferência [Mb/s]					
	Sem	1	2	3	4	Todos
1,09 m	1,10	-	-	-	-	-
4,36 m	1,16	-	-	-	-	-
11,23 m	1,10	-	0,95	0,85	-	0,90
10,07 m	1,47	-	0,63	0,59	0,44	0,47
16,68 m	1,19	-	-	-	-	-
11,23 m	1,55	-	-	-	-	-
23,02 m	1,50	0,32	1,36	0,99	0,75	0,24
Potência	0 w	400 w	300 w	400 w	2000 w	2700 w

Legenda: 1 – Estabilizador, 2 – Batedeira, 3 – Liquidificador, 4 – Secador.

A Tabela II apresenta os resultados dos experimentos realizados no dia 2 para os cincos cenários apresentados anteriormente.

TABELA II

RESULTADOS DOS CINCO CENÁRIOS NO DIA 2.

	Taxa de Transferência [Mb/s]					
	Sem	1	2	3	4	Todos
1,09 m	1,10	-	-	-	-	-
4,36 m	1,16	-	-	-	-	-
11,23 m	1,10	-	1,46	0,40	0,68	0,59
10,07 m	1,47	-	0,60	1,01	0,44	0,79
16,68 m	1,19	-	-	-	-	-
11,23 m	1,55	-	-	-	-	-
23,02 m	1,50	-	-	-	0,33	-
Potência	0 w	400 w	300 w	400 w	2000 w	2700 w

Na execução dos experimentos no domingo avaliou-se a influência das demais cargas ligadas fora do laboratório na rede montada. Os resultados apresentados demonstram que há um aumento nas taxas e uma diminuição no tempo de transferência do arquivo. Conclui que seria interessante avaliar uma rede elétrica completamente sem carga, rede ideal, para se determinar a taxa máxima de transferência do modem PLC de 56 Mbps. Todos os experimentos realizados serão repetidos para o modem PLC de 200 Mbps. Esta é a nova versão do padrão *HomePlug* versão 2 para a transmissão de dados via canais *indoor* que atende as aplicações de alta velocidade: HDTV, videoconferência e outras aplicações multimídia.

IV. CONCLUSÕES

Neste artigo apresentou-se um estudo da capacidade de transmissão dos modens PLC de 56 Mbps. Verificou-se o efeito causado pelo ruído colorido na rede elétrica, e por consequência, influência dele, mas taxas e nos tempos de transmissão de dados. Baseado nos resultados obtidos nos experimentos em laboratório, conclui-se que a taxa de transferência de dados está muito abaixo do valor esperado para uma rede ethernet.

REFERÊNCIAS

[1] M. V. Ribeiro, "*Técnicas de processamento de sinais aplicados à transmissão de dados via rede elétrica e ao monitoramento da qualidade de energia*", tese de doutorado, Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2005.

[2] Ascom, *Nothing is a powerful as an Idea for which the time is ripe: welcome to the second discovery of electricity.* Berne, Switzerland, 2001

[3] K.Dostert, *Power Line Communications.*1. ed. New York: Prentice Hall, 2001.

[4] P. J. Langfeld, "The Capacity of typical power line reference channels and strategies for system design". In Proc. *5th International Symposium on Powerline Communications and its Applications.* p.271 -278. 2001.

[5] M. Zimmermann & K.Dostert, "A multi-path signal propagation model for the power line channel in the high frequency range". In Proc. *3th International Symposium on Powerline Communications and its Applications*

[6] W. Sanderson, "Broadband communications over a rural power distribution circuit" In Proc. *IEEE Southeastcon.* p. 45-51. 1999.

[7] N. Pavlidou, et.al. "Power line communications: State of art and future trends". *IEEE Comm. Magazine,* 41 (4), 34-40. 2003.

[8] E. Biglieri, "Coding and modulation for a horrible channel*". IEEE Comm. Magazine*, 41 (5), 92-98. 2003.

Campo Geomagnético e a Ionosfera da Terra: suas influências nas Telecomunicações

José Wilson Aguiar Júnior

Aluno do curso de Engenharia de Telecomunicações do Centro Universitário Luterano de Manaus – CEULM/ULBRA
jwajrr@gmai.com

Weverson dos Santos Cirino

Professor Adjunto com Mestrado do Centro Universitário Luterano de Manaus – CEULM/ULBRA
weverson.cirino@gmail.com

***Resumo* - Este artigo traz uma breve explanação da definição sobre o que vem a ser Campo Geomagnético e a Ionosférica Terrestre, bem como, pontua o conceito muito utilizado nas Telecomunicações que é a Transmissão Ionosférica. Nesta área das Telecomunicações muito importante para as comunicações locais, estaduais, nacionais e continentais, este trabalho apresenta as influências do Campo Geomagnético e da Ionosfera Terrestre nas Transmissões Ionosféricas.**

***Palavras chave* – Campo Geomagnético. Ionosfera. Transmissão Ionosférica.**

***Abstract* - This article provides a brief explanation of the definition of what is being Geomagnetic Field and Ionosphere Earth's, as well, punctuates the concept widely used in telecommunications is the Ionospheric Transmission. In this area Telecommunications very important for local, state, national and continental, this work shows the influence of the geomagnetic field and Ionosphere Terrestrial in Ionospheric Broadcasts on.**

***Keywords* – geomagnetic field, Ionosphere, Ionospheric Broadcast.**

I. INTRODUÇÃO

O campo geomagnético e seus elementos apresentam uma variação temporal ao qual é denominada variação secular, onde é separada para observação outras mudanças mais rápidas de origem principalmente externa, definida como uma variação onde se consideram médias anuais. [1]. Atribuindo sua origem aos movimentos convectivos do plasma que existe entre o manto e o núcleo do planeta, gera variações no campo geomagnético. Onde por exemplo a componente vertical (*Z*) e a inclinação (*I*) são nulas, definindo o equador magnético não coincidindo com o equador geográfico. [2]

A ionosfera é a região da atmosfera contendo íons e elétrons livres, sendo ionizada principalmente pela radiação solar, influenciando a propagação de ondas de rádio onde a absorção é mais alta na região compreendida entre ±30° de latitude, do que em outras regiões de latitudes maiores. [3]. Foi observado que durante o dia há uma baixa densidade de ionização nesta região sendo basicamente causada por processos de transporte
que elevam o plasma ionosférico, retirando-o da região equatorial e levando-o para latitudes geomagnéticas maiores,

nos hemisférios norte e sul. [4]

A natureza magnética do campo requer que as linhas que o definem sejam fechadas interna e externamente, que comecem e terminem em pontos bem definidos como na figura 1.

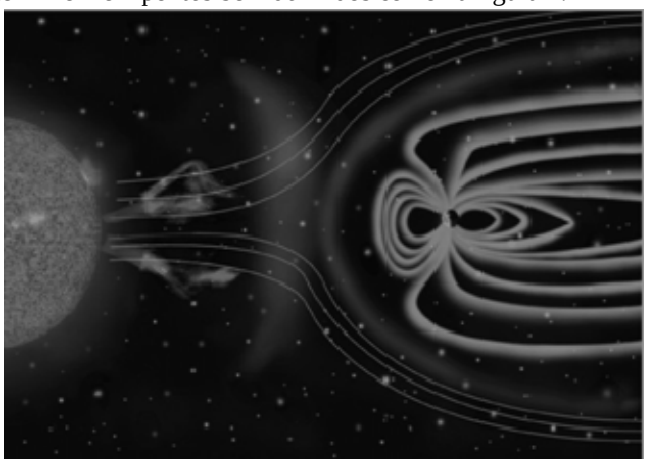


Fig. 1: Campo magnético terrestre protegendo a Terra das radiações provenientes do Sol.

II. O CAMPO GEOMAGNÉTICO

Os movimentos de rotação e translação entre os inúmeros movimentos intrínsecos ao planeta Terra são fáceis e intuitivos em sua observação. Estes movimentos, em conjunto com a influência da atividade solar constituem provavelmente os principais mecanismos de manutenção da vida terrestre. Atenta-se para a existência de outros movimentos intrínsecos à dinâmica terrestre e que não são facilmente observáveis. Por sua vez, estes, se devem à natureza fluida das partes interiores do planeta.

É necessário expor conceitos básicos de caracterização do

Manuscrito recebido em 21 de fevereiro de 2013; revisado em 29 de março de 2013.

J. W. A. Júnior (jwajrr@gmail.com) e W. S. Cirino (weverson.cirino@gmail.com) pertencem a Universidade Luterana do Brasil – Ulbra - Centro Universitário Luterano de Manaus - Ceulm. Rua Carlos Drumond de Andrade, 1460, Japiim II – Manaus – AM – 69077-730, Brasil, 92 3616-9800.

campo geomagnético, representado geralmente por um dipolo onde o eixo é deslocado de centro geográfico da Terra e inclinado ao seu eixo de rotação. Pode ser feita a caracterização do campo geomagnético através das componentes cartesianas *X*, *Y* e *Z*, além dos quatro elementos mostrados na figura 2.

a) Declinação (*D*): ângulo entre o norte geográfico e a componente horizontal do campo, positiva do norte para o leste;

b) Inclinação (*B*): ângulo entre a direção do campo e a horizontal, positivo da horizontal para baixo;

c) Intensidade horizontal (*H*): magnitude de componente horizontal do campo;

d) Intensidade Total (*F* ou *B*): magnitude do vetor campo.

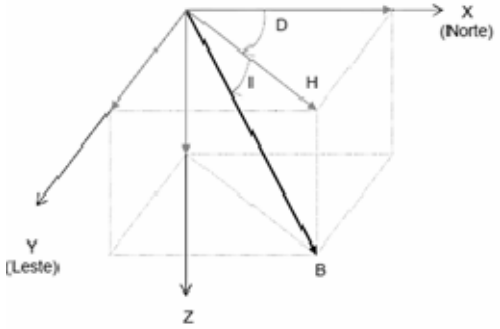


Fig. 2. Elementos do campo geomagnético, componentes *X*, *Y* e *Z*, declinação, inclinação, intensidade horizontal e total.

Sabe-se que a temperatura das camadas interiores da Terra é alta. Calcula-se valores que chegam a ponto de manter fundidos os elementos que nela existem tais como Ferro, Cobre, Níquel, dentre inúmeros outros ricos em elétrons desemparelhados que devido a gradientes de temperatura movimenta-se nessas camadas. A superposição dos movimentos de translação, rotação e os movimentos da massa fluida no interior do planeta, desta forma, acaba por gerar um campo magnético intrínseco à Terra. Chama-se este mecanismo altamente complexo de "Dínamo Terrestre" [5].

Supõe-se a hipótese do "Dínamo Geomagnético" que no núcleo externo do planeta as interações geológicas do magma, composto quase que basicamente por Ferro e Níquel, possuem dois movimentos, onde o primeiro é provocado na camada do núcleo externo pelo gradiente de temperatura existente. A massa menos densa e mais líquida nas regiões interiores sofre convecção ao chegar perto da crosta onde sobe e esfria-se. A densidade é aumentada e ocorre um mergulho do material. Ocorrendo cíclicos processos de baixo para cima e de cima para baixo [6]. Consistindo o segundo movimento na existência de uma aceleração relativa das massas líquidas num sistema em rotação. Sempre perpendicular ao eixo de giro do sistema e à velocidade de massa líquida obtêm-se ênfase horizontal chamada de "Força de Coriolis" [7]. Compõe um conjunto de correntes térmicas no meio níquel-ferro em estado de fusão o sistema de movimento no manto terrestre.

Estas movimentações combinadas supostamente geram o Campo Magnético, que são movimentações próximas à crosta, gerando corrente elétrica, tornando um dínamo auto-excitado.

O campo magnético principal pode ser resultante das correntes fluentes no núcleo metálico, onde o raio é aproximadamente a metade do raio do Planeta. Observa-se que a distribuição e a intensidade das correntes que fluem no núcleo, podem ter variado com o tempo. Existem indícios de que a oscilação influenciou poderosamente na inversão do campo magnético em intervalos de mais de cem milhões de anos a dez milhões de anos. Existem correntes parasitas próximas à crosta e o manto geram irregularidades no campo magnético que são percebidos na superfície. São chamadas estas irregularidades no campo magnético de "anomalias do campo magnético" tendo um deslocamento para o oeste, indicando um forte movimento diferencial entre a crosta e o núcleo da Terra.

III. A IONOSFERA DA TERRA

Sendo a atmosfera da terra um fino invólucro gasoso que é composto principalmente de oxigênio (O_2) e nitrogênio (N_2), com pequenas quantidades de outros gases, como dióxido de carbono (CO2) e vapor d'água (H_2O). A atmosfera se estende na vertical por centenas de quilômetros, onde 99% da atmosfera fica dentro da camada com cerca de 30 km da superfície da Terra. Este fino manto de ar protege constantemente a superfície e seus habitantes da radiação ultravioleta do Sol e do bombardeio de material proveniente do espaço interplanetário. Ainda não existe limite superior definido para a atmosfera; tornando-se cada vez mais tênue, eventualmente se misturando com o espaço vazio. [8].

Uma vez que temos a atmosfera dividida em regiões ou camadas, estas podem ser definidas pela temperatura ou distribuição dos seus constituintes. Em termos de temperatura temos quatro camadas. A mais próxima a superfície é a troposfera, localizada até 15km de altura. Entre 15km e 50km está a estratosfera, nesta a temperatura aumenta com a altura. Em seguida temos a mesosfera, entre 50km e 80km cuja temperatura decresce com a altura. Adiante temos a termosfera onde a temperatura cresce em função da altura até atingir um pico, também chamada de temperatura exosférica. A distribuição das regiões varia conforme posição geográfica e hora local. Entre duas camadas existem as chamadas pausas (tropopausa, estrapausa, mesopausa), onde o gradiente de temperatura é nulo.

A figura 2 ilustra a ionosfera da Terra e suas diferentes regiões, de acordo com a altitude. A variação da densidade de ionização de baixo para cima é dividida por regiões que são denominadas C, D, E e F. A camada C está situada a partir de 50 km a 80 km acima da superfície terrestre, sendo composta de elétrons e íons positivos, negativos. Sendo também influenciada por raios cósmicos a ionosfera é caracterizada pela baixa perda de elétrons por fenômenos de transporte. A absorção de ondas de rádio é outra característica. Existe outra

região conhecida por camada D, acima da camada C, localizando-se em altitudes a partir de 60 km e 90 km. Em função de sua altitude, algumas vezes se sobrepõe à camada C, dificultando a identificação de ambas. A atenuação de RF é causada pela alta densidade de elétrons-livres gerada pela radiação solar na região [9]. Processo semelhante ao que ocorre com a camada C, que é pronunciada durante o dia. À noite, a ionização cessa, e consequentemente a atenuação também. A região E e "E esporádica", localiza-se acima da camada D e logicamente embaixo da F, a altitude média é entre 80 e 100 até 140 km. Semelhante à camada D, se forma e se mantém durante o dia, à noite se dissipa.

Dependendo das condições de vento solar e energia absorvida durante o dia, dependendo de algumas ocasiões a camada E pode permanecer esporadicamente à noite, este fenômeno quando ocorre é chamado de camada E Esporádica, que tem a particularidade de ficar mais ativa à medida que os raios solares são perpendiculares. [1, 19]. A região F divide-se em duas camadas durante o dia, F1 e F2 (figura 2). Próximo ao equador terrestre surge uma outra camada chamada F3 em certas épocas do ano. A camada F1 localizada acima da camada E, e abaixo da camada F2, entre 100 a 140 km até aproximadamente 200 Km. Entre 200 e 400 km de altitude está a camada F2 e é o principal meio de reflexão das ondas de rádios que dependem da ionosfera para se propagar. Na região F, a camada F3, quando se forma, está numa altitude aproximada de 500 a 700 km, ocorre geralmente ao amanhecer a aproximadamente 170° de latitude, aparece ao Norte e ao Sul do Equador Magnético.

Sendo conhecido que o fluxo de partículas muda de comportamento conforme se altera o ciclo de atividade solar. Ao descrever o fenômeno do movimento oscilatório e o deslocamento longitudinal, a combinação dos dois movimentos obriga as partículas formar uma espécie de "nuvem". Esta se desloca em grandes altitudes, e, em duas alturas diferentes (chamados de Cinturões de Van Allen, o externo e o interno) [10].

Como a ionosfera depende do fluxo ionizante de raios ultravioleta do Sol, sua densidade e localização variam entre o dia e a noite como mostrado nas figuras 2 e 3. Durante períodos de alta atividade solar, as explosões solares e o fluxo de radiação ultravioleta aumentam consideravelmente. Ao atingir a Terra, esta radiação energética aumenta a temperatura da ionosfera, além disso, algumas partículas carregadas de explosões ou ejeções de massa coronal conseguem penetrar na magnetosfera pelas regiões polares (como mostrado na figura 3 a seguir) aumentando a densidade de elétrons na ionosfera. A variação da densidade eletrônica da ionosfera vai alterar a altura onde uma onda de rádio de comunicação terrestre será refletida, impedindo sua detecção na estação destino e assim interrompendo temporariamente a comunicação. [11].

O plasma ionosférico que é energizado através da radiação solar causa um aumento de altitude da camada F2 não perdendo as suas características. O pico de ionização pode exceder a densidade de máxima de concentração durante um determinado tempo. A camada F2 ao subir, pode ser chamada de camada G, porém os processos físico-químicos da região F mostram que a dinâmica da camada F permanece. Assim sendo, a camada que subiu é dita F3 e a que se formou abaixo, F2.

A camada F3 pode ser dividida em dois tipos, dependendo da época e estação do ano, sendo do tipo 1, comum nos meses de verão e do tipo 2 nos meses de inverno. Esta dinâmica de formação F3 dá-se o nome de Anomalia Equatorial. A camada adicional, depois de seu aparecimento, continua a existir por mais 10 horas próximo ao equador (12).

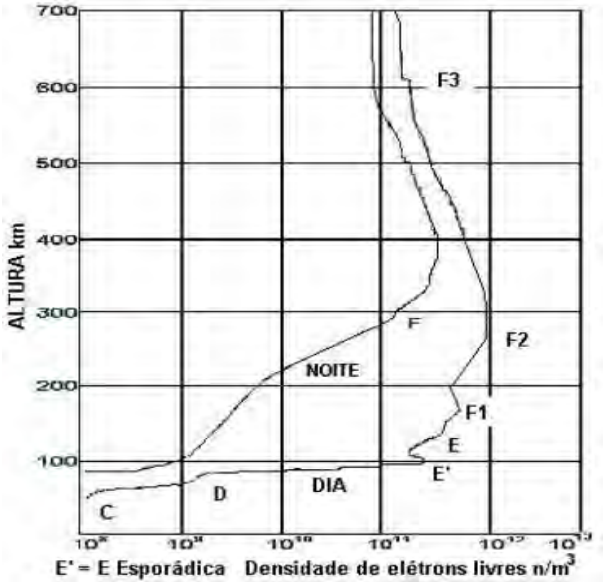


Fig. 4: Regiões ou camadas da Ionosfera da Terra. Durante o dia de baixo para cima: C, D, E e F. Durante a noite somente a região F permanece. Esporadicamente ocorre a camada "E Esporádica".

IV. TRANSMISSÕES IONOSFÉRICAS

As perturbações ionosféricas podem ser inesperadas e afetam a região exposta ao Sol, possuem limitada duração e na maioria das vezes atingem as frequências entre 2 a 30 MHz. Caso as perturbações sejam menos acentuadas com maior duração, as variações iônicas podem durar por um tempo que vai de algumas horas chegando a períodos bem mais extensos, como dias por exemplo. Durante uma tempestade solar os sinais que utilizem a ionosfera como meio de propagação diminuem drasticamente de intensidade e podem até se extinguir por um longo tempo, este tipo de fenômeno pode atingir todo o globo. (13).

A propagação da energia eletromagnética faz-se através de ondas eletromagnéticas. Estas são constituídas por duas entidades interdependentes entre si: o campo elétrico, E, e o campo magnético, H. Não é possível observar diretamente o campo elétrico e o campo magnético, a não ser através de uma representação artificial. Estes campos evoluem no espaço como uma onda, daí a designação de "onda eletromagnética". O produto destes dois campos resulta na densidade de potência, S. Uma onda eletromagnética pode ser criada por uma corrente elétrica variável no tempo.

O fenômeno da ionização tem sua intensidade variada durante o dia e principalmente do dia para a noite,

modificando as características da ionosfera e consequentemente alterando a propagação de ondas nessa região. Na faixa de espectro de radiofrequência VLF (*Very Low Frequency*) é utilizada como mecanismo de propagação a reflexão ionosférica. Para essa faixa de frequência a ionosfera se comporta aproximadamente como um condutor perfeito, introduzindo pequena atenuação na onda refletida. Pode-se considerar a propagação como se as ondas estivessem confinadas a um guia de onda limitado superiormente pela ionosfera e inferiormente pela superfície da Terra. Nesta superfície existe dissipação de energia, visto que não é um condutor perfeito.

A ionosfera tem seu comportamento alterado pela variação de seu maior agente ionizador, o Sol. Ocorrendo determinados fenômenos, como explosões solares, que libertam plasma por milhares de km de extensão e velocidades atingindo cerca de 2000 km/s que penetram na atmosfera terrestre pelas regiões polares. Quando há emissões de raios X, prótons e elétrons, chamamos fenômeno de Ejeção de Massa Coronal (figura 3). Quando as explosões ocorrem em direção à Terra, atingindo-a com uma chuva de partículas provocando grande e fortes perturbações na ionosfera como um todo. Quando nosso planeta está exposto, as características das camadas ionosféricas são alteradas produzindo severas perturbações nos sistemas de comunicação, chegando a provocar até mesmo o bloqueio total das comunicações por reflexão ionosférica, confundir sistemas de navegação, interromper comunicações de longa distância e causar danos em geral a equipamentos elétricos e eletrônicos importantes para o funcionamento da sociedade.

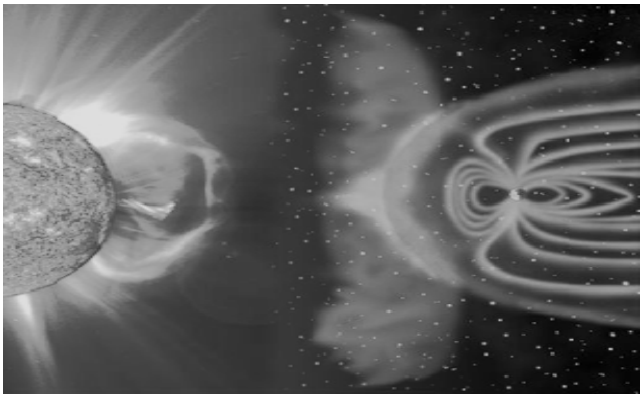


Fig. 3: Ejeção de massa coronal e viagem das partículas de radiação atingindo o campo magnético terrestre.

Podemos distinguir três partes em uma ejeção: um arco seguido de uma cavidade e um núcleo, como detalhado na figura 4. É suposto que o núcleo é composto por um filamento.

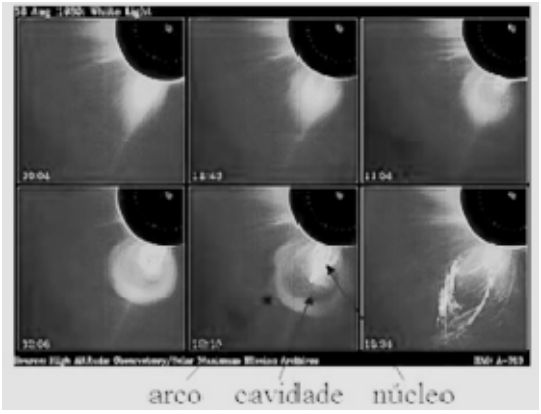


Fig. 5: Sequência de imagens de uma ejeção de massa coronal, desde o início da erupção em 10:04 TU (acima à esquerda) até 13:34 do tempo universal.

No início de uma ejeção ocorre uma diminuição do brilho em raios X da coroa no local onde ocorreu a ejeção de massa podendo ser observados coincidentemente nas imagens de satélites na faixa de raios X. Associados às regiões onde o brilho X diminui, são Observados desvios de efeitos Doppler de linhas de emissão na faixa ultravioleta, indica a existência de plasmas com velocidades de 30 a 100 km/s associados às regiões onde o brilho dos raios X diminui. Tendo como evidência de que uma grande quantidade de matéria foi retirada da coroa solar [14].

Da ordem de 10^{23}-10^{24}J, onde é basicamente a energia cinética do gás com velocidade de centenas de km/s a energia de uma ejeção de massa coronal. O valor assemelha-se à quantidade de energia liberada em uma grande explosão solar, cuja energia magnética transformada em aceleração de partículas, eventualmente emitirão os raios X carregados de alta energia [14].

Nas ejeções de massa coronal são arremessados de 1 a 10 bilhões de toneladas de matéria solar e à distância de poucos raios solares, a matéria ejetada atinge velocidades que variam de $1x10^5$ a $2x10^6$m/s. Sejam quantidades significativas de matérias para os padrões terrestres, somadas ao longo de anos as perdas por ejeções representam menos que 5% da perda de massa energética pelo vento solar contínuo de 10^9 kg/s, e podem ser completamente desprezadas frente à massa total do Sol, que é de $2x10^{30}$ kg. [15].

As ejeções de massa coronal são associadas com o desaparecimento de filamentos e erupções de proeminências enquanto quase metade das vezes acontecem juntamente com explosões solares. Erupções de proeminências e explosões de algumas ejeções acontecem simultaneamente.

Ejeções e explosões solares são consequência da reconfiguração magnética da coroa do Sol, que são as fontes de energias destes fenômenos.

Nos períodos que o Sol encontra-se no seu máximo solar, observam-se cerca de duas a três ejeções por dia, ejeções estas ocorrem em latitudes cada vez mais altas neste período. No seu mínimo solar essas mesmas ejeções estão restritas ao equador solar observando apenas uma por semana.

V. CONCLUSÃO

Um estudo detalhado sobre as características do geomagnetismo, assim como das regiões ionosféricas, suas aplicações, influências nas transmissões de rádio enlace e na transmissão de energia elétrica usada nos dispositivos eletrônicos atuais tem uma extrema importância para precaver e preparar nossa sociedade dos fenômenos naturais celestes.

As mudanças do campo magnético terrestre ocorrem à medida que o tempo passa, porém, esta mudança é lenta e varia com o movimento convectivo do interior do planeta, causando anomalias aos quais prejudicam as aplicações sem fio de longa distância, impossibilitando as comunicações, assim como a atividade solar e suas ejeções de matéria altamente carregada causando distorções no meio físico da ionosfera, impossibilitando a correta condutividade para o uso preciso e correto dos transmissores de sinais até sua chegada nos receptores, sem estes parâmetros físicos à informação enviada acarreta perda de sinal e distúrbios, chegando em seu destino final alterada, impossibilitando a correta leitura da informação.

As comunicações intercontinentais e via satélite são de extrema importância para a sociedade nos dias de hoje, nutrindo todos os mecanismos de defesa militar, entretenimento digital, prestação de serviços de telecomunicações à população, geoprocessamento meteorológico, transportes de cargas e passageiros tanto terrestres, fluviais e aéreos, portanto, o seu correto e contínuo funcionamento afeta uma gama muito extensa do bem estar mundial como a economia mundial.

REFERÊNCIAS

[1] W. D. PARKINSON, “Introduction to Geomagnetism. Edinburgh, Scotland: Scottish Academic, 1983. 433p. ISBN 7073 0292 7.

[2] G. K. RANGARAJAN; L.M. BARRETO, “Secular change in the Location of the Magnetic dip Equator in the Twentieth Century.” Geofísica. Internacional, v. 39, n. 4, pp. 323-336, 2000.

[3] M. A. ABDU, “Equatorial Ionosphere-Thermosphere System: Electrodynamics and Irregularities.” Advances in Spaces Research, v 35, n 5, pp. 771-787, 2005.

[4] E. M. Diogo, "Estudo da Anomalia Equatorial de Ionização." São José dos Campos. pp 23; INPE-15377TDI/1396.

[5] P. DEMOREST, “Dynamo Theory and Earth Magnetic Field.” University of California Review. Berkeley-CAV101, n 23, p113-131, 2001.

[6] S. TSIAO, “Read you Loud and Clear! The Story of NASA Spaceflight Tracking and Data Network: Endnotes.” Washington DC: NASA History Division Office of External Relations, 2008.

[7] A. M SABOIA; G. C. MARQUES, “Anomalia Magnética do Atlântico Sul. Seminário realizado na Universidade de Brasília. 2005.

[8] M. G. A. J. A. SILVA, “Terra e sua Atmosfera.” Universidade Federal Do Rio De Janeiro. pp 2. 1998.

[9] N. L. BRUN; E. H. RITCHIE, “Astronautics and Aeronautics. Scientific and Technical Information Branch, 1975”, Washington DC: NASA History Division Office of External Relations, 1979.

[10] A. A. LEITHOLD, “Estudo da Propagação de Rádio e das Descargas Atmosféricas na Região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul.” Faculdades Integrada Espírita. Curitiba. 2010, pp 34.

[11] A. V. R. SILVA, “Nossa Estrela: o Sol.” 1° Ed. São Paulo. 2006. 166p. ISBN 85 88325 65 9.

[12] N. BALAN; G. J. BAILEY; M. A. ABDU; K. I. OYAMA; P. G. RICHARDS; J. MACDOUGALL; I. S. BATISTA, “Equatorial plasma fountain and its effects over three location: evidence for additional layer, the F3 layer.” J. Geophys. Res., v. 102, n. A2, pp. 2047-2056, 1997.

[13] A. A. LEITHOLD, “Reflexão Ionosférica: Como a Radiofrequência Reflete na Ionosfera, Lei de Snell.” Curitiba. 2010, pp 3.

[14] A.B.M. VÁLIO, “O Sol Como Uma Estrela – Parte 2. 2012, 22p.

[15] S. O. KEPLER; M. F. O. SARAIVA, “Astronomia e Astrofísica.” São Paulo. 2004. v. 1. 760 p.

Arranjo de antenas adaptativas para Sistemas 4G

Diogo Carvalho de Souza e Silva
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
diogoc@gee.inatel.br

Arismar Cerqueira Sodré Junior
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
arismar@inatel.br

***Resumo*— A utilização de arranjos de antenas adaptativas em sistemas 4G visa torná-los mais robustos e confiáveis. Isto porque um sistema de antenas adaptativas tem a capacidade de direcionar o diagrama de irradiação, aumentando-se o ganho, na direção de um usuário desejado e anular o diagrama de irradiação, diminuindo-se o ganho, na direção de interferência. Este artigo ilustra o projeto de um arranjo de antenas adaptativas constituído de elementos de antenas ressoadoras dielétricas distribuídos em uma superfície conformal cilíndrica. É apresentado o conceito de arranjos de antenas adaptativas. Em seguida, são apresentadas a definição, as vantagens e um projeto de uma antena ressoadora dielétrica. Finalmente, é apresentado o conceito de arranjo conformal, bem como uma proposta de arranjo a ser utilizado em um sistema de antenas adaptativas.**

***Palavras chave*— Antenas Adaptativas, Arranjo Conformal de Antenas, Antena Ressoadora Dielétrica, DRA.**

***Abstract* — The utilization of adaptive antenna arrays in 4G systems intend to make them stronger and reliable. It is due to adaptive antenna array system ability of direct it is radiation pattern, which increase the gain in the direction of a desired user and cancel the radiation pattern in the direction of interference. This paper illustrates the design of an adaptive antenna array constituted of dielectric resonators antennas elements distributed in a cylindrical conformal surface. It is presented the concept of adaptive antenna array. Subsequently, it is presented the definition, benefits and design of a dielectric resonator antenna. Finally, it is presented the concept of conformal array, as well as a proposed array to be used in a system of adaptive antennas.**

***Keywords*— Adaptive Antennas, Conformal Antenna Array, Dielectric Resonator Antenna, DRA.**

I. INTRODUÇÃO

Um único elemento irradiante geralmente não é capaz de atender todos os requisitos técnicos necessários a uma determinada aplicação. No entanto, com a utilização de vários elementos irradiantes arranjados no espaço, e interconectados entre si, é possível atender tais requisitos. Este conjunto de elementos irradiantes é comumente chamado de arranjo de antenas.

O diagrama de irradiação de um arranjo de antenas pode ser caracterizado pelo diagrama de irradiação individual do elemento irradiante utilizado, pela distribuição geométrica empregada no arranjo e pela fase e amplitude da corrente de excitação de cada elemento. Ajustando os parâmetros comuns a esses elementos é possível modificar de forma controlada o diagrama de irradiação de um arranjo de antenas. Com a combinação de arranjo de antenas e processamentos digitais de sinais é possível se obter um controle dinâmico e robusto das características de irradiação de um arranjo de antenas. A essa combinação é dado o nome de arranjo de antenas adaptativas.

Um arranjo de antenas adaptativas é capaz de direcionar o diagrama de irradiação para um usuário de interesse e acompanhá-lo caso apresente movimento. Ele também é capaz de determinar nulos de irradiação nas direções de usuários indesejados, minimizando assim a interferência causada por estes sinais. Este direcionamento de feixe é exemplificado na Figura 1.

O controle do direcionamento do diagrama de irradiação é realizado através de uma combinação dos sinais recebidos em cada um dos elementos do arranjo em uma única saída. A combinação dos sinais recebidos é realizada por meio de uma rede adaptativa que tem a função de gerenciar os pesos complexos de cada um dos elementos do arranjo. O processador digital de sinais interpreta as informações dos sinais recebidos e a partir de algoritmos adaptativos, determinará os pesos complexos de ganho e fase para cada um dos elementos do arranjo.

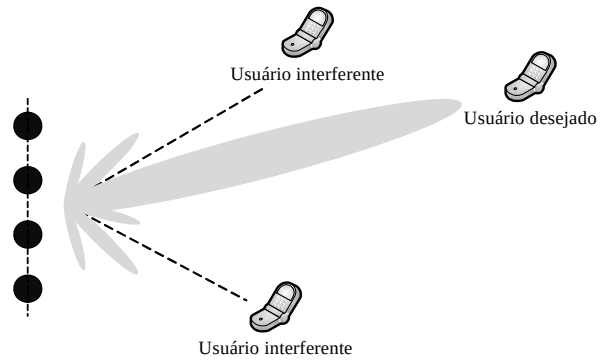


Figura 1 – Direcionamento de feixe de um arranjo de antenas adaptativo.

D. C. S. Silva (diogoc@inatel.br) e Arismar Cerqueira S. Jr. (arismar@inatel.br) pertencem ao Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel. Av. João de Camargo, 510 - Santa Rita do Sapucaí - MG - Brasil - 37540-000.

II. ANTENA RESSOADORA DIELÉTRICA

O conceito de se utilizar materiais dielétricos na construção de ressoadores de microondas foi inicialmente proposto pelo físico americano Richtmeyer no ano de 1939. Nesta ocasião, foi demonstrado que estruturas dielétricas poderiam operar de maneira semelhante a uma cavidade ressonante. Richtmeyer também demonstrou que esta mesma estrutura dielétrica deveria ser capaz de irradiar devido às condições de contorno na interface entre o meio dielétrico e o ar [1]. No entanto, o primeiro ressoador dielétrico (DR) foi desenvolvido após vinte anos, no ano de 1962, pelos pesquisadores Okaya e Barash da Universidade de Columbia [2]. No ano de 1968 foi apresentado por Cohn um extenso estudo teórico e experimental de um ressoador dielétrico [3]. Apesar de todo suporte teórico estabelecido, a utilização de ressoadores dielétricos como um elemento de circuito passou a ser considerada apenas com o advento de materiais cerâmicos de baixa perda [4]. Os ressoadores dielétricos podem ser produzidos seguindo diversos formatos geométricos, tais como: retangular, cilíndrico, hemisférico, etc. Eles são construídos de materiais que apresentam permissividade dielétrica relativa (εr) com valores na faixa de 4 a 100 e são geralmente inseridos em cavidades metálicas (blindagens) para se prevenir a perda por irradiação e, consequentemente, preservar um elevado fator de qualidade em aplicações de osciladores e filtros [5].

Na ausência de uma cavidade metálica e com uma excitação adequada de certos modos de propagação, um ressoador dielétrico pode se tornar um eficiente elemento irradiador de energia. Este conceito levou à exploração de ressoadores dielétricos como antenas, dando origem as antenas DRA. Os modos excitados, as frequências de ressonância e as características de irradiação de uma antena DRA são determinados pelo seu formato geométrico, permissividade dielétrica relativa (εr) e mecanismo de acoplamento. As primeiras antenas DRA foram propostas por Long e McAllister sob a forma de antenas retangulares [6], cilíndricas [7] e hemisféricas [8].

Uma antena DRA é capaz de oferecer grande flexibilidade e versatilidade dentro de uma ampla faixa de frequência (1GHz a 44GHz), possibilitando a sua utilização em diversas aplicações. Apresentando as seguintes vantagens:

- Miniaturização: as dimensões de uma antena DRA são proporcionais ao comprimento de onda guiado, dado por $\lambda_0/\sqrt{\varepsilon_r}$, onde λ_0 é o comprimento de onda na frequência de ressonância e εr é a permissividade dielétrica relativa. Como a permissividade dielétrica relativa do dielétrico empregado pode assumir valores na faixa de 4 a 100, há uma redução natural nas dimensões da antena;
- Largura de banda: em comparação com antenas de microlinha de fita, as antenas DRA apresentam maior largura de banda;
- Modos excitados: dependendo da geometria utilizada no projeto da antena DRA, vários modos podem ser excitados dentro de um único elemento, esses modos podem produzir diferentes padrões de irradiação;
- Técnicas de excitação: há a possibilidade de se trabalhar com diferentes mecanismos de acoplamento de energia.

III. PROJETO DE UMA ANTENA RESSOADORA DIELÉTRICA

Os elementos do arranjo de antenas adaptativas são constituídos de antenas ressoadoras dielétricas cilíndricas (CDRA). O formato cilíndrico foi escolhido devido a sua facilidade de projeto e fabricação. Os elementos deste arranjo são excitados utilizando o mecanismo de acoplamento de energia por fenda-microfita. O ressoador dielétrico cilíndrico apresenta raio (*a*) e altura (*d*), como apresentado na Figura 2. O projeto das dimensões do ressoador e a sua frequência de ressonância podem ser obtidos em [9].

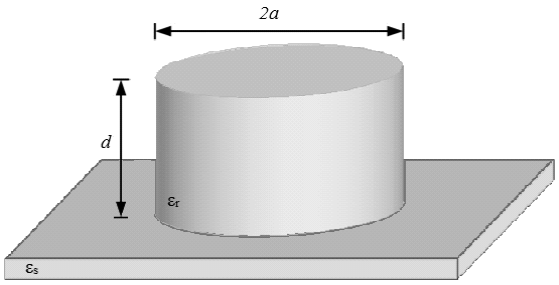


Figura 2 – Metodologia de projeto dimensões DRA.

A fenda retangular do mecanismo de acoplamento de energia por fenda-microfita apresenta comprimento (*ls*), largura (*ws*) e comprimento do toco (*s*), como mostrado na Figura 3. O comprimento da fenda *(ls*) deve ser escolhido como grande suficiente para que haja acoplamento entre a antena DRA e a microlinha de fita, mas suficientemente pequena para que ela não entre em ressonância com a banda de funcionamento. A largura da fenda (*ws*) é bastante estreita e deve ser escolhida para se evitar um lóbulo traseiro grande no diagrama de irradiação da antena. A extensão do toco (*s*) é escolhida de tal forma que sua reatância cancele a reatância apresentada pela fenda. Uma estimação inicial do comprimento fenda (*ls*), da largura da fenda (*ws*) e da extensão do toco (*s*) podem ser obtidas em [10].

A microlinha de fita do mecanismo de acoplamento de energia por fenda-microfita apresenta comprimento (*l*), largura (*w*) e impedância característica (Z_0), como mostrado na Figura 3. A largura da microlinha de fita (*w*) deve ser calculada de tal forma que a linha apresente impedância característica de 50 Ω. O cálculo da impedância característica (Z0) da linha depende da relação entre a largura da microlinha de fita (w) e a altura do substrato (h) [11].

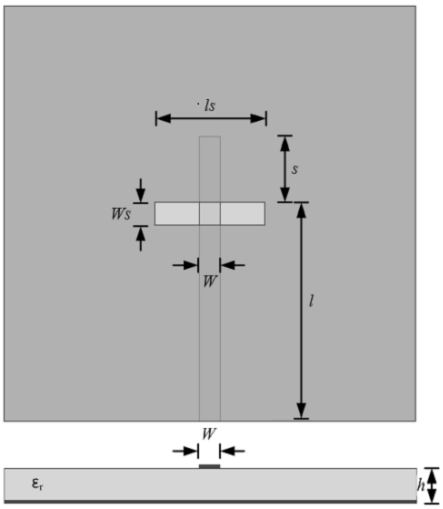


Figura 3 - Metodologia de projeto mecanismos de acoplamento por fenda-microfita.

O projeto da antena CDRA foi realizado para operação na frequência de 5,8GHz. Utilizou-se esta faixa de frequência, pela disponibilidade de uma ERB WiMAX que opera na banda ISM de 5,8GHz. O material dielétrico utilizado no projeto do ressoador dielétrico cilíndrico apresenta εr=10, resultando em um raio a=6,7mm e altura d=6,7mm. O substrato utilizado no projeto foi a alumina com εs=9,4 e altura h=1mm, com dimensões de 25 x 25mm. A fenda retangular obtida apresenta comprimento ls=6,643mm, largura ws=1,3286mm e comprimento do toco s=4mm. A microlinha de fita obtida apresenta largura w=1,3286mm e l= 13,1643mm.

A perda por retorno simulada é mostrada na Figura 4. A frequência de ressonância apresentada pela antena é 5,92GHz. A largura de banda em valor absoluto obtida neste projeto é igual a 0,54GHz, resultando em um valor percentual da ordem de 9,12%. Pode-se observar uma diferença entre a frequência de ressonância e a frequência de projeto da antena, esta diferença pode ser justificada nas aproximações e otimizações realizadas no projeto da antena e da alimentação. Podendo ser desconsiderada, uma vez que a frequência de operação da ERB WiMAX (5,725~5,875GHz) está compreendida na largura de faixa da antena.

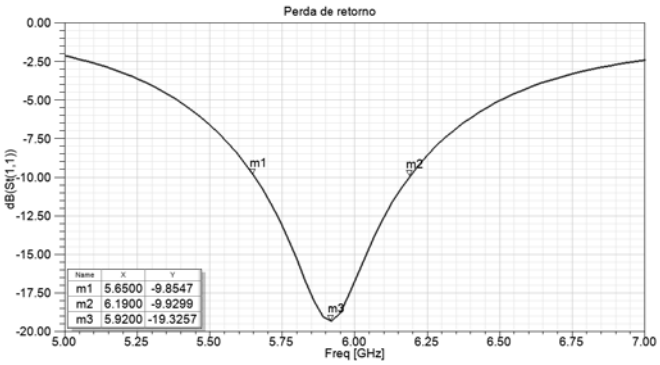


Figura 4 - Perda por retorno para a antena DRA em 5,8GHz.

O diagrama de irradiação polar vertical simulado é apresentado na Figura 5. Pode-se observar um diagrama de irradiação direcional com ganho de 6,25dBi perpendicular a antena DRA com uma largura de feixe de meia potência de 110º. Para melhor ilustrar as características de irradiação da antena DRA projetada, o diagrama de irradiação na forma tridimensional é mostrado na Figura 5.

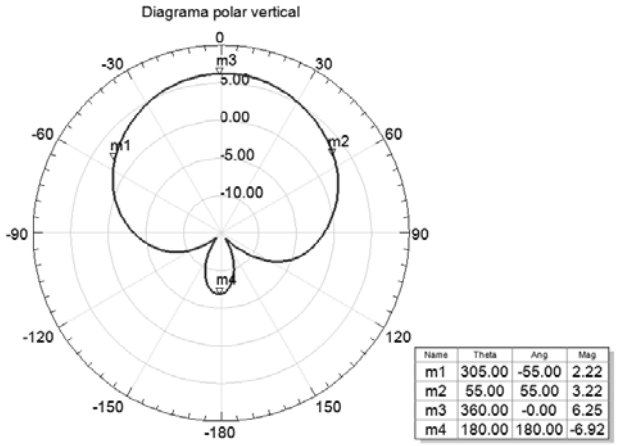


Figura 5 - Diagrama de irradiação polar vertical para a antena DRA em 5,8GHz.

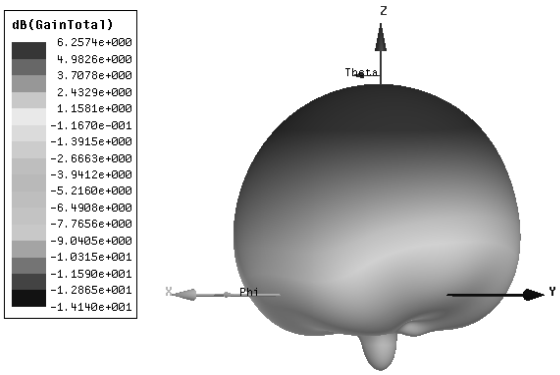


Figura 6 - Diagrama de irradiação 3D para a antena DRA em 5,8GHz.

IV. ARRANJO CONFORMAL DE ANTENAS ADAPTATIVAS

Um arranjo conformal é aquele que se modela a uma superfície não planar, por exemplo: cilindros, cones, esferas, etc. Um arranjo conformal cilíndrico tem um potencial de cobertura de 360º, podendo operar com diagrama de irradiação omnidirecional, múltiplos feixes ou um feixe estreito que pode ser guiado ao longo de 360º. Essa característica de diagrama de irradiação torna-se muito interessante o emprego de um arranjo conformal cilíndrico em antenas adaptativas.

Um arranjo com múltiplas faces pode ser aproximado de maneira satisfatória a um arranjo conformal curvilíneo e cada uma das faces pode ser considerada um sub-arranjo planar. Tal estratégia simplifica a construção de uma antena conformal e diminui o seu custo de fabricação, além de facilitar a sua integração ao sistema de recepção [13].

Foi realizado o projeto de um arranjo de antenas adaptativo constituído de elementos de antenas ressoadoras dielétricas distribuídos em uma superfície conformal cilíndrica. O arranjo conformal cilíndrico apresenta múltiplas faces, contando com

dezesseis elementos de antena ressoadora dielétrica cilíndrica, como mostrado na Figura 7.

O arranjo de antenas adaptativo foi projetado para operar na frequência de 5,8GHz em aplicações de sistemas celulares 4G utilizando a antena DRA projetada como elemento irradiante. O espaçamento entre os elementos do arranjo é de aproximadamente 0,55λ e o raio do cilindro é de aproximadamente 1,25λ. O projeto do arranjo de antenas adaptativo foi simulado e otimizado utilizando o software de simulação eletromagnética ANSYS HFSS [12].

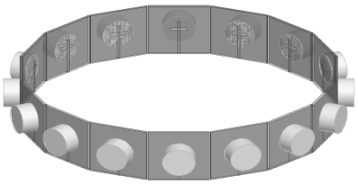


Figura 7 – Arranjo conformal de antenas adaptativo.

A perda por retorno foi analisada numericamente para os dezesseis elementos do arranjo e é mostrada na Figura 8. A frequência de ressonância apresentada pelo arranjo de antenas é de 5,71GHz. A largura de banda em valor absoluto obtida neste projeto é igual a 0,42GHz, resultando em um valor percentual da ordem de 7,35%.

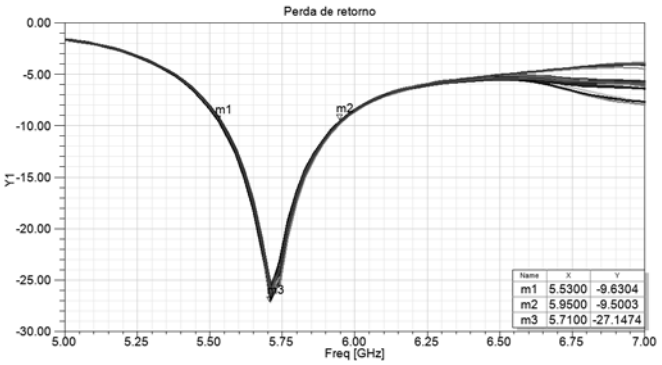
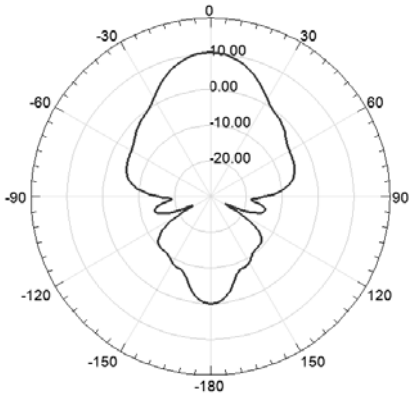
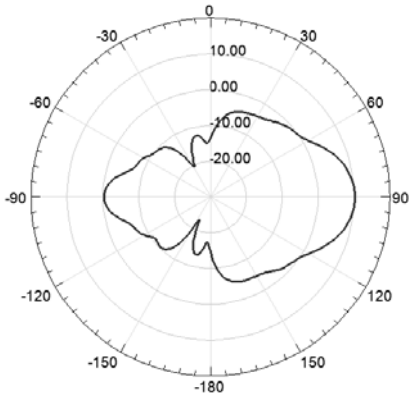


Figura 8 - Perda por retorno para o arranjo de antenas DRA.

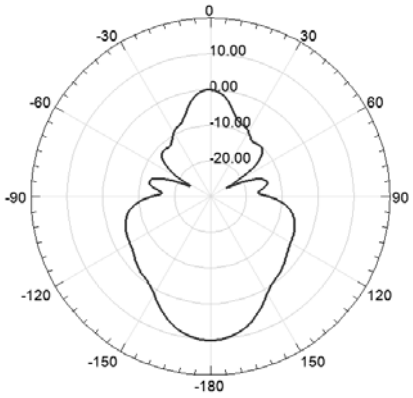
Ao se excitar em fase três elementos do arranjo de antenas, pode-se observar um direcionamento do diagrama de irradiação e, consequentemente, um aumento do ganho do arranjo de antenas nesta direção. O ganho obtido ao se excitar três elementos do arranjo é de 10,43dBi com uma largura de feixe de meia potência de 34º. O direcionamento do lóbulo principal do diagrama irradiação do arranjo de antenas adaptativo é ilustrado nas Figuras 9 e 10. Pode-se observar uma varredura do lóbulo principal em todo plano horizontal, em direção de ϕ, com um ganho máximo de 10,43dBi. Um melhor desempenho no direcionamento lóbulo principal pode ser obtido utilizando um algoritmo adaptativo na ponderação dos pesos complexos de ganho e fase de cada um dos elementos do arranjo.



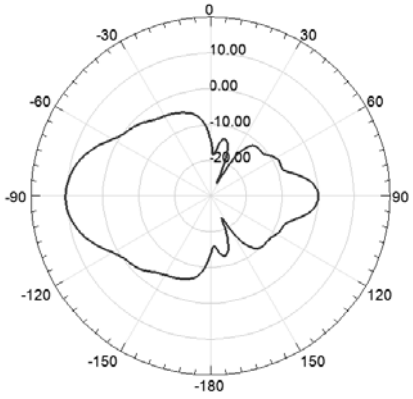
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 9 - Diagrama de irradiação polar horizontal em diferentes direções:

(a) ϕ = 0º.;(b) ϕ = 90º; (c) ϕ = 180º (d) ϕ = 270º.

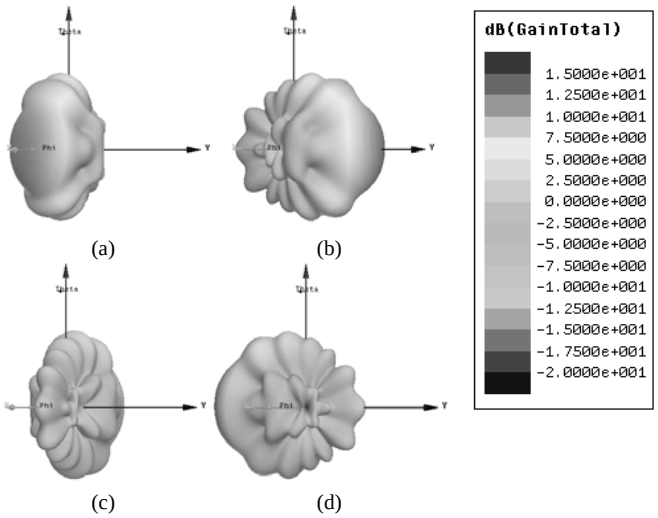


Figura 10 - Diagrama de irradiação 3D em diferentes direções. (a) ϕ = 0º. (b) ϕ = 90º. (c) ϕ = 180º. (a) ϕ = 270º.

V. CONCLUSÕES

O emprego de antenas DRA como elementos irradiantes de um arranjo conformal de antenas adaptativas apresentou resultado bastante satisfatório, possibilitando a realização de uma varredura completa no plano horizontal de irradiação. Um desempenho superior no direcionamento do diagrama de irradiação em um ambiente real, contendo usuários desejados e indesejados (interferentes), pode ser obtido utilizando algoritmos adaptativos na formação do feixe de irradiação. Tal arranjo mostra-se eficaz na melhora de desempenho de sistemas de redes sem fios e sua utilização já está prevista em sistemas de Quarta Geração, como WiMAX e LTE.

A utilização de antenas adaptativas em sistemas redes sem fios apresenta uma melhora significativa no desempenho destas redes, proporcionando ao usuário uma melhor experiência de uso. O direcionamento do feixe de irradiação para um usuário específico proporciona inúmeras vantagens, tais como: redução do nível de interferência, aumento das distâncias de cobertura, determinação da posição geográfica do usuário, reutilização de frequências por usuários adjacentes e, consequentemente, o aumento da largura de banda disponível por usuário. Além de oferecer um nível a mais de segurança a rede, já que para interceptar uma comunicação sem fio qualquer seria necessário estar bem próximo ao usuário alvo daquele sistema. O emprego de sistemas de antenas adaptativas já é uma realidade nas redes sem fios atuais e seu uso será ainda mais difundido com a redução de preço e complexidade de implantação desses sistemas.

VI. REFERÊNCIAS

[1] R. D. Richtmyer, “Dielectric resonators,” Journal of Applied Physics, vol. 10, no. 6, pp. 391–398, 1939.

[2] A. Okaya and L. F. Barash, “The dielectric microwave resonator,” Proceedings of the IRE, vol. 50, no. 10, pp. 2081–2092, 1962.

[3] S. B. Cohn, “Microwave Bandpass Filters Containing High-Q Dielectric Resonators,” IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 16, no. 4, pp. 218 – 227, Abril 1968.

[4] D. J. Masse, R. A. Pucel, D. W. Readey, E. A. Maguire, and C. P. Hartwig, “A new low-loss high-k temperature-compensated dielectric for microwave applications,” Proceedings of the IEEE, vol. 59, no. 11, pp. 1628–1629, 1971.

[5] A. A. Kishk and Y. M. M. Antar, “Dielectric resonator antennas,” Antenna Engineering Handbook, 2007.

[6] M. W. McAllister, S. A. Long, and G. L. Conway, “Rectangular dielectric resonator antenna,” Electronics Letters, vol. 19, no. 6, pp. 218–219, 1983.

[7] S. Long, M. McAllister, and L. Shen, “The resonant cylindrical dielectric cavity antenna,” Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, vol. 31, no. 3, pp. 406–412, 1983.

[8] M. W. McAllister and S. A. Long, “Resonant hemispherical dielectric antenna,” Electronics Letters, vol. 20, no. 16, pp. 657 –659, 1984.

[9] K. M. Luk and K. W. Leung, Dielectric resonator antennas. Research Studies Press, 2003.

[10] A. Petosa, Dielectric resonator antenna handbook. Artech House Boston, London, 2007.

[11] R. Ludwig, RF Circuit Design: Theory & Applications, 2/e. Pearson Education India, 2000.

[12] “ANSYS HFSS.” [Online]. Available: http://www.ansys.com/Products/Simulation+Technology/Electromagnetics/High-Performance+Electronic+Design/ANSYS+HFSS. [Accessed: 25-Nov-2012].

[13] L. Josefsson and P. Persson, Conformal array antenna theory and design, vol. 29. Wiley-IEEE Press, 2006.

Estudo sistêmico das redes ASON e protocolos de roteamento e atribuição de comprimento de onda.

Claudinei da Silva Rosa

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
claudinei_net@yahoo.com.br

Guilherme Pedro Aquino

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
guilhermeaquino@inatel.br

***Resumo*—O objetivo deste artigo é fazer uma revisão dos temas principais relacionados à rede óptica comutada automaticamente ASON. Dentre os temas abordados estão os algoritmos de roteamento de comprimento de onda e os algoritmos de atribuição de comprimento de onda. Além disso, será feito um estudo com relação ao uso de EDFAs neste tipo de rede, e os problemas que podem ocorrer com estes amplificadores quando a rede atribui novas rotas e novos serviços dinamicamente.**

***Palavras chave*—ASON, RWA, EDFA, DWDM.**

I. INTRODUÇÃO.

O Hoje em dia é notório o grande aumento dos serviços de transmissão de dados em banda larga [1]. Serviços como voz, dados e vídeo vêm requerendo cada vez mais recursos das redes para escoamento dos dados. Portanto, é necessária uma rede que forneça altas taxas de transmissão, transporte transparente [2] e custo relativamente baixo. As redes de transporte ópticas baseadas em multiplexação por divisão em comprimento de onda denso (DWDM – *Dense Wavelength Division Multiplexing*) [3] são uma ótima alternativa a este panorama atual. Estas redes possuem alta capacidade de tráfego, elevadas qualidade de transmissão e baixa atenuação, o que permite enlaces com grandes distâncias e grandes taxas de transferência de bit [4].

A multiplexação por comprimento de onda (WDM) permite que vários canais ópticos sejam transmitidos em uma única fibra óptica. Cada canal ocupa uma determinada largura de faixa em um comprimento de onda (λ_n) específico dentro da fibra. Cada canal pode transportar informações distintas, com seu próprio esquema de modulação e codificação, permitindo assim, que cada canal tenha sua própria taxa de transmissão de bit. A soma das taxas de cada comprimento de onda dentro da fibra fornece a taxa de transmissão total desta fibra. As pesquisas em DWDM não param de derrubar os recordes do número de canais multiplexados em uma única fibra, que já ultrapassam a casa de alguns milhares de canais, assim como da taxa máxima transmitida, que já ultrapassa a casa de Tbps (Terabits por segundo).

As redes ópticas com roteamento por comprimento de onda (WRN – *Wavelength Routing Networks*) [5] proporcionam aos sistemas de comunicações um grande aumento em sua flexibilidade e, consequentemente, em capacidade de transmissão, que ocorre através da otimização da infra-estrutura disponível de fibras ópticas. Neste tipo de rede, a configuração, a proteção e a restauração de caminhos ópticos são processos dinâmicos e automáticos, realizados através de elementos capazes de promover a inserção e remoção de sinais ópticos, em determinados pontos da rede, proporcionando, assim, um elevado grau de reconfigurabilidade a mesma.

A Rede Óptica Comutada Automaticamente (ASON – *Automatically Switched Optical Network*) [6] é um tipo de rede de transporte comutada automaticamente (ASTN – *Automatically Switched Optical Network*) [7] adaptada para conexões orientada a circuito ou redes de transporte de pacotes [6].

A rede ASON tem por função estabelecer uma rota e um comprimento de onda dentro da rede óptica WDM para um determinado serviço. Em caso de falhas ou problemas na estrutura da rede óptica (ex: rompimento de fibra), a rede reconfigura automaticamente novos caminhos e novos comprimentos de onda para manter a qualidade de serviço necessária. Portanto, a rede ASON atribui características de resiliência à rede óptica, aumentando a confiabilidade do serviço de transporte de informações.

Para o funcionamento da rede ASON é necessário o uso de um algoritmo de atribuição de caminhos e de comprimento de ondas, denominado de RWA (*Routing and Wavelength Assignment*) [8]. A atribuição da rota e do comprimento de onda para um determinado serviço deve otimizar a utilização dos recursos de redes disponíveis.

Embora a rede ASON traga benefícios às comunicações ópticas, existem alguns problemas que são conhecidos. Como

C. S. Rosa (claudinei_net@yahoo.com.br) e G. P. Aquino (guilhermeaquino@inatel.br) pertencem ao Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel. Av. João de Camargo, 510 - Santa Rita do Sapucaí - MG - Brasil - 37540-000.

por exemplo, os efeitos não-lineares causados pela saturação de amplificadores à fibra dopada com érbio (EDFA – *Erbium Doped Fiber Amplifier*) [9], quando ocorre um novo estabelecimento de rota (*re-routing*) devido às falhas de conexão.

Sendo assim, este trabalho tem por objetivo estudar as características da rede ASON, bem como apresentar alguns algoritmos de atribuição e roteamento de comprimento de onda. Além disso, o estudo discutirá o problema do controle de ganho dos amplificadores EDFA. Além disso, fará um levantamento sobre as referências bibliográficas sobre o assunto.

Para o cumprimento do objetivo deste artigo, a Seção II apresenta a arquitetura lógica da rede ASON, enquanto que a Seção III mostra as principais funcionalidades dos algoritmos de roteamento e atribuição de comprimento de onda. A Seção IV apresenta o problema da utilização do EDFA neste tipo de rede, e a Seção V traz as conclusões deste artigo.

II. ARQUITETURA DAS REDES ASON.

As discussões sobre as Redes Ópticas Comutáveis Automaticamente (ASON) se iniciaram em 1999 pelo International Telecommunications Union - Telecommunications (ITU-T) e foi aprovada a primeira versão da Recomendação ITU-T G.8080 em 2001 [6].

O termo ASON refere-se a uma arquitetura de rede projetada para configurar, de forma automática, as conexões fim-a-fim entre elementos de rede (NE – *Network Element*) ópticos. Para isso, a rede ASON pode ser subdividida em três planos distintos: (i) plano de transporte, (ii) plano de controle, e (iii) plano de gerenciamento. Através de um sistema de controle e gerenciamento inteligente, a rede ASON pode garantir proteções e restaurações de rotas ópticas, controle de admissão de conexões e controle de QoS (Quality of Service) a diversos serviços. Todas estas vantagens podem ser aproveitadas em diversas topologias de redes ópticas, especialmente, em malha [10]. A Figura 1 ilustra as divisões de planos de uma rede ASON.

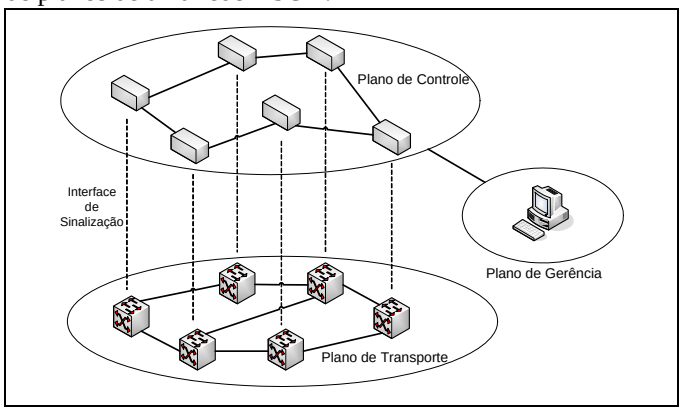


Fig. 1. Divisão da ASON em plano de transporte, controle e gerenciamento.

O Plano de Transporte da ASON (ATP – *ASON Transport Plane*) provê a transferência unidirecional ou bidirecional das informações dos usuários finais de um NE a outro e detecta as informações do estado da conexão (por exemplo: falhas e qualidade do sinal óptico). Pela Figura 1 pode-se notar que existem equipamentos ópticos interligados em malha. Os comprimentos de onda desse plano podem ser comutados para criar qualquer rota possível entre qualquer NE. As soluções desenvolvidas para realização das comutações nas redes totalmente ópticas foram introduzidas por equipamentos como OXC (*Optical Crossconect*) [11], OADM (*Optical Add/Drop Multiplexer*) [12] e ROADM (*Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer*) [13].

OADM, que atualmente é maioria nas redes ópticas existentes, possui a função de inserir ou retirar comprimentos de onda passivamente em um ponto qualquer da rede óptica. Já o ROADM é capaz de prover, além da inserção e retirada de canais, mecanismos de reconfiguração baseados em monitoramento de potência e em chaves ópticas por canal, onde estas são capazes de aprovisionar caminhos ópticos e possibilitar estratégias de proteção na camada óptica. O OXC é um dispositivo composto por várias chaves ópticas. Este possui certa inteligência, sendo capaz de restaurar caminhos ópticos ou reconfigurar a rede de acordo com os algoritmos responsáveis por estas tarefas, que se encontram no plano de controle da rede. No OXC, diferentemente do ROADM, cada comprimento de onda utilizado na rede pode ter seu tráfego redirecionado para qualquer um dos outros comprimentos de onda disponíveis, possibilitando assim, o reuso de comprimentos de onda na rede óptica.

A função do Plano de Controle da ASON (ACP – *ASON Control Plane*) é controlar a admissão de novos canais, configurar e manter as rotas fim-a-fim entre elementos do plano de transporte. Para tal, deve existir uma conexão do ACP com o ATP através de interfaces de sinalização, como pode ser visto na Figura 1. As rotas podem ser definidas pelo ACP de maneira automatizada, ou pode ser definida pelo gerente da rede através de comandos vindos do plano de gerência. Os elementos do ACP possuem várias funcionalidades. Dentre elas, pode-se citar o controle de conexões (CC – Connection Controller) que avalia se uma nova conexão pode ou não ser permitida. Algumas características são avaliadas na nova conexão, como, existência de um canal livre, capacidade de tráfego deste canal, entre outros. Outra funcionalidade é o controle de roteamento (RC – *Routing Controller*) que avalia o melhor caminho entre dois NE em uma rede em malha. Várias métricas podem ser avaliadas para decisão da melhor rota. Portanto, o caminho será decidido por um algoritmo de roteamento presente no ACP. Alguns destes algoritmos serão apresentados na Sessão III. Além destas duas funcionalidades, o ACP também é responsável por gerenciar os recursos do enlace (LRM – *Link Resource Manager*), policiamento de tráfego (TP – *Traffic Policing*), entre outras. Estas funcionalidades juntas irão trabalhar para que quando ocorrer uma falha na rede (rompimento de uma fibra, por exemplo) o mecanismo de sobrevivência [14] contido ACP se encarregue de garantir, o mais rápido possível, uma nova rota para o transporte de dados.

Alguns estudos apresentam uma arquitetura baseada na rede GMPLS (*Generalized Multi-Protocol Label Switching*) denominada de arquitetura IP/GMPLS *over* WDM como sendo a melhor aplicação para o plano de controle de redes ASON [15] [16] [17].

Por último, o Plano de Gerência da ASON (AMP – *ASON Management Plane*) desempenha as funções de gerenciamento, tais como: falhas na rede, verificação de desempenho da rede, configuração dos NEs e segurança do ACP e ATP.

Com base nestes três planos, é possível habilitar uma rede inteligente através da interconexão entre a camada de pacote e camada óptica de modo a escolher um caminho mais curto com custo mínimo por comprimento de onda roteado. A ASON habilita a configuração de cada OXC escolhido e define um caminho óptico para transportar um tráfego baseado no protocolo orientado à conexão fim-a-fim [18]. Este protocolo é capaz de ativar a restauração e proteção óptica distribuída no ATP. Quando ocorre uma falha no OXC ou mesmo num enlace óptico, um conjunto de sinalização é trocado entre os planos ATP, AMP e ACP a fim de reconfigurar um novo caminho óptico e manter o QoS exigido pelos usuários finais.

III. ALGORITMOS RWA (*ROUTING WAVELENGTH ASSIGNMENT*).

A recomendação que trata a ASON [6] não menciona nenhum protocolo específico de sinalização e roteamento para a rede óptica inteligente. Porém, alguns estudos indicam que os protocolos utilizados pelo MPLS (sinalização e roteamento) poderão ser utilizados pela rede ASON [19][20][21][22]. Os protocolos de roteamento usados em redes IP (*Internet Protocol*) podem ser aplicados à rede ASON desde que satisfação as exigências das redes ópticas transparentes. Portanto, podem-se usar protocolos como RIP (*Routing Information Protocol*), OSPF (Open Shortest Path First), IGRP (Interior Gateway Routing Protocol) e EIGRP (Enhanced IGRP) [23].

Os conceitos de roteamento e atribuição de comprimento de onda devem ser adicionados aos cabeçalhos dos protocolos apresentados. Logo, estes novos protocolos recebem o rótulo ‘estendido’ ou ‘*’ para indicar a aplicação em redes ópticas (ex.: OSPF-Extended). O conjunto de protocolos de roteamento que podem ser implementados é vasto, porém, alguns destes protocolos serão explorados e comentados a partir daqui. Os protocolos de roteamento devem tomar a decisão das rotas baseados em métricas. Cada protocolo prioriza uma determinada métrica, algumas são discutidas a seguir:

Comprimento do caminho: É a métrica mais comum da maioria dos sistemas, onde cada trecho do enlace em uma rede possui um custo diferenciado, dessa forma o valor da transferência de dados é obtido pela soma dos comprimentos do enlace total que a informação irá trafegar até o destino. Outra métrica utilizada é calculada pelo número de saltos, onde dessa forma o custo é gerado pela quantidade de nós da rede que a informação será comutada da origem até o destino.

Confiabilidade: Esse item refere-se à confiança de cada enlace envolvido na rede, parâmetro o qual apresenta as diferenciações dos enlaces que se relaciona diretamente a alguns parâmetros fundamentais, como: (i) taxa de erro de bit (BER – Bit Error Rate), (ii) Estruturação da rede que implica a quantidade de elementos comutadores e roteadores presente no enlace, (iii) Risco de ruptura de fibra, determinado pelo local onde estão implantados os sistemas, entre outros.

Atraso de roteamento: Este parâmetro relaciona-se o tempo de transporte entre a origem até o destino. Este atraso depende de diversos fatores como banda dos enlaces, os buffers, entre outros itens que define o tempo de transferência do tráfego de dados.

Largura de Banda: Diz respeito à taxa de bits por segundo que é disponível para o enlace.

Carga: É definido pela de maneira usual da taxa média de chegada de dados nas conexões pela duração média em cada conexão, pode também ser definida pelo fator de utilização, ou intensidade de tráfego, descrita em *Erlangs*.

Custo de comunicação: Em alguns casos quando o tráfego de dados é operado através da junção de duas redes que apresentam diferença nas suas taxas de transmissão, isso ocasiona uma divergência de atraso na rede, embora mesmo com esta defasagem, os pacotes serão enviados no intuito de diminuir o custo.

No protocolo RIP, a métrica de custo utilizada é composta apenas pelo parâmetro número de saltos e representa a distância entre o par de elementos (fonte, destino). Cada salto em um caminho óptico entre o NE-fonte e o NE-destino, acrescenta o valor de 1 à métrica de custo. O caminho com menor métrica é escolhido. Este protocolo não considera fatores como, atraso, largura de faixa, custo de comunicação, entre outros. Portanto, vem sendo substituído por protocolos mais robustos.

No protocolo OSPF, a métrica de custo utilizada é composta pela largura de banda disponível do enlace, e dada por

$$M_{OSPF} = \frac{10^8}{Bw}, \quad (1)$$

onde, Bw é a largura de banda da interface. Na configuração de um NE, o operador de rede define qual a largura de banda da interface de modo que para cada enlace é obtido uma métrica de custo que será utilizada no protocolo OSPF. O menor valor de métrica de custo é escolhido como sendo o caminho do sinal de transmissão.

Já o protocolo IGRP, sua funcionalidade principal é a determinação que certos números de gateways possam

controlar suas rotas, possui alta funcionalidade de manter o roteamento estável independente do tamanho da rede, devido à capacidade da troca de informações de roteamento dos gateways adjacentes, admite ainda alta praticidade na mudança de topologias da rede. Sua métrica é composta por um conjunto de parâmetro que são avaliados como: atraso de propagação da rede, largura de banda, ocupação de canal de um caminho e confiabilidade de caminho. Sua métrica pode ser calculada por

$$M_{IGRP} = \left(\frac{K_1}{Bw} + K_2 \cdot D_C \right) \cdot r , \quad (2)$$

onde, K_1 e K_2 são valores constantes, Bw é a largura de banda disponível do enlace, D_C é o atraso de propagação e r é a confiabilidade do enlace. O menor valor de métrica resulta na rota selecionada.

Para a atribuição de comprimentos de onda, muitos algoritmos clássicos são utilizados no ASON, tais como: *First-Fit* (FF), *Least-Used* (LU), *Most-Used* (MU), *Relative Capacity Loss* (RCL) e *Distributed Relative Capacity Loss* (DRCL) [24].

O algoritmo FF é tido como um dos mais utilizados para atribuição de comprimento de onda devido sua simplicidade de implementação. Sua importância no processo de atribuição de onda é feita em conjunto com o protocolo de RWA, com finalidade de suprir falhas do RWA, para determinadas aplicações que o RWA, possa apresentar problemas ou falhas expressivas na comutação dados. De forma específica, temos seu funcionamento direcionado à enumeração dos comprimentos de ondas, com finalidade de na escolha do comprimento de onda de transporte da informação, e uma vez determinado será inteiramente utilizados ao longo do NE origem até o destino. Com esse artifício a enumeração, na maioria dos enlaces curtos e médios, é utilizada numerações de valores pequenas, consequentemente em enlaces longos, numeração valores grandes, definidas pela tabela criada pelo próprio algoritmo.

O algoritmo DRLC possui sua funcionalidade na solução de problema na atribuição de comprimento de onda. Para seu funcionamento o DRCL necessita de uma tabela de roteamento que proverá a rota entre o par de NE's fonte e destino, basea-se também na probabilidade de perda de informações dos enlaces, logo quando é solicitada uma nova conexão da rede, ele escolhe um comprimento de onda que reflete na soma das perdas de informações de todos os enlaces que compõe aquele nó, a cada fluxo de dados que é concluído é armazenado, é controlado pelo protocolo e retiradas às informações de perdas, fazendo assim a otimização dos enlaces no intuito de melhorar a eficiência do tráfego da rede [25].

IV. VARIAÇÃO DE GANHO DO EDFA EM REDES ASON.

Uma das principais limitações para a operação das redes ASON está relacionada ao uso de amplificadores EDFA neste tipo de rede. Por questões de eficiência e custo, os EDFA são utilizados na maioria dos enlaces com grandes distâncias entre dois elementos de rede.

Com a introdução de dispositivos capazes de prover a adição e/ou remoção de comprimentos de onda, junto com a possibilidade de mudanças de rotas para canais ópticos, o número de comprimentos de onda que propagam pelas fibras da rede ASON podem mudar aleatoriamente durante o funcionamento da rede. Estas mudanças na quantidade de canais que propagam pela fibra provocam flutuações aleatórias na potência de sinal óptico que propaga pela mesma. Em um sistema WDM, a potência do sinal multiplexado é dada por

$$P_{mux}(dB) = P_{ch}(dB) + 10\log(N), \quad (3)$$

onde, $P_{ch}(dB)$ é a potência na escala logarítmica de cada canal óptico antes da multiplexação, e N é o número de canais multiplexados em uma única fibra. Admite-se que todos os canais tenham a mesma potência antes da multiplexação. Nota-se por (3) que a potência do sinal que propaga pela fibra tem uma relação direta com o número de canais multiplexados nesta mesma fibra. A partir disso, conclui-se que, irá existir uma flutuação na potência do sinal de entrada de um determinado EDFA que se encontra entre dois elementos de rede. O problema aparece, pois, o ganho de potência do amplificador EDFA depende da potência de sinal em sua entrada, uma vez que, o ganho do EDFA é dado por

$$G = 1 + \frac{P_{sat}}{P_{in}} \cdot \ln\left(\frac{G_{\max}}{G} \right), \quad (4)$$

onde, P_{sat} é a potência de saturação do EDFA, P_{in} é a potência de entrada do amplificador e $G_{\max}$ é o ganho máximo do EDFA. É importante ressaltar que (4) é uma equação transcendental, portanto, sem solução analítica. A Figura 2 mostra a solução gráfica para um amplificador com $G_{\max} = 40dB$ e $P_{sat} \cong -25dBm$.

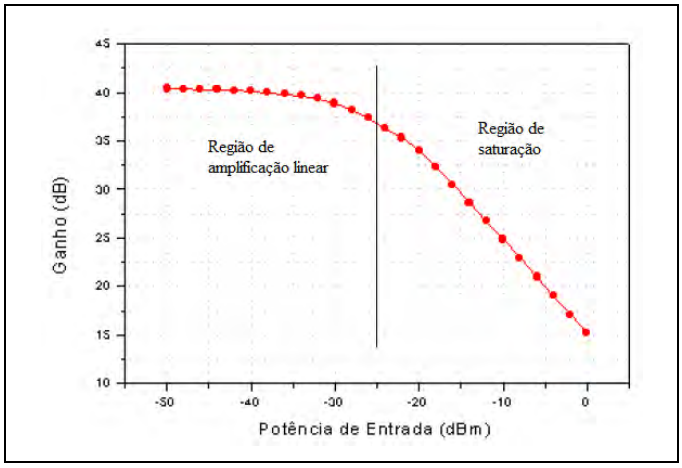


Fig. 2. Relação entre o ganho e a potência de entrada do EDFA.

A partir de (3) e (4) pode-se concluir que, quando um novo comprimento de onda é admitido em uma determinada rota, irá existir um aumento na potência de entrada de um EDFA que esteja localizado nesta rota. Sendo assim, o ganho do EDFA poderá ter uma diminuição no ganho caso $P_{in} > P_{sat}$. Esta alteração no ganho poderá influenciar toda a distribuição de potência dos enlaces da rede ASON, causando uma flutuação na relação sinal-ruído óptica (OSNR – *Optical Signal-to-Noise Ratio*) dos canais, aumentando a taxa de erro de bit e comprometendo o desempenho do sistema.

Considere a rede ASON proposta na Figura 3. Entre os elementos 1 e 2 existe o enlace óptico L_{12} e um EDFA doravante denominado A_{12}. Esta mesma nomenclatura serve para os demais enlaces e amplificadores. Admita que, em um primeiro instante de tempo, exista somente uma aplicação alocada no canal λ_1, que utiliza a rota 1-2-3-4. Em um segundo instante de tempo é admitida uma segunda aplicação usando o canal λ_2, e a rota atribuída foi a rota 2-3-6. Percebe-se então que as duas aplicações passam a compartilhar o enlace L_{23}. Ao admitir o segundo comprimento de onda, a potência de entrada em A_{23} aumenta. Desta forma, poderá existir uma diminuição no ganho de A_{23}. Se isto acontecer, a potência de saída deste amplificador terá seu valor alterado. Desta maneira, todos amplificadores que sucederem A_{23} na rota de comunicação de λ_1 poderão ter seus ganhos alterados. No exemplo citado, o amplificador A_{34} poderá ter uma flutuação no ganho mesmo não estando na rota da nova conexão estabelecida.

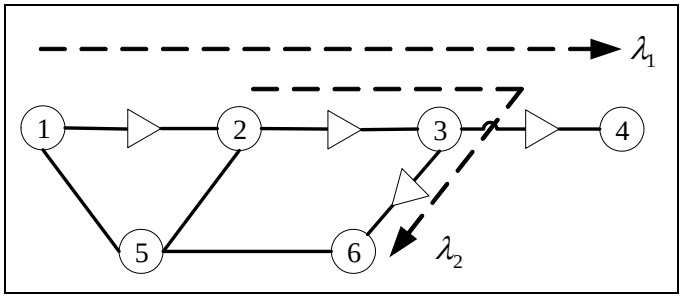


Fig. 3. Problema de alteração de ganho de EDFA.

Para minimizar este problema, existem algumas propostas de controle de ganho de EDFA. Um método existente utiliza uma realimentação óptica implementada no EDFA que permite a formação de um canal de controle [26] [27]. A Figura 4 ilustra este sistema.

Outro método utiliza um circuito eletrônico que utiliza uma amostra do sinal na entrada do amplificador e atua diretamente no LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) de bombeio controlando o ganho de amplificação [28] [29]. A Figura 5 ilustra este circuito.

Além do controle de ganho pode-se também implementar algoritmos RWA que levam em consideração métricas de camada física para atribuição e configuração de rotas. Em [30] é apresentado um algoritmo com limitação consciente (IA-RWA – *Impairment Aware RWA*) que somente admite novos comprimentos de onda em uma rota, se a nova configuração não alterar os parâmetros de qualidade de transmissão (QoT – *Quality of Transmission*) das conexões já estabelecidas. Este algoritmo tende a melhorar o desempenho de BER em toda a rede ASON, porém, ao custo de uma maior probabilidade de bloqueio de novos clientes [30].

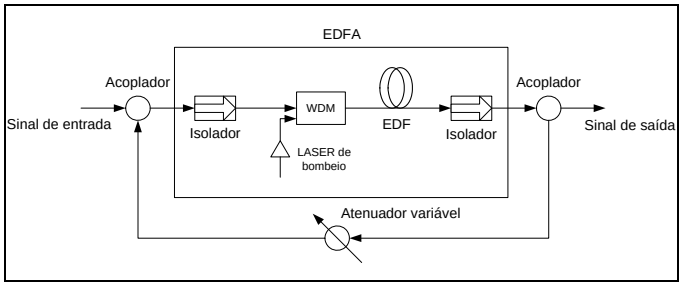


Fig. 4. Método de controle automático de ganho de EDFA utilizando realimentação óptica.

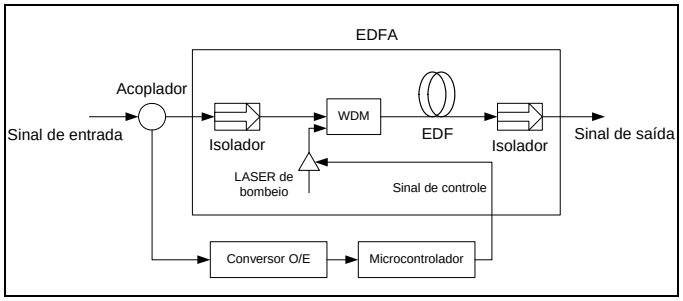


Fig. 5. Controle de ganho eletrônico com alimentação adiante.

V. CONCLUSÕES.

As redes ASON vêm sendo apontadas como o futuro das redes de telecomunicações por aliarem alta velocidade de transmissão, flexibilidade e confiabilidade altas.

Para realizar as funções de atribuição automática de rota e de resiliência, a rede ASON necessita de algoritmos de roteamento e atribuição de comprimento de onda RWA. Estes algoritmos são adaptados de algoritmos já existentes e usados em redes IP.

Apesar das vantagens desta rede, esta apresenta um problema quanto à utilização do EDFA em enlaces dinâmicos. O fato de a rede atribui e retirar comprimentos de onda de forma dinâmica causa flutuações nos ganhos dos EDFAs. Isto pode afetar de forma significativa a BER de todo o sistema. Este problema pode ser resolvido com controle automático do ganho destes amplificadores.

Com soluções em controle de ganho de EDFAs e com a otimização de algoritmos RWA, as redes ASON podem se destacar com uma solução para as altas demandas de tráfego em redes de telecomunicações.

REFERÊNCIAS

[1] "A alternativa e revolucionária para aumentar a banda passante das redes de fibras ópticas", disponível em: http://fiberwork.net.

[2] C. P. de França. Análise de Desempenho de Redes Ópticas Transparentes com Roteamento Inteligente. [Online]. 24-234. Available: http://tcc.dsc.upe.br/20081/Cristiane_Monografia.pdf

[3] Joao Pedro, Silvia Pato: Quantifying the impact of DWDM nodes with flexible add/drop port utilization for dynamic connection setup, OFC/NFOEC 2012, paper NM3F.2, Los Angeles, March 4 - 8, 2012.

[4] Bijayananda Patnaik, P.K.Sahu "Optimization of Four Wave Mixing Effect in Radio-over-Fiber for a 32-Channel 40-GBPS DWDM System" 2010 IEEE DOI 10.1109/ISED.2010.31.

[5] R. Ramaswami and K. N. Sivarajan, "Design of Logical Topologies for Wavelength-Routed Optical Networks," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 14, no. 5, Jun. 1996, pp. 840-851.

[6] ITU-T Recommendation G.8080/Y.1304, "*Automatic Switched Optical Networks*", Nov., (2001).

[7] ITU-T Recommendation G.807, "*Requirements for Automatic Switched Transport Networks (ASTN)*", May, (2001).

[8] R. G. Dante (2011, Nov.). Algoritmos de roteamento e atribuição de comprimentos de onda para as redes ópticas inteligentes e transparentes. [Online]. 64-122. Available: http://www.dsif.fee.unicamp.br/~moschim/kyatera/thesis.pdf.

[9] M. Bottoli, A. Alberti, F. Sakuray, M. Proença e L. Mendes. Modelagem de Amplificadores a Fibra Dopada com Érbio para uso em Simulações de Sistemas Ópticos. Revista Telecomunicações, Volume 5, Número 2, Dezembro de 2002.

[10] A. Manzalini *et al*, "*Architecture and Functional Requirements of Control Planes for Automatic Switched Optical Networks: Experience of the IST Project LION*", IEEE Comm. Magazine, pp.60-65, Nov., (2002).

[11] I. Lelic "Large Multistage OXC", *Proc. ECOC 2001*, pp.540 -541 2001.

[12] Yuefeng Ji; Jie Zhang; Yongmei Sun; Wanyi Gu; Bing Ye; Yong Zhao, "Research and realization of OADM technology in metro optical network (Proceedings Paper)", Proceedings Vol. 4583, Metro and Access Networks, Wanyi Gu; Jianhui Zhou; Jin-Yi Pan, Editors, pp.159-170. Publication: SPIE.org, 16 October 2001.

[13] J. M. Tang and K. A. Shore "Wavelength-routing capability of reconfigurable optical add/drop multiplexers in dynamic optical networks", *J. Lightw. Technol.*, vol. 24, no. 11, pp.4296 -4303 2006.

[14] M. D. D. Bicudo, Sobrevivência em Redes Ópticas Transparentes [Rio de Janeiro] 2005 XIV, 75 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Elétrica, 2005) Dissertação - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

[15] C. Xin, Y. Ye, T. Wang, S. Dixit, "On an IP-Centric Optical Control Plane." *IEEE Communications Magazine 39*, 9 (novembro de 2001), 88–93.

[16] S. Maesschalck, D. Colle, A. Groebbens, C. Develder, A. L. P. Lagasse, "Intelligent optical networking for multilayer survivability." *IEEE Communications Magazine 40*, 1 (janeiro de 2002), 42–49.

[17] J.-P. Vasseur, M. Pickavet, P. Demeester, *Network Recorver: Protection and Restoration of Optical, SONET-SDH, IP, and MPLS*, primeira ed. Morgan Kaufmann Publ., 2004.

[18] ITU-T Recommendation G.709/Y.1331, "*Interfaces for the Optical Transport Network (OTN)*", Mar., (2003).

[19] ITU-T Recommendation G.959.1, "*Optical Transport Network Physical Layer Interfaces*", Feb., (2001).

[20] ITU-T Recommendation G.798, "*Characteristics of Optical Transport Networks (OTN) Hierarchy Equipment Functional Blocks*", Feb., (2001).

[21] ITU-T Recommendation G.807, "*Requirements for Automatic Switched Transport Networks (ASTN)*", May, (2001).

[22] ITU-T Recommendation G.872, "*Architecture of Optical Transport Networks*", Nov., (2001).

[23] S. P. Maj and G. Kohli "A new state models for internetworks technology", *J. Issues Informing Sci. Info. Technol.*, vol. 1, pp.385 -392 2004.

[24] Eurescom Presentation, "*ASON – Main Features and Possible Architecture*", http://www.eurescom.de/%7Epub/seminars/past/2001/Networking/02Robadey/sld011.htm, (2001).

[25] H. Zang *et al*, "*A Review of Routing and Wavelength Assignment Approaches for Wavelength-Routed Optical WDM Networks*", Optical Networks Magazine, SPIE, pp.47-60, Jan., (2000).

[26] G. Luo, J. L. Zyskind, Y. Sun, A. K. Srivastava, J. W. Sulhoff, C. Wolf e M. A.Ali, "Relaxation oscillations and spectral hole burning in laser automatic gain control of EDFAs", em Anais da OFC'97, pp.130-131, 1997, Dalas, Estados Unidos.

[27] J. T. Ahn and K. H. Kim, "All-optical gain–clamped erbium-doped fiber amplifier with improved noise figure and freeedom from relaxation oscillation", IEEE Photon.Technol. Lett., vol. 16, no. 1, pp. 84-86, 2004.

[28] C. R. Giles e E. Desurvire, "Transient gain and crosstalk in erbium-doped fibre amplifiers", Opt. Lett., vol. 14, no. 16, pp. 880-882, 1989.

[29] E. Desurvire, M. Zirngibl, H. Presby e D. Di Giovanni, "Dynamic gain compensation in saturated erbium-doped fiber amplifiers", IEEE Photon. Technol. Lett.,vol. 3, no. 5, pp. 453-455, 1991.

[30] V. A. P. Oliveira, F. A. Neto e I. E. Fonseca, "Benefício da eliminação da variação de ganho em EDFA's para redes óticas dinâmicas," *in Proc. SBrT 2011*, Curitiba-PR, Oct. 2011.

Antena de abertura gradual para microondas

Indira Marília Antônio de Almeida
Instituto Nacional de Telecomunicações
indira@gee.inatel.br

Gustavo Henrique Ribeiro
Instituto Nacional de Telecomunicações
gustavo.henrique@gee.inatel.br

José Antônio Justino Ribeiro
Instituto Nacional de Telecomunicações
justino@inatel.br

***Resumo*- Este artigo apresenta uma breve discussão sobre antena Vivaldi, conhecida como antena de abertura gradual (TSA, *tapered-slot antenna*). Discute-se seu principio de operação, apresentam-se suas principais características e aplicações em grandes larguras de faixa em microondas.**

***Palavras chave*-Antena Vivaldi, antenas de faixa larga.**

***Abstract* - This paper presents a discussion about Vivaldi antenna, also named tapered-slot antenna (TSA), its operation principle, characteristics, and main applications as a device of wide frequency operation in microwave band.**

I. Introdução

A progressiva ocupação do espectro eletromagnético tem exigido desenvolvimento de equipamentos para freqüências cada vez mais elevadas, avançando nas diversas faixas de microondas. Além disto, novas tecnologias têm demandado transmissões que ocupam faixa cada vez maiores em torno da freqüência central de transmissão. Em muitos países, os órgãos que regulam as comunicações normalizaram a ocupação de todas as faixas disponíveis. Em especial, nos últimos anos, tem crescido o interesse pelo uso da faixa entre 3,1GHz e 10,6GHz nas denominadas comunicações em faixa ultra-larga (UWB), um processo que vem sendo estudado desde a década de 1970.[1] Isto tem exigido desenvolvimentos simultâneos de componentes e dispositivos eletrônicos e eletromagnéticos para essas aplicações. Entre eles, destacam-se diferentes tipos de antenas com possibilidade de operação em faixa larga.

A antena de abertura gradual, eventualmente identificada pela sigla *TSA* (*tapered-slot antenna*) e conhecida como antena Vivaldi permite a transmissão e recepção em uma grande largura de faixa com possibilidade de ganho elevado. Foi proposta inicialmente por Gibson [2] e passou por sucessivas evoluções. São projetadas segundo diferentes critérios, conforme as características finais desejadas ou especificadas. Os formatos da abertura entre seus condutores podem ter variações lineares, exponenciais, parabólicas, elípticas, entre outras.

Algumas vezes, é excitada a partir de uma linha de transmissão de fenda, que pode apresentar elevada impedância característica, dificultando o casamento e limitando sua faixa de operação. Este inconveniente tem sido contornado a partir de um sistema de alimentação que combine microlinha de fita com elementos de balanceamento de impedância (baluns), segundo tecnologias usais da faixa de microondas.

A necessidade de operação em faixa larga exige que a estrutura de alimentação fique com comprimentos maiores e, não raramente, com transições que permitam a transformação de impedância. Como conseqüência, o conjunto pode apresentar menor eficiência devido à perda por inserção adicional nessa estrutura de excitação.

II. Alguns modelos usuais

Em sua configuração original, a antena Vivaldi emprega os dois condutores no mesmo plano, em um dos lados do substrato. Existem diferentes configurações para a abertura dos eletrodos. Um dos modelos obedece a uma lei exponencial, como ilustrada na Fig. 1. Nesta montagem, inclui-se o sistema de alimentação, com os elementos responsáveis pelo casamento de impedância, entre os quais estão tocos e dispositivos para balanceamento da excitação. Neste modelo básico, os eletrodos obedecem a uma equação do tipo

$$x = C_e \, exp(\xi z) + C_f \tag{1}$$

onde C_e e C_f são constantes fixadas pelos pontos de início e final da curva exponencial , pontos A e B da figura, e ξ é um fator que determina a rapidez de variação da exponencial. O ponto A é fixado pelas coordenadas x_a e z_a e o ponto B é definido por x_b e z_b. Com os valores especificados, obtêm-se as constantes necessárias em (1). Os resultados são:

$$C_e = \frac{x_b - x_a}{e^{(\xi z_b)} - e^{(\xi z_a)}} \tag{2}$$

$$C_f = \frac{x_a e^{(\xi z_b)} - x_a e^{(\xi z_a)}}{e^{(\xi z_b)} - e^{(\xi z_a)}} \tag{3}$$

Para reduzir os problemas introduzidos pelo sistema de excitação, foi proposta a montagem antipodal, em que cada eletrodo é construído em um dos lados do laminado, com geometrias apropriadas. Um dos condutores tem suas dimensões modificadas gradualmente até converter-se nas dimensões de uma linha de microfita, empregada em sua excitação direta. O outro também segue uma modificação gradual e age como o plano de terra para essa microlinha.[3] (Fig. 2).

Manuscrito submetido em 03 de março de 2013.

I. M. A. Almeida. (indira@gee.inatel.br) e G. E. Ribeiro (Gustavo.henrique@gee.inatel.br) pertencem ao Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel. Av. João de Camargo, 510 - Santa Rita do Sapucaí - MG - Brasil - 37540-000.

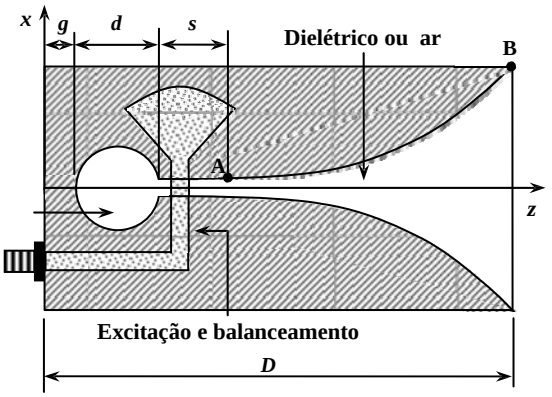


Fig. 1. Estrutura básica de uma antena de abertura gradual, conhecida como antena Vivaldi.

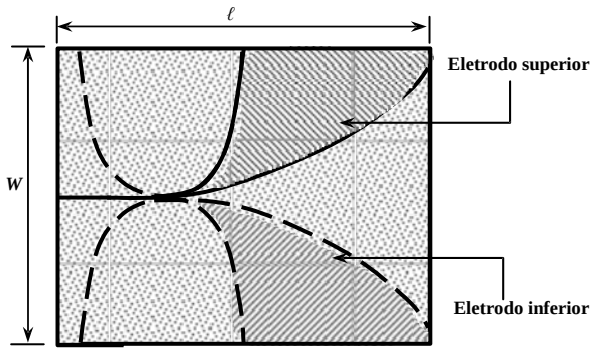


Fig. 2. Estrutura básica de antena Vivaldi em montagem antipodal.

III. Teoria de funcionamento

As partes da antena Vivaldi que atuam na irradiação são representadas por aberturas que se modificam gradualmente. O modelo da Fig 1 é usado para avaliar a distribuição de campo e as características de irradiação. A modificação gradual pode ser analisada como uma fenda de separação variável segundo a coordenada *z*. Simultaneamente, associa-se um modelo de linha de transmissão com ângulo de abertura e largura variáveis. O tratamento matemático analítico envolve funções sofisticadas, por causa de diferentes sistemas de coordenadas envolvidos. Por exemplo, o meio de propagação e parte do dielétrico são descritos em um sistema de coordenadas retangulares. A parte metálica segue outra geometria, dificultando a descrição do campo eletromagnético, exigindo equações mais sofisticadas. Tal fato tem levado a freqüentes análises que utilizam resultados experimentais e os formatos dos eletrodos obedecendo a procedimentos empíricos.

Tomando por referência a Fig. 1, a excitação a partir da extremidade esquerda da antena garante uma distribuição de campo entre os eletrodos. Observa-se que em uma mesma coordenada *z* as correntes nos dois eletrodos fluem em sentidos opostos. Portanto, quando a separação entre esses eletrodos for muito pequena comparada com o comprimento de onda, os campos na região distante da antena tendem a se cancelar. Quando isto ocorrer, os eletrodos agem apenas como uma linha de transmissão. Corresponde à região com separação W_E na Fig. 3. Se a freqüência for tal que a separação começar a ser da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda, haverá um campo de irradiação resultante. Assim, identifica-se uma região da antena em que se inicia o processo de emissão da energia eletromagnética e está indicado pelo valor W_A na Fig. 3, que se estende até o limite W_O.

Com a mudança da freqüência, o fato acontece em outra coordenada longitudinal. Se houver aumento da freqüência, a região de emissão desloca-se em direção à abertura da antena, pois há necessidade de maior separação por causa do aumento do comprimento de onda. Em freqüências mais elevadas, a região de emissão desloca-se em direção ao vértice dos eletrodos, uma vez que a distância deve aproximar-se de um comprimento de onda menor. Desta maneira, consegue-se a operação em grandes larguras de faixa. [4]

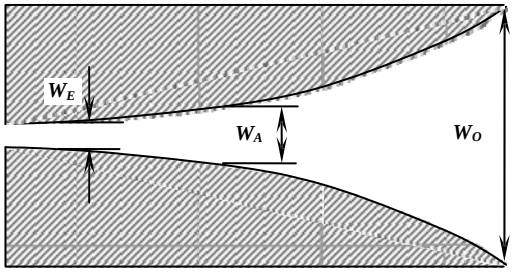


Fig. 3. Regiões úteis na análise do funcionamento da antena Vivaldi, tomando por referência o modelo básico.

Como critério para fixação das dimensões, deve-se considerar o fato de as corrente nos eletrodos, em uma mesma coordenada longitudinal, estão em sentidos opostos. Portanto, existe uma separação ótima em termos de comprimento de onda para cada freqüência com a qual se tem um campo resultante máximo na direção longitudinal, tanto no plano paralelo como no plano perpendicular à superfície da antena.[5] A menor separação define a freqüência máxima e a maior, na extremidade oposta, indica o limite mínimo da faixa de freqüência de operação. Deve-se tomar o cuidado de levar em conta a influência do dielétrico no cálculo do comprimento de onda. Como o meio não é homogêneo, a presença de dielétrico sólido e ar determinam uma constante dielétrica efetiva, afetada pelas dimensões da antena e da linha de alimentação.

IV. Limitações na largura de faixa

Como a região de emissão adapta-se de acordo com o comprimento de onda, sua posição modifica-se com a mudança na freqüência e a antena Vivaldi de abertura exponencial é capaz de operar em uma grande largura de faixa no espectro de microondas. Na prática, a largura operacional máxima fica dependendo de alguns fatores. Em primeiro lugar, sofre influência da transição entre a linha de excitação e a impedância apresentada pela antena em seu ponto de alimentação. Além disto, as antenas reais têm dimensões finitas, com diversos efeitos associados aos eletrodos.

Em geral, a largura de faixa é fixada em função da perda de retorno aceitável ou pelo máximo coeficiente de onda estacionária (*SWR*) especificado para o sistema de alimentação. É comum estabelecer um limite $SWR \leq 2$, o que garante uma transferência igual ou maior do que 90% da potência para o sistema irradiante. [6] Eventualmente, a largura de faixa é fixada em termos da variação aceita no ganho de potência. Dentro dessas idéias, relatam-se antenas práticas com largura de faixa igual ou superior a 10:1, com ganhos entre 3dBi e 12dBi, tanto para a faixa inicial de microondas[7], como para a região

empregada em sistemas de comunicações de faixa ultra-larga (UWB), entre 3,1GHz e 10,6GHz.[8]

V. Sistema de alimentação

Pela estrutura básica da antena de abertura gradual, verifica-se que um procedimento possível para sua excitação seria por meio de uma linha fendida, com eletrodos em seqüência das partes metálicas que constituem a região do irradiador. Observa-se que os elementos da antena formam uma linha com abertura gradual e variação contínua em sua impedância característica.[9] Além de aproveitar esta idéia, foram desenvolvidos vários outros métodos de excitação.

Na Fig. 1 ilustra-se uma dessas estruturas, em que a transferência de energia para o elemento irradiante é feita por um acoplamento eletromagnético entre uma microlinha de fita e os eletrodos da antena. A microlinha está construída na parte inferior do laminado, com terminação e dimensões ajustadas para a impedância desejada no conector. Na parte inicial do elemento irradiante, constrói-se uma cavidade com formato circular ou retangular[10] e a extremidade da microlinha é terminada por um toco cujo formato é otimizado para se chegar à perda de retorno aceitável na faixa de operação da antena.

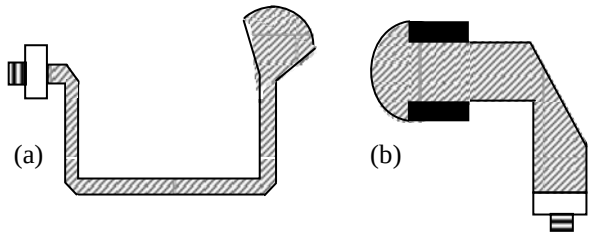


Fig. 4. Estruturas típicas com microlinhas para acoplamento da antena de abertura gradual ao sistema de excitação.

Neste caso, a linha de microfita é uma estrutura desbalanceada e a antena é um elemento balanceado. Portanto, além do casamento de impedância, é necessário que se proceda ao balanceamento do sistema de alimentação. Isto é possível com a combinação dos efeitos do toco com a cavidade circular na parte inicial da antena. Em geral, esta solução permite elevada largura de faixa, com limitações ocasionadas por elementos parasitas associados à estrutura, tais como capacitâncias entre as partes metálicas e indutâncias com maiores concentrações nas partes curvas da microlinha.

Existem muitas soluções envolvendo a excitação com microlinha. Algumas sugestões estão na Fig. 4 e os valores geométricos determinam a impedância que será apresentada ao conector.[11] Os valores devem ser otimizados em função da faixa de operação da antena. Em função da variação da impedância na entrada do elemento irradiador, são usuais os valores selecionados entre 50Ω e 100Ω.

VI. Diagrama de irradiação e ganho da antena

O diagrama de irradiação deste tipo de estrutura mostra uma característica direcional, com máxima irradiação ao longo do eixo longitudinal da antena. Embora os resultados sejam dependentes da freqüência, o formato básico do diagrama não se modifica de maneira muito substancial. Assim, a antena modifica suavemente o valor aproximado do ganho, mas mantém sua utilidade em uma grande faixa de freqüências. Isto significa que não ocorrem mudanças muito bruscas nas aberturas de feixe nos dois planos principais do diagrama de irradiação em uma ampla faixa de freqüências.

VII. Conclusões

Mostraram-se as principais propriedades de uma antena com abertura gradual, conhecida como antena Vivaldi, capaz de operar em grandes larguras de faixa. Embora se trate de um dispositivo que apresente ganho variável com a freqüência, é capaz de manter a perda de retorno em limites aceitáveis em uma faixa muito ampla de freqüências. Têm sido relatados modelos práticos com limites de faixa da ordem de 10:1. Este tipo de antena é muito útil em aplicações de sistemas que demandam imensas larguras de faixa, como nos equipamento de comunicações em UWB. Existem pontos críticos em sua construção, como o sistema de alimentação, fundamental para garantir a operação em faixa larga. Seguindo vários processos de otimização, desenvolveram-se diversos modelos e o sistema tem sido também empregado em arranjos de antenas, que apresentam ganho elevado e mantêm a característica de operação em faixa larga.

Referências

[1] Bennett, C. L.; Ross, G. F. Time-domain electromagnetics and its applications. *Proc. IEEE*, v. 66, n. 3, p. 299-318, Mar., 1978.

[2] Gibson P J. The Vivaldi aerial. In: *Proceedings 9th Europe Microwave Conference. Brighton*, U.K., 1979, p. 101–105.

[3] Abbosh, A. M. Miniaturized microstrip-fed tapered-slot antenna with ultrawideband performance. *IEEE Antennas Wireless Propagation Lett.*, v. 8, p. 690-692, 2009.

[4] Abbosh, A. M.; Kan, H. K.; Bialkowski, M. E. Design of compact directive ultra wideband antipodal antenna. *Microwave Optical Tecnol. Lett*., v. 48, n. 12, p. 2448-2450, Dec., 2006.

[5] Yang, Y.; Wang, Y.; Fathy, A. E. Design of compact Vivaldi antenna arrays for UWB see through wall applications. *Progress in Electromagnetics Res*., v. 82, p. 401-418, 2008.

[6] Ribeiro, J. A. J. *Engenharia de antenas: fundamentos, projetos e aplicações*. São Paulo: Érica, 2012.

[7] Q-par Angus Ltd. *Vivaldi antenna*. Disponível em: https://www.q-par.com. Acesso em 01 mar. 2013.

[8] Abbosh, A. M. Gain and bandwidth optimization of compact UWB tapered slot antennas. *Intl. J. Microwave Optical* Tech., v. 2, n. 3, p. 222-225, Jul., 2007.

[9] Pozar, D. M. *Microwave engineering*. 4th. Ed. New York: John Wiley, 2012.

[10] Kedar, A.; Beenamole, K. S. Wide beam tapered slot antenna for wide angle scanning phased array antenna. *Progress in Electromagnetic Res*. B, v. 27, p. 235-251, 2011.

[11] Ma, T.-G.; Jeng, S.-K. Planar miniature tapered-slot-fed annular slot antennas for ultrawide-band radios. *IEEE Trans. Antennas Propagation*, v. 53, 3, p. 1194-1202, Mar., 2005.

Aparato experimental para análise de rádios no padrão 802.11

Renan Dotta Pereira Consoli

Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
renanc@gee.inatel.br

Leandro Silva de Souza

Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
leandros@inatel.br

Resumo **- Este artigo tem o objetivo de fazer um estudo sobre um Aparato experimental para análise de rádios no padrão 802.11. O padrão 802.11 define as características da camada física e da camada de controle de acesso ao meio (MAC) para redes locais sem fio. As redes locais podem ser infraestruturadas onde utiliza-se uma arquitetura em células chamadas de BSS (basic service set).Uma típica BSS contém pelo menos uma estação e uma estação central chamada de ponto de acesso. Uma outra arquitetura permitida no padrão é a arquitetura não infraestruturada chamada de ad-hoc. Nesta arquitetura não existe a necessidade de ponto de acesso, uma rede é formada simplesmente aproximando terminais uns dos outros, sem que exista nenhuma infraestrutura. Através dessas arquiteturas estudaremos se é possível usar o modelo do IEEE 802.11 para rádio cognitivo. Estudaremos com maior ênfase os padrões IEEE 802.11a, 802.11b e 802.11g.**

Palavras Chave **- Padrões, Rádio Cognitivo, Redes, Técnica de Acesso.**

Experimental apparatus for radio pattern analyses 802.11

Abstract **- This article has the objective of studying about experimental apparatus for radio analyses in 802.11 pattern. This 802.11 pattern defines the characteristics of the physical and control layer to access the environments (MAC) for local wireless networks. These local networks can be infra structured wherever utilizes architecture in cell called BSS (basic service set). A common BSS has at least one station and one central station called the point of access. Another architecture also allowed in this pattern is a non-infra structured, called ad-hoc. In this architecture it`s not necessary to put in a point of access. This network is simply provided by approaching two terminals against each other, without the presence of infra structure. Using these architectures we will see if it is possible to use the IEEE 802.11 model for cognitive radio. We will study with more emphasis the IEEE 802.11a, 802.11b and 802.11g.**

R. D. P. Consoli (renanc@gee.inatel.br) e L. S. de Souza (leandros@inatel.br) pertencem ao Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel. Av. João de Camargo, 510 - Santa Rita do Sapucaí - MG - Brasil - 37540-000.

Key-words **- *Patterns, Cognitive Radio, Networks, Access Techniques.***

I. INTRODUÇÂO

Este artigo apresenta o estudo sobre um Aparato experimental para análise de rádios no padrão 802.11 vinculado ao Programa de Iniciação Cientifica. Este estudo tem o objetivo de descobrir se o padrão IEEE 802.11 pode ser utilizado para transmitir como radio cognitivo.

Um dos principais fatores para este modelo padrão ficar fora de uso foi a baixa taxa de transferência de dados que inicialmente a tecnologia oferecia, que era em torno de Kbps. De acordo com a elevação dessa taxa de transferência de dados que passou a atingir Mbps, a rede sem fio começou a ser vista como uma tecnologia promissora e a receber ainda mais investimentos para a construção de equipamentos que possibilitassem a comunicação sem fio entre computadores.

Os estudos para esta pesquisa foram divididos de maneira em que tudo pode ser acompanhado e esclarecido desde o começo, partindo da estrutura das camadas. Entre essas estruturas encontramos a camada física que é a responsável pela transmissão dos bits através do canal e a camada de enlace que juntamente ao controle de acesso ao meio (MAC) tem como principal função o endereçamento, reconhecimento de quadros e detecção de erros. A partir do compreendimento do funcionamento dessas camadas e através das modulações e técnicas de acesso que compõem cada um dos padrões do IEEE 802.11 podemos estar um pouco mais por dentro do assunto da utilização do padrão para radio cognitivo.

Cada um dos padrões como 802.11a, 802.11b e 802.11g possuem modulações e técnicas de acesso diferentes, então devemos estudar cada um dos três padrões isoladamente e depois então começarmos a fazer comparações entre eles para ver em que caso e quando cada um obtém um melhor desempenho, lembrando que ainda padrão que contenha mais de um tipo de modulação deverá ser feito um estudo para qual seja melhor o uso de tal modulação composta dentro do padrão IEEE 802.11, seja ele a,b ou g.

Neste estudo realizado sobre o aparato experimental podemos compreender melhor como cada um dos padrões utilizam suas modulações e também fazer uma comparação entre as modulações de cada um dos padrões, podendo compreender como funciona cada tipo de modulação e entender um pouco mais sobre a transmissão dos sinais.

II. DESENVOLVIMENTO

A. O que são rádios cognitivos

Rádios podem se comunicar apenas com outros rádios do mesmo tipo, rádios cognitivos podem entender a linguagem de qualquer radio. Isso combinado com simples rádios embutidos, em qualquer objeto pode permitir a interação entre quaisquer objetos físicos. Em um show, um jogo de futebol ou qualquer grande evento com dezenas de milhares de pessoas a rede local pode ficar sobrecarregada com as limitações da utilização do espectro, a capacidade fornecida não é suficiente para todos os usuários. Rádios Cognitivos utilizam todas as frequências disponíveis e método de conexão, eles podem rapidamente se adaptar as situações incomuns e assegurar operações adequadas para a rede. Os dispositivos conectados não somente através da rede, mas também por aqueles que formam redes espontâneas, deste modo as mensagens, ligações e ate mesmo o fluxo de vídeo em tempo real podem ser transmitidos por muito mais usuários.

B. O padrão IEEE 802.11

O padrão 802.11 define as características da camada física e da camada de controle de acesso ao meio (MAC) para redes locais sem fio. As redes locais podem ser infraestruturadas onde utiliza-se uma arquitetura em células chamadas de BSS(basic service set).Uma típica BSS contém pelo menos uma estação e uma estação central chamada de ponto de acesso. Como podemos observar na figura abaixo:

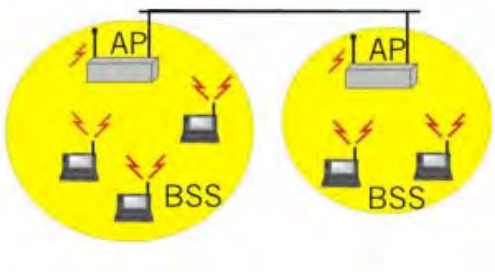


Fig. 1. Rede IEEE 802.11 infraestruturada.

Uma outra arquitetura permitida no padrão é a arquitetura não infraestruturada chamada de ad-hoc. Nesta arquitetura não existe a necessidade de ponto de acesso, uma rede é formada simplesmente aproximando terminais uns dos outros, sem que existe nenhuma infraestrutura. Como podemos observar na figura abaixo:

Fig. 2. Exemplo de uma rede ad-hoc.

Na figura abaixo podemos compreender melhor a comparação entre o modelo padrão IEEE 802.11 em relação ao Modelo OSI:

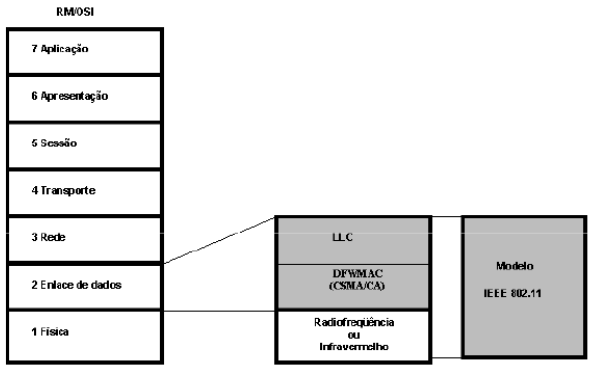


Fig. 3. Comparação entre Modelo OSI x Modelo IEEE 802.11

C. Subcamada MAC

A subcamada MAC é responsável pelo controle de acesso ao meio. Determina a prioridade na alocação de canal em uma transmissão e tem como objetivo principal disponibilizar mecanismos para minimizar as colisões que podem ocorrer durante as solicitações de acesso à rede.

O meio sem fio apresenta diversas características peculiares que o difere bastante dos meios confinados

mais conhecidos (par trançado, cabo coaxial e fibra ótica). Estas características devem ser analisadas para um bom funcionamento da tecnologia e o protocolo da camada de enlace deve ser robusto o suficiente para lidar com todos os novos problemas.

Funções da camada MAC: prover garantia de acesso justo e atribuição de prioridades.

Possuímos alguns processos de detecção de canal, entre eles podemos encontrar os modos DCF (Distributed Coordination Function) que coordena de forma distribuida permitindo acesso com contenção, PCF (Point Coordination Function), que coordena de forma centralizada permitindo acesso sem contenção e o HCF (Hybrid Coordination Function), que inclui mecanismos de QoS para facilitar a coordenação de acesso.

No modo DCF são usados dois métodos de detecção, um é do canal físico e outro do canal virtual. No processo de detecção de canal físico quando um dispositivo deseja transmitir, antes é verificado o estado do canal. Se o canal estiver livre, ele simplesmente começará a transmitir, mas caso esteja ocupado a transmissão será adiada para um momento oportuno. Em casos de colisões, será usado um tempo aleatório para nova tentativa de transmissão.

Já para o processo de detecção do canal virtual, o dispositivo que deseja transmitir, envia um pequeno pacote chamado RTS (Request to Send) com informações necessárias para estabelecer a transmissão (endereço, tempo para transmissão da informação) e receberá de volta um pacote chamado CTS (Clear to Send) informando se o meio esta livre. Após a finalização da transmissão das informações o receptor envia o ACK (acknowledgment), confirmando o recebimento das informações. Caso outros dispositivos detectem pacotes RTS e CTS que não são endereçados a eles, no momento de inicial da sua transmissão, será calculado um tempo denominado NAV (Network Allocation Vector), que indicara o tempo de ocupação daquele canal que será utilizado pela rede, portanto será o tempo de espera para que se possa tentar um novo acesso.

Na figura abaixo podemos ver um exemplo de controle de trafego através de RTS e CTS:

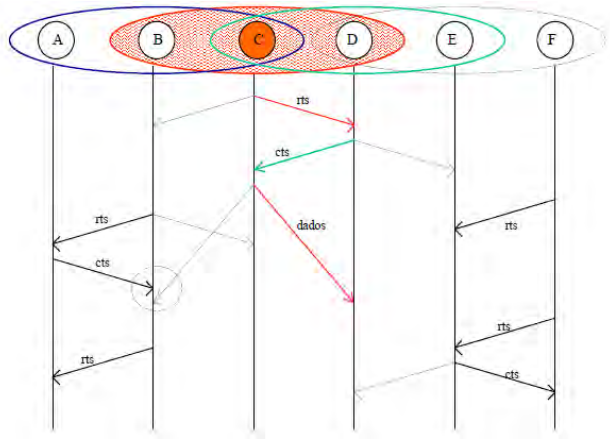


Fig. 4. Exemplo do controle de tráfego.

D. Camada Física

A camada física é responsável pela transmissão dos quadros por um canal de comunicação. O padrão 802.11-2007 define as técnicas de transmissão para as redes. Foram definidas três técnicas no padrão original, o IEEE 802.11-1997, sendo o infravermelho, FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) e DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) e nos padrões posteriores surgiram outras técnicas como: OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), HR-DSSS (High Rate Direct Seuqence Spread Spectrum) e MIMO (Multiple Imput-Multiple Output).

TABELA I
Camada Física

802.11 DSSS	802.11 FHSS	802.11 Infravermelho	802.11b HR-DSSS	802.11a OFDM	802.11g OFDM

E. Técnica HR-DSSS

O HR-DSSS é uma extensão da técnica DSSS, porem para obter taxas superiores a 2 Mbps, será necessário a utilização de outro tipo de codificação. Portando, ao invés de utilizar a codificação de Barker, utiliza-se a técnica CCK (Complementary Code Keying). CCK utiliza sequências de tamanhos menores que as de Barker, que resulta em um menor espalhamento, proporcionando um aumento nas taxas de transmissão que, por outro lado, ficam mais susceptíveis as degradações do canal. Para um CCK com 8 bits a taxa de transmissão poderá chegar até 5.5 Mbps e para CCK com 4 bits a taxa pode chegar a 11 Mbps.

F. Técnica OFDM

Esta técnica utiliza várias frequências ao mesmo tempo dentro da banda UNII (Unlicensed National Information Infrastructure) de 5 Ghz, sendo que das 52 frequencias disponíveis nesta banda, 48 são utilizadas para transmissão de dados e 4 são para sincronismo. Estas várias frequências, que são consideradas subcanais ou sub-portadoras de um mesmo canal, são utilizadas para transportar uma informação única, sendo que cada uma delas terá uma modulação independente e que serão ortogonais entre si. Desta forma, proporciona melhor eficiência na utilização do espectro, aumento da taxa de transmissão de dados e robustez nos desvanecimentos seletivos.

As modulações BPSK, QPSK, 16 QAM e 64 QAM proporcionam taxas diferenciadas de transmissão de dados utilizando a técnica OFDM que pode alcançar até 54 Mbps.

G. WEP/ WPA/ WPA2

O protocolo WEP (Wired Equivalent Privacy) foi elaborado pelo IEEE para atender as seguintes necessidades: Segurança e confiabilidade nas informações trocadas, garantia na autenticação dos dispositivos Wi-Fi validos na rede e integridade dos dados transmitidos.

A credibilidade do protocolo WEP foi arruinada depois das descobertas de falhas nos mecanismos de segurança e então após isso foi criado o WPA.

O protocolo WPA (Wi-Fi Protected Access) também foi elaborado pelo IEEE, com o objetivo de aumentar o nível de segurança da rede WLAN e que corrige alguns erros existentes no WEP. O WPA, também chamado de TKIP (Temporal Key Integrity Protocol), permite a realização da criptografia e gerencia da autenticação de cada usuário. O WPA foi uma solução paliativa para melhorar a segurança WEP.

O protocolo WPA2 (Wi-Fi Protected Access 2) trata das novas implementações que foram inseridas na nova versão que veio substituir o WPA . Mesmos o WPA corrigindo alguns erros do WP, ele apresentou muita instabilidade no seu desempenho.

A principal mudança entre o WPA2 e o WPA esta no método criptografado utilizado. Enquanto o WPA utiliza o TKIP com o RC4, sendo este ultimo herança do WEP, o WPA2 utiliza o AES (Advanced Encyptation Standart) em conjunto com o TKIP com uma chave de tamanho maior do que as versões anteriores, que o torna mais seguro. Para este caso, houve a necessidade de alteração do hardware, portanto novos dispositivos tiveram que ser lançados no mercado.

H. Tecnologia Wi-Fi/ Banda de Operação

TABELA II
Comparação das bandas de operação entre os padrões a,b e g.

Tecnologia Wi-Fi	Banda de Operação	Taxa máxima de dados
802.11a	5 GHz	54 Mbps
802.11b	2.4 GHz	11 Mbps
802.11g	2.4 GHz	54 Mbps

I. Padrão IEEE 802.11a

O padrão 802.11a opera na banda de frequência de 5 GHz. Nesta banda as interferências externas são menos atuantes quando comparadas com as da banda utilizada no padrão original 802.11 (2,4 GHz), que é uma vantagem. Porem, no que tange ao tamanho da cobertura torna-se desvantajoso por ser bem menor do que em 2.4 GHz, devido às características de propagação. Em ambientes internos (ex: residência e escritórios) o alcance pode chegar a 10 metros. Já em ambientes abertos, sem obstáculos, pode chegar a 100 metros.

Em termos sistêmicos a banda de 5 Ghz garante maior canalização do que a banda de 2.4 GHz, que é utilizada pelos padrões 802.11b e o 802.11g, que permite a ter mais APs em uma mesma localidade sem comprometimento de desempenho.

A principal característica deste padrão é poder oferecer taxas maiores de transmissão de dados que pode alcançar até 54 Mbps. Valores ofertados são: 6 / 9 / 12 / 18 / 24 / 36 / 48 / 54 Mbps, sendo mandatória as taxas de 6 / 12 / 24 Mbps.

Outra vantagem dentro dessa banda é o uso da técnica conhecida como OFDM que em conjunto com as modulações BPSK, QPSK, 16 QAM ou 64 QAM proporcionam melhoria na eficiência espectral, aumentando a taxa de transmissão de dados e robustez nos canas com desvanecimento seletivo.

Uma das desvantagens para este padrão foi o uso do protocolo de segurança WEP, que foi considerado um protocolo não confiável, sendo que hoje pode fazer atualizações para o WPA.

J. Padrão IEEE 802.11b

Esse padrão trata da primeira versão atualizada do padrão original e que foi adotado em larga escala, sendo o responsável pela massificação da rede Wi-Fi no passado.

A principal vantagem dessa versão foi a possibilidade de aumentar a taxa de transmissão até 11 Mbps na mesma banda do padrão original de 2.4 GHz e utilizando as mesmas técnicas de transmissão existentes, como o DSSS. Para este padrão, a técnica FHSS foi desconsiderada por não atender as normas da FCC, quando se referem às taxas superiores a 2 Mbps. Sendo assim, como explicada anteriormente, a implementação da codificação CCK sobre a técnica DSSS proporcionam taxas superiores a 2 Mbps, que foram: 5.5 e 11 Mbps.

A área de cobertura para este padrão pode alcançar 50 metros em ambientes internos e 400 metros em ambientes abertos sem obstáculos. As condições de cobertura podem ser afetadas com a convivência com telefones sem fio, microondas e outros eletrônicos que operam na mesma banda de 2.4 Ghz, que acabam sendo consideradas como interferência externa para o sistema Wi-Fi.

K. Padrão IEEE 802.11g

O padrão 802.11g é considerado como o sucessor do 802.11b, pois é possível alcançar taxas de transmissão bem superiores ao que é proposto pelo padrão 802.11b, mesmo trabalhando com a mesma banda de 2.4 GHz. O padrão 802.11g pode alcançar taxas de transmissão de até 54 Mbps, que equivale a taxa proposta pelo padrão 802.11a, porém o padrão 802.11g continua sendo o mais atrativo, pois possui maior abrangência de cobertura. Além do mais possui compatibilidade com o 802.11b, ao contrário do 802.11ª, que não apresenta compatibilidade

com nenhum dos padrões anteriores, até a publicação do padrão 802.11n que é compatível com todos.

A técnica de transmissão utilizada é a mesma no 802.11a, o OFDM, mas caso a comunicação seja estabelecida com um dispositivo 802.11b, a técnica de transmissão é ajustada para o DSSS.

L. Modulação BPSK

O sinal BPSK opera em banda-passante, também conhecido como passa-faixa, é aquela em que o espectro do sinal modulado se concentra em torno de uma frequência portadora, fc.

Na figura abaixo podemos observar a constelação de um sinal BPSK:

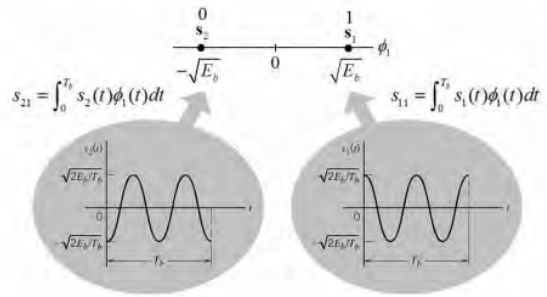


Fig. 5. Constelação de uma modulação BPSK.

Segue abaixo a equação para se encontrar a probabilidade de erro de símbolo:

$$P_e = \mathrm{BER} = \frac{1}{2}\mathrm{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right) \quad (1)$$

Segue abaixo a equação para se encontrar a eficiência espectral da modulação BPSK:

$$\rho = \frac{R_b}{B} = \frac{R_b}{2/T_b} = \frac{R_b}{2R_b} = 0{,}5 \text{ bit/s/Hz} \quad (2)$$

M. Modulação QPSK

A modulação QPSK é uma técnica de modulação derivada do PSK, porém neste caso, são utilizados parâmetros de fase e quadratura da onda portadora para modular o sinal de informação. Como agora são utilizados dois parâmetros, existem mais tipos possíveis de símbolos nesta constelação, o que permite que sejam transmitidos mais bits por símbolo. Por exemplo, se quisermos transmitir 2 bits por símbolo, ao invés de 1 bit por símbolo como no caso PSK acima, neste caso, como teremos 4 tipos de símbolos possíveis, a portadora pode assumir 4 valores de fase diferentes, cada um deles correspondendo a um dibit, como por exemplo 45º, 135º, 225º e 315º. A figura abaixo ilustra em um diagrama de fase e quadratura (IQ) os 4 possíveis símbolos gerados pela modulação QPSK usando 2 bits por símbolo.

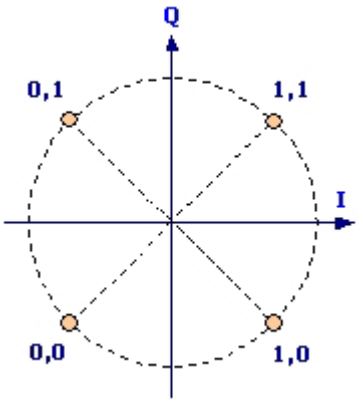


Fig. 6. Constelação de uma modulação QPSK.

O sinal QPSK também opera em banda-passante, também conhecido como passa-faixa, é aquela em que o espectro do sinal modulado se concentra em torno de uma frequência portadora, fc.

A probabilidade de erro de símbolo da modulação QPSK, é calculado da seguinte forma:

$$P_e \cong \mathrm{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right) \quad (3)$$

A probabilidade de erro de bit desta modulação , é calculado da seguinte forma:

$$\mathrm{BER} = \frac{1}{2}\mathrm{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right) \quad (4)$$

Assim como fizemos na análise da modulação BPSK, se definirmos que a banda a ser ocupada pelo sinal modulado QPSK como sendo a banda do lobo principal do espectro do sinal, então B = 2/T. Assim, a eficiência espectral será:

$$\rho = \frac{R_b}{B} = \frac{R_b}{2/T} = \frac{R_b}{2/2T_b} = \frac{R_b}{R_b} = 1 \text{ bit/s/Hz} \quad (5)$$

N. Modulações M-QAM

As modulações da família M-QAM podem ser agrupadas em duas categorias: aquelas com constelação quadrada e aquelas com constelação não-quadrada. Em ambos os casos os termos “quadrada” e “não-quadrada” estão associados à geometria das constelações, como veremos adiante. Mas em nosso caso será que estudemos

apenas as constelações quadradas, já que as modulações que estamos estudando são 16-QAM e 64-QAM, uma com M=16 e outra com M=64 o valor de M nas duas modulações são pares, fazendo com que elas sejam quadradas em sua constelação.

Na equação abaixo podemos verificar a probabilidade de erro de símbolo para uma constelação M-QAM:

$$P_e \cong 2\left(1-\frac{1}{\sqrt{M}}\right)\operatorname{erfc}\left[\sqrt{\frac{3E}{2(M-1)N_0}}\right] = 2\left(1-\frac{1}{\sqrt{M}}\right)\operatorname{erfc}\left[\sqrt{\frac{3\log_2 M}{2(M-1)}\frac{E_b}{N_0}}\right], \quad (6)$$

A energia média por símbolo pode ser calculada através da fórmula abaixo:

$$E \cong \frac{2(M-1)E_0}{3}. \quad (7)$$

A probabilidade de erro de bit dependerá do mapeamento símbolo bit. Se utilizarmos o mapeamento Gray, para altos valores de Eb/N0 teremos a aproximação:

$$BER \cong Pe/\log 2M \quad (8)$$

O. Modulação 16-QAM

A modulação 16-QAM é uma modulação que transmite 4 bits por símbolo. Na figura abaixo podemos observar a constelação de uma modulação 16-QAM:

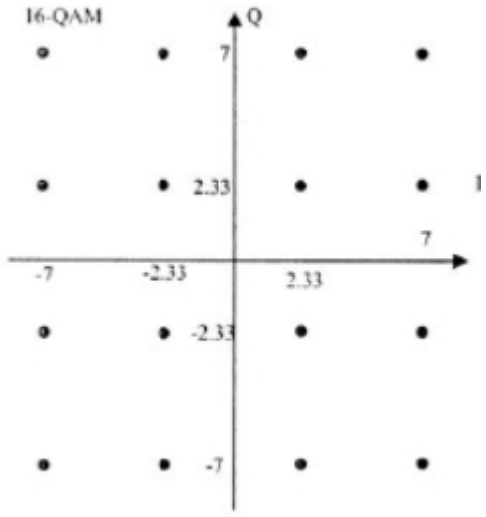


Fig. 7. Constelação de uma modulação 16-QAM.

P. Modulação 64-QAM

A modulação 64-QAM é uma modulação que transmite 6 bits por símbolo. Na figura a seguir podemos observar a constelação de uma modulação 64-QAM:

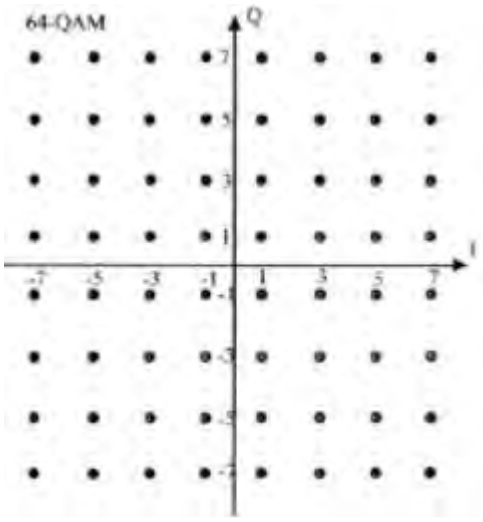


Fig. 8. Constelação de uma modulação 64-QAM.

Q. BPSK x QPSK

Como podemos observar as modulações BPSK e QPSK possuem a mesma probabilidade de erro de bit (BER). E com isso podemos concluir que se igualarmos a BER de cada uma das modulações chegaremos a conclusão que iremos gastar a mesma quantidade de Energia para transmitir um bit, e isto nos implica que iremos gastar também a mesma Potencia, já que energia e potencia são diretamente proporcionais nessas modulações.

A constelação BPSK possui maior eficiência de potencia, pois levara uma menor probabilidade de erro de símbolo a uma dada potencia de transmissão.

Se aumentarmos a potencia de transmissão na modulação QPSK aumentaremos também a distancia euclidiana entre os símbolos, assim diminuindo a probabilidade de erro de símbolo.

III. Conclusão

Através desse estudo, constelações e dos gráficos a seguir podemos concluir que:

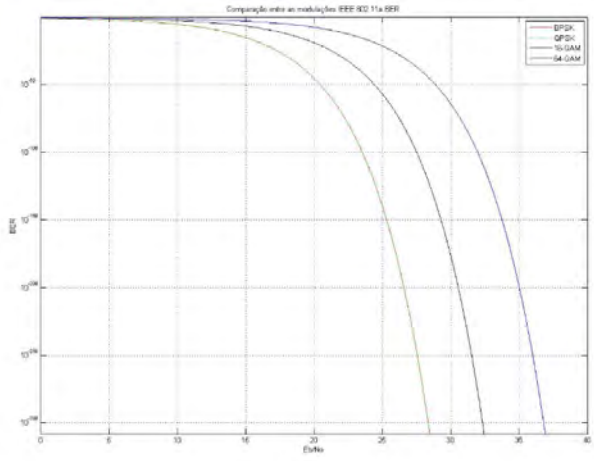


Fig. 8. Comparação da BER entre as modulações.

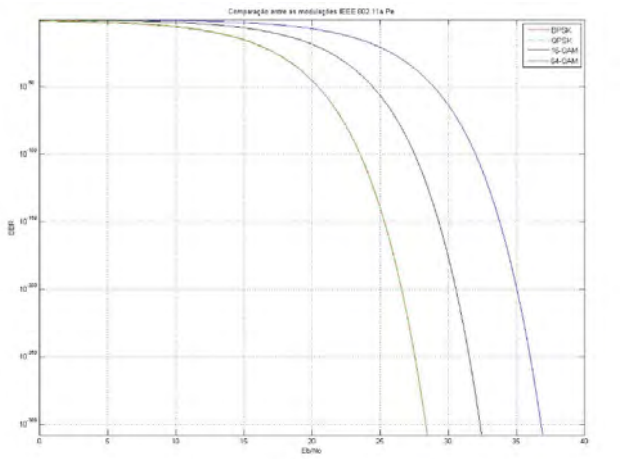


Fig.9. Comparação da Pe entre as modulações

.

A modulação 16-QAM é uma modulação que transmite 4 bits por símbolo gerando assim uma transmissão mais rápida comparada à uma modulação BPSK ou a uma QPSK.

A modulação 64-QAM é uma modulação que transmite 6 bits por símbolo gerando assim uma transmissão mais rápida comparada à uma modulação BPSK, QPSK e até mesmo se comparada com a 16-QAM, pois ela transmite dois bits a mais por símbolo do que a 16-QAM.

Olhando pelo lado de velocidade de transmissão seria muito mais vantajoso se usar uma modulação 64-QAM, mas se observarmos e compararmos as constelações das modulações BPSK, QPSK, 16-QAM e 64-QAM vamos conseguir perceber com clareza que os símbolos da Modulação 16-QAM é muito mais próximo do que se comparado com as modulações em fase BPSK e QPSK. Percebemos com mais clareza ainda o quanto mais próximos são os símbolos transmitidos pela modulação 64-QAM.

Podemos concluir que através das constelações das modulações BPSK, QPSK, 16-QAM e 64-QAM que as modulações QAM tem maior probabilidade de erro de símbolo e bit já que seus símbolos estão mais pertos na constelação, já que essas probabilidades de erro são calculadas a partir do principio da máxima verossimilhança. Podemos ver facilmente através da constelação de cada modulação, qual é aquela que tem os símbolos mais pertos.

Podemos notar que nas constelações BPSK, QPSK e 16-QAM ocorre o mapeamento Gray. Isto faz com que os símbolos na constelação tenham a diferença de apenas um bit de um símbolo para o outro, desde que seja os símbolo mais próximos. No caso da modulação 64-QAM onde não ocorre o mapeamento Gray, basta ser feito o Mapa de Karnaugh para esta modulação.

A principal vantagem de usarmos modulações QAM ao invés de modulações PSK, é que nas modulações QAM conseguimos transmitir muito mais rápido, devido que cada símbolo nas modulações QAM transportam um numero maior de bits por símbolo. Que é o que consta na tabela abaixo:

TABELA III
Comparação entre as modulações

MODULATION	BITS PER SYMBOL	SYMBOL RATE
BPSK	1	1 x bit rate
QPSK	2	1/2 bit rate
8PSK	3	1/3 bit rate
16QAM	4	1/4 bit rate
32QAM	5	1/5 bit rate
64QAM	6	1/6 bit rate

Cada uma das modulações BPSK, QPSK, 16-QAM e 64-QAM possui o seu lado bom e seu lado ruim, então aqui vamos falar um pouco sobre o que seria melhor e em qual caso cada uma delas se aplicaria melhor.

Primeiramente vamos falar em uma transmissão rápida e não necessariamente correta. Com uma modulação 64-QAM conseguimos ter uma transmissão muito mais rápida do que se comparado a qualquer uma das outras modulações, pois como já comentado e provado nos relatórios passados a modulação 64-QAM é aquela que transmite mais bits por símbolo, tornando a comunicação mais rápida. Embora a modulação 64-QAM seja a mais rápida ela tem seu lado negativo, pois na recepção devido as interferências e ruídos do meio de transmissão ela pode não conseguir fazer uma boa detecção já que na recepção os símbolos são recebidas e comparados com os mais próximos para que eles possam decidir por uma transmissão correta, e no caso da modulação 64-QAM devido ao grande numero de símbolos como vimos nas figuras acima ela na recepção pode não conseguir fazer a decisão através da máxima verossimilhança. Porem a modulação 64-QAM pode servir com uma ótima eficiência desde que aumentamos a potencia de transmissão dos símbolos. Se aumentarmos a potencia de transmissão cada vez mais, cada vez mais os símbolos ficarão mais distantes o que ficara mais fácil de fazer uma boa recepção de seus símbolos, mas isso também tem seu lado negativo, já que a potencia é uma grandeza diretamente ligada a energia, então se aumentarmos muito a potencia de transmissão estaremos aumentando também muito a energia, o que não é bom, pois estaríamos gastando muito mais com o consumo de energia para a transmissão. Por isso a modulação tem que ser bem estudada pois dependendo do caso compense mais usar uma modulação QPSK que transmite 3 vezes menos bits por símbolo do que uma modulação 64-QAM mas que entregue tudo de maneira confiável e sem erros como exigido pelo usuário.

Se desejarmos fazer uma transmissão de curta distancia podemos sim utilizar uma modulação 64-QAM ou 16-QAM, pois em um pequeno espaço de transmissão as interferências e ruídos são bem menores, o que ficaria mais fácil de fazer uma detecção na recepção. Agora se o que queremos é garantir para o cliente uma conexão que não haja erros, ou pacotes sendo perdidos pela rede, devemos usar uma modulação que possui seus símbolos mais espaçados, porque assim estaríamos garantindo que o receptor conseguiria fazer o critério da máxima verossimilhança apesar dos ruídos presente no meio, embora teremos uma conexão mais lenta, então toda modulação tem seu lado positivo e negativo, por isso devemos colocar na balança qual a nossa maior

necessidade para que isso seja atendido de uma forma mais competente.

Observando os dois gráficos apresentados sobre a probabilidade de erro de símbolo e de probabilidade de erro de bit, em ambos, quanto maior a relação Eb/No melhor a transmissão, já que quanto maior for essa relação maior será a relação sinal ruído, ou seja, maior vai ser a energia do sinal comparada a energia do ruído gaussiano.

APÊNDICE I

O programa em Matlab apresentado a seguir tem como objetivo gerar os gráficos de comparação da BER e Pe entre as modulações, Fig. 8 e Fig. 9.

```
%% BPSK BER
x=[0:0.1:10000];
xdb=10*log10(x);
A1=0.5
B1=1
BER1=A1*erfc(sqrt(B1*x));
semilogy(xdb,BER1,'r');
hold on
%% QPSK BER
A2=0.5
B2=1
BER2=A2*erfc(sqrt(B2*x));
semilogy(xdb,BER2,'g-.');
hold on
%%
%%16-QAM BER
A3=0.375
B3=0.4
BER3=A3*erfc(sqrt(B3*x));
semilogy(xdb,BER3,'k');
hold on
%%
%%64-QAM BER
A4=0.29
B4=1/7
BER4=A4*erfc(sqrt(B4*x));
semilogy(xdb,BER4,'b');
hold on
%% Plot BER
axis([0 40 0 0.8])
legend('BPSK','QPSK','16-QAM','64-QAM')
xlabel('Eb/No')
grid
ylabel('BER')
title('Comparação entre as modulações IEEE 802.11a
BER')
figure
%% BPSK Pe
x=[0:0.1:10000];
xdb=10*log10(x);
A1=0.5
B1=1
BER1=A1*erfc(sqrt(B1*x));
semilogy(xdb,BER1,'r');
hold on
%% QPSK Pe
A2=1
B2=1
BER2=A2*erfc(sqrt(B2*x));
semilogy(xdb,BER2,'g-.');
hold on
%%
%%16-QAM Pe
A3=1.5
B3=0.4
BER3=A3*erfc(sqrt(B3*x));
semilogy(xdb,BER3,'k');
hold on
%%
%%64-QAM Pe
A4=1.75
B4=1/7
BER4=A4*erfc(sqrt(B4*x));
semilogy(xdb,BER4,'b');
hold on
%% Plot Pe
axis([0 40 0 0.8])
legend('BPSK','QPSK','16-QAM','64-QAM')
xlabel('Eb/No')
grid
ylabel('BER')
title('Comparação entre as modulações IEEE 802.11a Pe')
```

REFERÊNCIAS

[1] Doyle, Linda E. Essentials of Cognitive Radio. Cambridge University Press. 2009.

[2] Huang, Yuqing, Wang, Jiao & Jiang, Hong. Modeling of Learning Inference and Decision- Making Engine in Cognitive Radio. Second International Conference on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing. April 24-25, 2010. Wuhan, China.

[3] IEEE 802.11 Working Group, IEEE Std 802.11. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications of IEEE 802.11.

[4] Resende, Luis E.A.. Wireless LAN e o Padrão IEEE 802.11. Departamento de Engenharia Elétrica / CETUC / PUC-Rio.

[5] IEEE 802.11 WIRELESS LOCAL AREA NETWORK http://www.ieee802.org/11/.

[6] S. Cheng (Ed.), “Foundation of Cognitive Radio Systems”. Croatia: Intech Inc. 2012.

[7] Prange, Cristian R.; Rochol, Juergen. Redes Locais sem Fio e o Padrão IEEE 802.11: Uma Análise Crítica. Instituto de Informática da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

[8] J. Geier. Wireless LAN - Implementing High Performance in IEEE 802.11 Networks.

[9] Y. Zeng, et al., “A Review on Spectrum Sensing for Cognitive Radio: Challenges and Solutions”, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, vol. 2010.

[10] Key Technology Issues for IEEE802.11ac Next Gen. WLAN, 28/06/2010, http://www.google.com.br/#hl=pt

[11] Wi-Fi Direct-Enabled Digital Televisions Will Approach 80 Million by 2015, 02/06/2011, http://www.instat.com/press.asp?ID=3153&sku=IN1104983MI

[12] Wi-Fi Alliance, http://www.wi-fi.org/

Reconfiguração de Redes de Distribuição de Energia através de Sistemas Multiagente

Bárbara Aburachid Rocha

Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG
barbaraabur@ufmg.br

Frederico Gadelha Guimarães

Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG
fredericoguimaraes@ufmg.br

Cidiney Silva

Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG
cidiney@gmail.com

Oriane Magela Neto

Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG
oriane@dee.ufmg.br

***Resumo*—A reconfiguração de redes de distribuição de energia exige a mudança do presente estado da rede, a fim de otimizar algumas figuras de mérito. Este artigo apresenta um algoritmo baseado em Sistemas Multiagente para resolução de problemas de reconfiguração, considerando como figura de mérito as perdas totais de energia na rede. Casos de teste com 100 barras/1 alimentador e 83 barras/11 alimentadores no modo de operação foram tomados como exemplo da aplicação do algoritmo proposto e ilustram seu sucesso.**

***Abstract*—Distribution Power Network Reconfiguration demands the change of present state of a network in order to optimize some figures of merit. This paper presents an algorithm based on Multi Agent Systems for reconfiguration problem solving considering as figure of merit total technical power losses on the network. Test cases with 100 buses/1 feeder and 83 buses/11 feeder in operation mode were taken as example of application of the proposed algorithm and illustrate its success.**

***Palavras chave*—Reconfiguração de Sistemas de Distribuição de Energia, Sistemas Multiagente, Smart Grids.**

***Keywords*—Multi Agent Systems, Power Distribution Network Reconfiguration, Smart Grids.**

I. Introdução

Redes de Distribuição de Energia são responsáveis por fornecer energia a consumidores finais. Estes consumidores estão espalhados por grandes áreas geográficas e possuem perfis de demanda muito diferentes. Essas características influenciam na topologia das redes de duas maneiras importantes. Primeiro, as cargas/consumidores são conectados em estrela. De forma a melhorar a confiabilidade do sistema de distribuição, algumas linhas de transmissão da rede devem possuir chaves que normalmente permanecem fechadas e deve haver algumas "linhas de transmissão reservas": linhas de transmissão abertas na maior parte do tempo. Esta configuração permite que sub-redes sejam desconectadas, de forma a isolar falhas, e conectadas a outros pontos da rede. Isso significa que é possível modificar a topologia da rede, mudando o estado das suas chaves (na transmissão e linhas de transmissão reservas). Além do fato da localização geográfica influenciar na topologia, o perfil de demanda também influencia na maneira que cada carga/consumidor estará conectado. O conhecimento da demanda e das propriedades físicas (ampacidade, comprimento) da linha de transmissão permitem a análise do fluxo de potência.

Percebe-se que os perfis de demanda não são estáticos ao longo do tempo. Mudanças nestes perfis ocorrem devido a razões sazonais (razões meteorológicas, por exemplo), mudanças na economia (como a mudança do número de fabricas em uma região), entre outros motivos. Eventualmente, a mudança do perfil de demanda irá exigir mudanças na estrutura física da rede. A desconexão/reconexão de sub-redes é uma abordagem direta e mais barata do que a substituição ou redundância das linhas de transmissão. Dessa forma, a reconfiguração é uma maneira econômica de manter e operar a rede quando a topologia não for mais compatível com a carga corrente.

Outra situação mais frequentemente observada que exige a reconfiguração da rede é a reconexão de sub-redes desconectadas devido a falhas de contingências. Nesses casos, é importante que a reconexão seja feita o mais rápido possível, respeitando todos os limites físicos e reconectando o máximo de consumidores possível. Dessa forma, podemos assegurar impactos mínimos nos índices de qualidade como a duração média de falhas e quantidade média de consumidores negligenciados em um ano.

Muitas soluções foram propostas para essa tarefa de

B. A. Rocha (barbaraabur@ufmg.br), C. Silva (cidiney@gmail.com), F. G. Guimarães (fredericoguimaraes@ufmg.br) e O. M. Neto (oriane@dee.ufmg.br) pertencem à Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Av. Antônio Carlos, 6624, Pampulha – Belo Horizonte – MG – Brasil - 31270-901.

reconfiguração. Muitos trabalhos utilizaram Algoritmos Evolucionários para reconfiguração e design de topologias ótimas para redes. [3] realizou um estudo sobre o impacto de parâmetros de Algoritmos Genéticos nos custos computacionais na busca da reconfiguração ótima para uma rede. [23] propôs um Algoritmo Genético refinado; melhorias foram realizadas na codificação do cromossomo, na função de fitness e no operador de mutação. [11] utilizou um Algoritmo Genético Multiobjetivo; sua contribuição foi o uso de uma abordagem multiobjetivo para o problema de reconfiguração e o uso de uma codificação por Permutação de Inteiros. [13] usou o NSGA-II para a reconfiguração de redes. Outras metodologias foram utilizadas entre elas, estão a lógica fuzzy [5] [14] [21], "mudanças sucessivas" [4] [17] e Algoritmo de Pontos Interiores [15].

Em um cenário no qual estão sendo desenvolvidas Smart Grids, redes de energia elétrica inteligentes, e tendo em vista que uma das propriedades da mesma é a capacidade de aumentar sua confiabilidade de forma autônoma, este artigo propõe a reconfiguração de Redes de Distribuição de Energia realizada por um Sistema Multiagente (SMA). Esta modelagem permite a reconfiguração por controle distribuído. Cada agente é capaz de avaliar o impacto de suas decisões sobre cada ação para reconfigurar a rede e, finalmente, decidir se irá agir ou não.

A abordagem de SMA para este assunto é muito interessante, pois cada agente precisa apenas de informações locais para avaliar sua própria decisão: se qualquer informação externa for necessária, ela pode ser fornecida por outro agente, responsável por monitorar todo o SMA. Esta abordagem leva ao controle distribuído das tarefas de reconfiguração, o que significa maior inteligência para o sistema.

II. Smart Grids

É indiscutível a enorme importância que o setor elétrico representa para a atual sociedade. O crescente uso de energia pelo mundo e a necessidade de se encontrar um modelo de desenvolvimento que leva em conta os aspectos do desenvolvimento ambiental, motivam as modificações propostas pelo conceito de Smart Grids (SG).

Smart Grids (SG) ou rede de distribuição de energia inteligente, apesar de não haver uma definição propriamente dita, é um sistema que otimiza o suprimento de energia, contornando problemas de forma rápida e autônoma, monitorando a demanda, minimizando as perdas e aumentando a confiabilidade da rede. Além disso, o conceito de SG envolve fontes de geração local e distribuída, o uso de geradores que utilizam fontes de energia diversas, como a eólica e a solar, e elementos de armazenamento de energia.

Estratégias de controle e otimização podem ser implantadas de forma eficiente através do uso da computação e das tecnologias de automação, informação e comunicação para o monitoramento e gerenciamento da rede.

Algumas das características desejáveis para esta nova forma de distribuição de energia são [6][18]:

- Auto-recuperação;
- Alta confiabilidade e qualidade de energia;
- Acomodação de uma vasta variedade de geração distribuída e opções de armazenamento;
- Capacitação e incorporação do consumidor;
- Tolerância a ataques à segurança;
- Minimização dos custos de operação e manutenção.

Para que tais características possam ser alcançadas deve haver a introdução de [9]:

- Automação e controle digital da rede elétrica, utilizando controles eletrônicos inteligentes, capazes de antecipar-se a perturbações e corrigi-las antes que ocorram;
- Medição inteligente com a capacidade de funcionar como um portal inteligente do consumidor que permitirá a disponibilização de sinais de preço e outras informações;
- Integração de um grande número de fontes de geração e armazenamento de energia de pequena e média capacidade, intermitentes ou contínuas, permitindo ao consumidor comprar e vender energia da rede.

Diversos projetos pilotos de SG estão sendo estudados e implantados ao redor do mundo em países como os Estados Unidos, Portugal, Índia, entre outros. Também no Brasil, vários projetos estão sendo desenvolvidos. A Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), por exemplo, vem desenvolvendo o projeto Cidades do Futuro que, baseando-se no projeto *IntelliGrid* fundado pelo Eletric Power Research Institute (EPRI), tem como objetivo avaliar os benefícios trazidos pela adoção da arquitetura Smart Grid e a possibilidade de expandir para toda a área de concessão da CEMIG, a partir de testes que serão realizados na cidade de Sete Lagoas.

III. Reconfiguração

Reconfiguração de Redes de Distribuição de Energia é a modificação da topologia das mesmas, para melhorar suas performances. A performance é traduzida pelas figuras de mérito, que são estabelecidas, na maior parte do tempo, como as instalações elétricas, reguladores governamentais e conselhos ou associações técnicas.

Redes de Distribuição de Energia são sistemas que estão em permanente estado de mudança. Essas mudanças ocorrem devido a diversas causas, como contingências, falhas de dispositivos ou eventos como mudanças no perfil das cargas. Eventualmente, mesmo as regras para operação de sistemas elétricos podem mudar (no Brasil, (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2009)). Assim, diversas vezes pode-se observar que a topologia atual de uma Rede de Distribuição de Energia é inadequada para figuras de mérito como confiabilidade, custos de mantimento e perdas resistivas.

Devido a este cenário, se torna necessário encontrar novas topologias para a Rede, para que ela possa operar em um

estado ótimo. Isso é especialmente interessante hoje em dia, visto que estão sendo desenvolvidas as Smart Grids (SG), redes de distribuição inteligentes [1][10]. Uma importante propriedade das SG é a habilidade de aumentar sua confiabilidade de forma autônoma, e a reconfiguração é uma excelente forma de fazer isso funcionar.

Os casos de reconfiguração simulados neste artigo foram estudados considerando um único critério de otimalidade. O único critério avaliado neste estudo foi o total de perdas resistivas da Rede. Tais perdas podem ser calculadas de acordo com a equação 1.

$$f_{perdas}(\vec{I}) = \sum_{i=1}^{N} r_i \cdot I_i^2 \quad (1)$$

Sendo

I_i: magnitude da corrente elétrica na i-ésima aresta (Linha de transmissão) (A);

r_i: resistência total para a i-ésima linha de transmissão (Ω).

As restrições foram a conectividade da rede – a topologia deve permanecer como uma árvore – e o valor da corrente máxima das linhas de transmissão.

IV. Sistemas Multi-agente

Sistemas Multi-agente [22] apesar de não haver um consenso sobre a definição dos mesmo, podem ser entendidos como sistemas que podem tomar uma decisão autônoma. Mais importante, cada agente do sistema pode interagir com os outros e padrões podem surgir dessa interação, com algumas informações ou interesses em conflito [19]. Estes sistemas serão concebidos para assumir funções delegadas pelo humano correspondente.

Neste contexto, SMA são propostos como solução para a otimização e distribuição de controle nos Smart Grids [12] [16]. Os SMA podem ter características como [8]:

- Respostas de eventos pela interação de agentes;
- Definição de escopo e capacidade de esquecimento;
- Maior confiabilidade devido à descentralização: não haverão pontos críticos colocando em risco todo o sistema;
- Diversidade de agentes, cada um deles buscando melhores - e inovadores – resultados para o sistema como um todo;
- Capacidade de delegação e compartilhamento de informações e lições aprendidas no domínio do problema;
- Planejamento e execução simultâneos.

Estas características são fundamentais para um gerenciamento automatizado de SG. Ações como a detecção e isolamento de falhas, detecção de fraudes, mercado eletrônico de energia, reconfiguração, entre outras, vão demandar, em um SG, um comportamento automatizado dos agentes no sistema.

A. SMA proposto

O SMA proposto consiste em modelar cada chave em uma Rede de Distribuição de Energia como um agente. Cada agente destina-se a reduzir sua própria perda de energia. Os atributos de cada agente estão descritos na tabela 1.

TABELA I
ATRIBUTOS DOS AGENTES

AGENTE	
• Matriz de payoff;	
• Estado;	//Estado atual do agente
• Rating máximo;	
• Rating;	//Carga (corrente elétrica)
• Infactibilidade	//Taxa de infactibilidade

A reconfiguração é realizada na rede por um jogo entre um agente com status “on” (chave fechada) e um agente com status “off” (chave aberta). Ambos os agentes avaliarão a matriz de payoff, analisando o impacto da decisão de uma mudança de estado. Esse par é sempre composto de agentes “on/off”, pois se ambos estiverem “on” ou ambos estiverem “off”, a mudança dos seus estados levará a uma topologia inviável: haveriam ciclos fechados ou vértices desconectados do grafo depois de tal modificação.

O atributo “infactibilidade” de cada agente foi concebido para classificar agentes que causaram a maior parte dos pares i, j que não foram bem sucedidos. Uma roleta estocástica é executada, com base nas informações deste campo, para promover encontros de pares que podem levar a mudanças para um melhor desempenho na rede.

O jogo descrito pode ser ilustrado pelo fluxograma na figura 1.

Um modelo de matriz de payoff é mostrado na tabela 2, onde COOPERATE significa “mudar de estado” e DEFECT significa “não mudar de estado”.

TABELA II
MATRIZ DE PAYOFFS PARA AGENTES i (LINHAS) E j (COLUNAS)

	COOPERATE	DEFECT
COOPERATE	$(0, rating_j)$	$(-\infty, -\infty)$
DEFECT	$(-\infty, -\infty)$	$(0, rating_i)$

$rating_{i,j}$ é a medida da corrente elétrica que passa pela chave/agente. O objetivo é diminuir esta medida. Para alcançar tal objetivo, uma função de utilidade definida por

$$SW = \frac{1}{\sum Payoff}$$

levará à maximização do bem estar social quando as correntes elétricas nos dois agentes forem baixas. O $-\infty$ não possui significado físico, apenas indica uma decisão inviável. Os agentes i, j tomarão uma decisão que maximize SW .

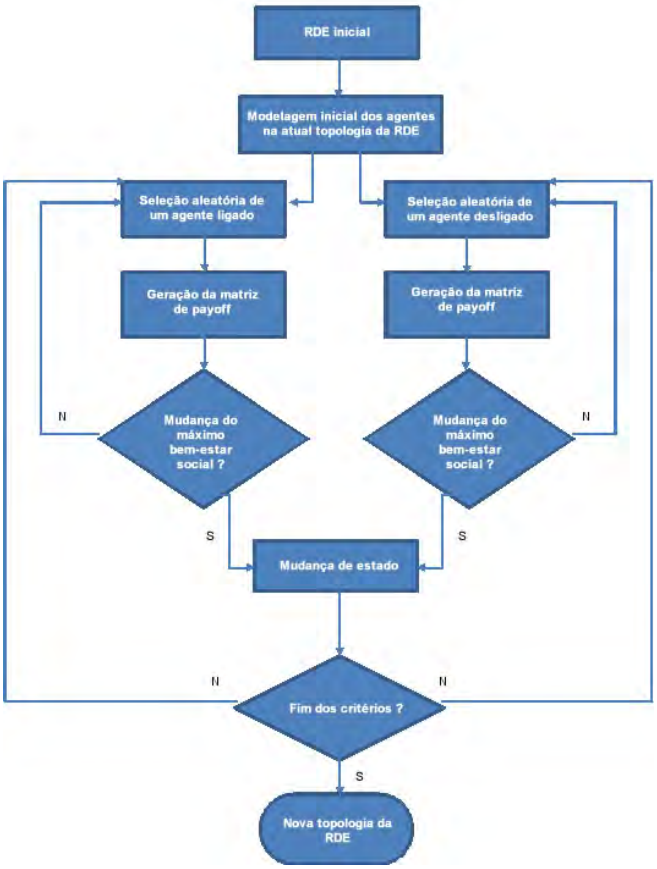


Fig. 1. Algoritmo proposto para reconfiguração por SMA

V. RESULTADOS

Os resultados a seguir foram obtidos para dois casos de teste. O primeiro deles, foi um problema teórico proposto em [7][20] de uma Rede de Distribuição de Energia composta de 100 barras e um alimentador. O segundo caso de teste foi uma referência da IEEE, com 11 alimentadores e 83 barras.

Cada caso de teste foi executado para estratégias puras e mistas. As estratégias mistas foram realizadas ignorando-se algumas das decisões a serem tomadas – como um ato de preguiça. Nas estratégias mistas, 2% das decisões avaliadas não foram executadas. As estratégias puras foram a execução de todas as ações que forneceriam melhora instantânea de SW . Todos estes testes foram executados 21 vezes através de 100 iterações.

As figuras 2 e 3 mostram os grafos inicial (no topo esquerdo) e final (no topo direito) representando as redes para cada estratégia.

As figuras 4 e 5 mostram os grafos inicial (no topo esquerdo) e final (no topo direito) representando as redes para cada estratégia.

Foi observado que ao usar estratégias mistas, foi possível atingir mais rapidamente resultados melhores para SW para o sistema com 100 barras. Para o sistema com 83 barras e 11 alimentadores, o impacto das estratégias mistas foi quase nulo.

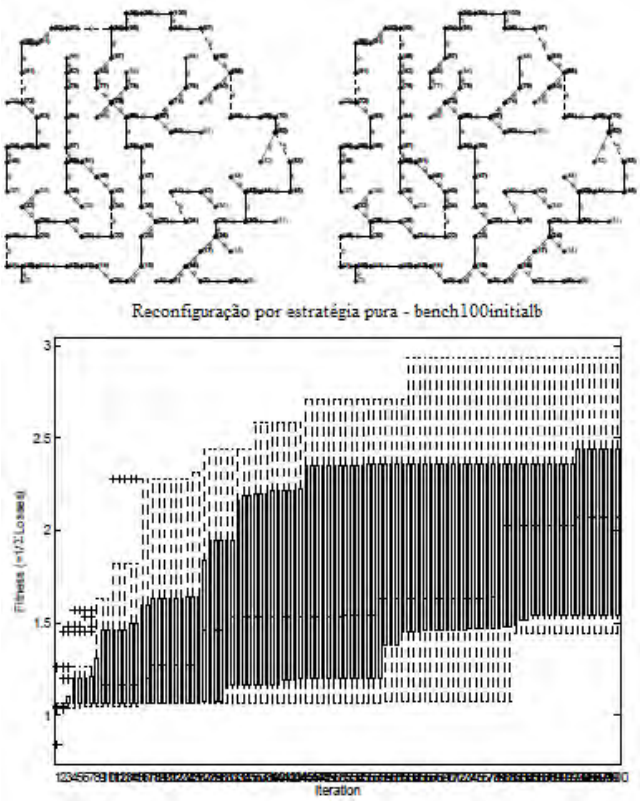


Fig. 2. Reconfiguração por estratégias puras

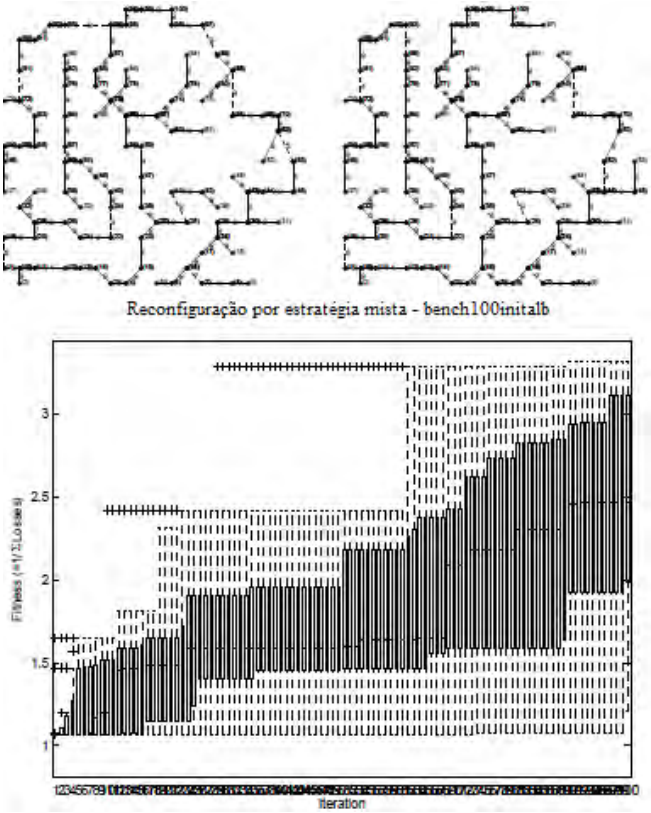


Fig. 3. Reconfiguração por estratégias mistas

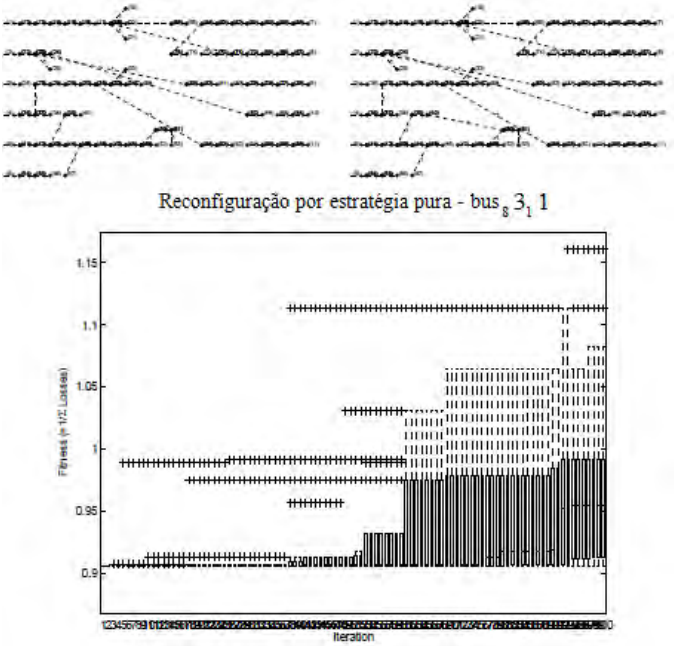


Fig. 4. Reconfiguração por estratégias puras

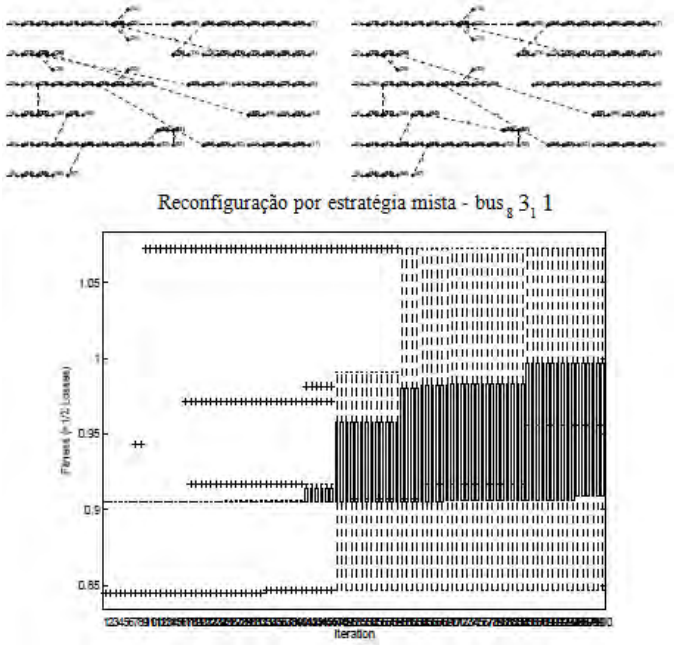


Fig. 5. Reconfiguração por estratégias mistas

VI. Conclusões

O jogo entre agentes proposto obteve sucesso na reconfiguração de Redes de Distribuição de Energia, alcançando a otimização das perdas, a partir de avaliações locais/abordagem de controle distribuído. Foi possível notar também que estratégias mistas tem um desempenho similar ou melhor que estratégias puras, para ambos os casos, com o jogo proposto. Outras regras e avaliações poderiam ser executadas para melhorar o desempenho deste jogo, como considerar dados externos, implementações diferentes de agentes, entre outras. A reconfiguração através de SMA proposta possui um "bônus" extra, que é a determinação de trocas sucessivas necessárias para se alcançar uma nova topologia. A sequência de ações dos agentes representa a sequência que deve ser realizada com o objetivo de alcançar um topologia ótima para a Rede de Distribuição de Energia.

Referências

[1] 2008. The SMART GRID: an Introduction. U.S. Energy Department, http://www.oe.energy.gov/SmartGridIntroduction.htm.

[2] Agência Nacional de Energia Elétrica, 2009. Resolução de 15 de dezembro de 2009.

[3] Amasifen, J. C. C., Romero, R., Mantovani, J. R. S., agosto 2005. Algoritmos evolutivos dedicados à reconfiguração de redes radiais de distribuição sob demandas fixas e variáveis – estudo dos operadores genéticos e parâmetros de controle. Revista Controle & Automação 16 (3). 303-317.

[4] Baran, M. E., Wu, F. F., abril 1989. Network reconfiguation in distribution systems for loss reduction and load balancing. IEEE Transactions on Power Delivery 4 (2), 1401–1407.

[5] Bernardon, D. P., dezembro 2007. Novos métodos para reconfiguração das redes de distribuição a partir de algoritmos de tomadas de decisão multicriteriais. Ph.D. thesis, UFSM.

[6] Brown, R. E., Impacto f SmartGrid on Distribution System Design, IEEE *Power and Energy Society General Meeting Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, 2008, p. 1-4.

[7] Carrano, E. G., agosto 2007. Algoritmos evolucionários eficientes para otimização de redes. Ph.D. thesis, PPGEE-UFMG.

[8] Datta, S., 2002. Agents: Where artificial intelligence meets natural stupidity. http://hdl.handle.net/1721.1/41914.

[9] Falcão, D. M., SmartGrids e Micro redes: o Futuro já é Presente, *VIII SIMPASE*, 2009, Rio de Janeiro.

[10] Gellings, C., 2009. The smart grid: enabling energy efficiency and demand response. Fairmont Press. URL http://books.google.com/books?id=vJJFPgAACAAJ

[11] Irving, M. R., Luan, W. P., Daniel, J. S., agosto 2002. Supply restoration in distribution networks using a genetic algorithm. Electrical Power and Energy Systems 24, 447–457.

[12] James, G., Cohen, D., Dodier, R., Platt, G., Palmer, D., 2006. A deployed multi-agent framework for distributed energy applications. In: Proceedings of the fifth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems. AAMAS '06. ACM, New York, NY, USA, pp. 676–678. URL http://doi.acm.org/10.1145/1160633.1160752

[13] Kumar, Y., Das, B., Sharma, J., dezembro 2005. Service restoration in distribution system using non-dominated sorting genetic algorithm. Electric Power Systems Research 76, 768–777.

[14] Neto, A. C., Tanscheit, R., Vellasco, M. M. B. R., 2008. Reconfiguração de redes de distribuição utilizando restrições fuzzy. http://publique.rdc.pucrio.br/rica/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=35%&sid=5.

[15] Oliveira, L. W., Junior, S. C., Costa, J. S., de Oliveira, E. J., Pereira, J. L. R., Junior, I. C. S., maio 2009. Reconfiguração ótima de sistemas de distribuição para minimização de perdas de energia. Revista Controle & Automação 20 (2), 233–246.

[16] Pipattanasomporn, M., Feroze, H., Rahman, S., march 2009. Multi-agent systems in a distributed smart grid: Design and implementation. In: Power Systems Conference and Exposition, 2009. PSCE '09. IEEE/PES. pp. 1 –8.

[17] Popović, D. S., Cirić, R. M., julho 1999. A multi-objective algorithm for distribution networks restoration. IEEE Transactions on Power Delivery 14 (3), 1134–1141.

[18] Roncero, J. R., Integration is key to smart grid Management, *CIRED Seminar*, 2008, Frankfurt, paper 09.

[19] Shoham, Y., Leyton-brown, K., Jude, T., 2009. Multiagent systems: Algorithmic, gametheoretic, and logical foundations.

[20] Silva, C., 2011. Algoritmo de evolução diferencial discreta aplicado à reconfiguração de redes de distribuição de energia elétrica. Master's thesis, PPGEE.

[21] Venkatesh, B., Ranjan, R., Gooi, H. B., fevereiro 2004. Optimal reconfiguration of radial distribution systems to maximize loadability. IEEE Transactions on Power Systems 19 (1), 260–266.

[22] Wooldridge, M., 2009. An Introduction to MultiAgent Systems. John Wiley & Sons. URL http://books.google.com.br/books?id=X3ZQ7yeDn2IC

[23] Zhu, J. Z., janeiro 2002. Optimal reconfiguration of electrical distribution network using the refined genetic algorithm. Electric Power Systems Research 62, 37–42.

Modelagem e Simulação de Veículo Elétrico

Paulo Roberto Ubaldo Guazzelli
Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
prubaldo92@hotmail.com

Carlos Alberto De Francisco
Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
engcarlos@hotmail.com

Osmar Ogashawara
Universidade Federal de São Carlos – UFSCar
osmaroga@ufscar.br

***Resumo*—Este artigo apresenta o simulador desenvolvido para a previsão de desempenho e comportamento de um veículo puramente elétrico. Os modelos dos subsistemas que compõem um veículo elétrico serão apresentados, seguidos dos resultados de um exemplo de simulação feita na ferramenta desenvolvida.**

***Palavras chave*—modelagem, simulação, veículo elétrico.**

***Abstract*—This paper shows a simulator developed to predict the behavior and performance of a pure electric vehicle. The models of the subsystems that are part of the electric vehicle will be presented, followed by the results of a simulation example made in the developed tool.**

***Key words*—electric vehicle, modeling, simulation.**

I. Introdução

Os veículos híbridos (HEV) e puramente elétricos (PEV), apesar de já existirem desde o fim do século XIX [1], ganharam atenção apenas recentemente devido à recente preocupação mundial, que privilegia tecnologias pouco danosas ao ambiente [2]. Frente aos veículos convencionais, movidos apenas por combustíveis fósseis, os HEV e PEV apresentam emissões de gases poluidores da atmosfera reduzidas ou inexistentes (no caso dos PEV). Tendo em vista tal tendência, formou-se na UFSCar o Grupo de Pesquisa em Veículos Elétricos, engajado no desenvolvimento de um PEV.

Duas etapas primordiais em um projeto de engenharia são a modelagem do sistema físico real (SFR) e a simulação computacional do modelo [3]. Isto poupa tempo e dinheiro no desenvolvimento do produto final, sendo necessárias em um sistema complexo como o veículo elétrico [4]. Um simulador de veículos elétricos, o ADVISOR, já foi utilizado em outros trabalhos [5], porém ele não é mais um software de livre acesso. Sendo assim, este trabalho foca-se na obtenção de um simulador que permita, a partir de modelos dos componentes elétricos e mecânicos de um PEV, prever o comportamento e desempenho do veículo. Para isso, será utilizado o ambiente de simulação Simulink, da MathWorks, em conjunto com bibliotecas que possuem modelos de componentes elétricos (SimPowerSystems) e mecânicos (SimDriveline) comumente utilizados em veículos.

Os subsistemas que compõem um PEV são: a bateria, a eletrônica de potência, o motor, a transmissão e a dinâmica do veículo (que considera fatores de atrito das rodas e aerodinâmica, entre outros). Serão apresentados os modelos utilizados e/ou desenvolvidos para cada subsistema acima. Por fim, os resultados fornecidos pelo simulador para um veículo com características fornecidas serão apresentados.

Manuscrito recebido em XX de fevereiro de 2013; revisado em XX de novembro de 2013.

P. R. U. Guazzelli (prubaldo92@hotmail.com), C. A. De Francisco (engcarlos@hotmail.com) e O. Ogashawara (osmaroga@ufscar.br) pertencem à Universidade Federal de São Carlos - UFSCar. Rodovia Washington Luís, km 235 – São Carlos - SP - Brasil - 13565-905.

II. Modelagem

O modelo completo desenvolvido está na figura 1: nele vê-se o carro dividido em duas partes principais: uma elétrica e outra mecânica.

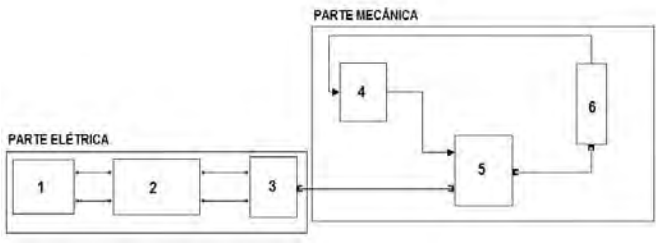


Fig. 1. Sistema completo que modela um veículo elétrico.

A parte elétrica é composta da bateria (1), que alimenta o sistema, do motor elétrico (3), que traciona o carro, e da eletrônica de potência (2), que adéqua a tensão da bateria às necessidades do motor.

A parte mecânica é composta da dinâmica do veículo (6), que leva em consideração os fatores de carga do sistema (aerodinâmica, atrito das rodas e massa da carroceria), da transmissão (5), que liga o motor às rodas, além de um subsistema que controla as marchas da transmissão (4, que pode depender da velocidade, como na figura).

A. Motor

Devido às suas simples estruturas, escolheu-se usar os motores DC de ímã permanente e de rotor bobinado. Para

modelá-los, usaram-se os seus modelos lineares [6], isto é, que não levam em conta a saturação de fluxo, através de blocos disponíveis na biblioteca SimPowerSystems (figura 2). Eles foram adaptados para se conectarem com o eixo mecânico do carro (figura 3), através de componentes da biblioteca SimDriveline. A adaptação possibilitou a inclusão dos parâmetros mecânicos da máquina elétrica. Também se colocou um indutor de amortecimento em série com a armadura dos motores.

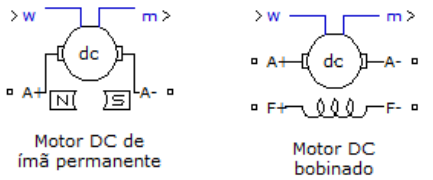


Fig. 2. Modelos de motores DC do SimPowerSystems.

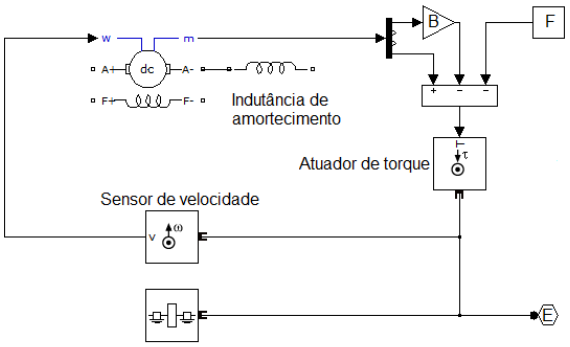


Fig. 3. Motor acoplado ao eixo mecânico.

No caso do motor de ímã permanente, o modelo necessita dos seguintes parâmetros: resistência (Ω) e indutância (H) de armadura, constante contra-eletromotriz (adimensional), coeficiente de atrito seco (Nm), coeficiente de atrito viscoso (Nm·s/rad) e momento de inércia (kg·m²). O motor de rotor bobinado necessita dos seguintes parâmetros: resistência (Ω) e indutância (H) de armadura, resistência (Ω) e indutância (H) de campo, indutância mútua (H), coeficiente de atrito seco (Nm), coeficiente de atrito viscoso (Nm·s/rad) e momento de inércia (kg·m²).

Outro parâmetro necessário é o valor da indutância de amortecimento (H).

B. *Bateria*

Foi utilizado o modelo da bateria contido na biblioteca SimPowerSystems (figura 4). Ele possibilita escolha entre quatro tipos de bateria: níquel-cádmio, chumbo-ácido, íons de lítio e níquel-metal-hídrido. O modelo necessita da tensão nominal da bateria (V), da capacidade nominal (Ah) e do estado de carga inicial (%).

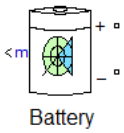


Fig. 4. Componente bateria do SimPowerSystems.

C. *Eletrônica de potência*

Como a tensão da bateria é contínua e os motores escolhidos para o simulador também necessitam de tensões contínuas, o dispositivo necessário é um conversor DC-DC. Neste estágio do simulador, pode-se usar um modelo simplificado do conversor, conforme a figura 5. Ele necessita da tensão de saída máxima desejada do barramento (V) e da tensão inicial da bateria (V).

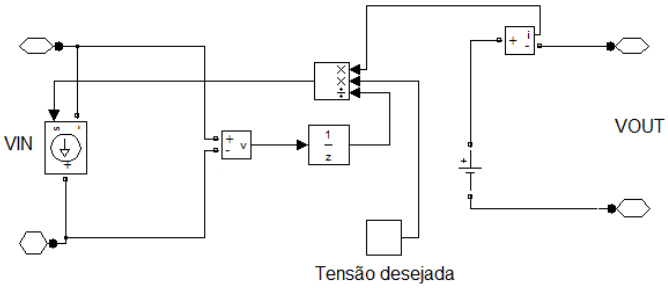


Fig. 5. Modelo de conversor DC-DC desenvolvido.

D. *Dinâmica do carro*

Resolveu-se modelar um veículo com tração nas rodas traseiras. Para isso, fez-se uso de blocos da biblioteca biblioteca SimDriveline (figura 6), de modo a obter-se o modelo da figura 7.

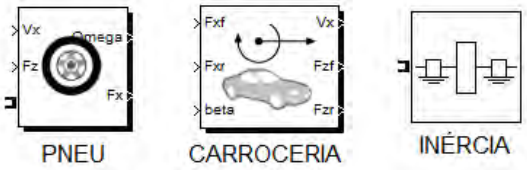


Fig. 6. Blocos da biblioteca SimDriveline usados.

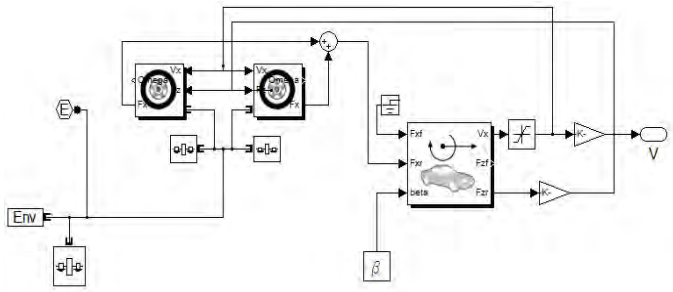


Fig. 7. Modelo usando componentes da biblioteca SimDriveline.

O modelo necessita dos seguintes parâmetros: massa total do veículo (kg), coeficiente aerodinâmico (adimensional), área frontal da carroceria (m²), entre – eixos (m), distância do centro de gravidade (CG) do eixo traseiro (m), altura do CG (m), raio das rodas (m), carga nominal dos pneus (N) e inclinação da pista (°).

E. *Transmissão*

Três câmbios foram modelados: duas caixas manuais (de quatro e de seis marchas) e uma transmissão continuamente variável (CVT) do tipo eletromecânica, isto é, em que é possível, através de atuadores eletromecânicos, que se controle

o valor da redução de velocidade, dentro de uma faixa. Para isso, também se usou a biblioteca SimDriveline, que possui modelos de embreagens e reduções. Assim, obtiveram-se três caixas diferentes. As figuras 8, 9 e 10 mostram as transmissões modeladas:

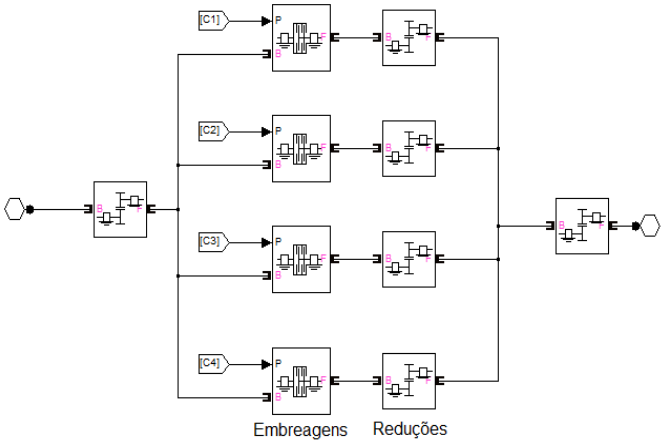


Fig. 8. Modelo de uma caixa com quatro marchas.

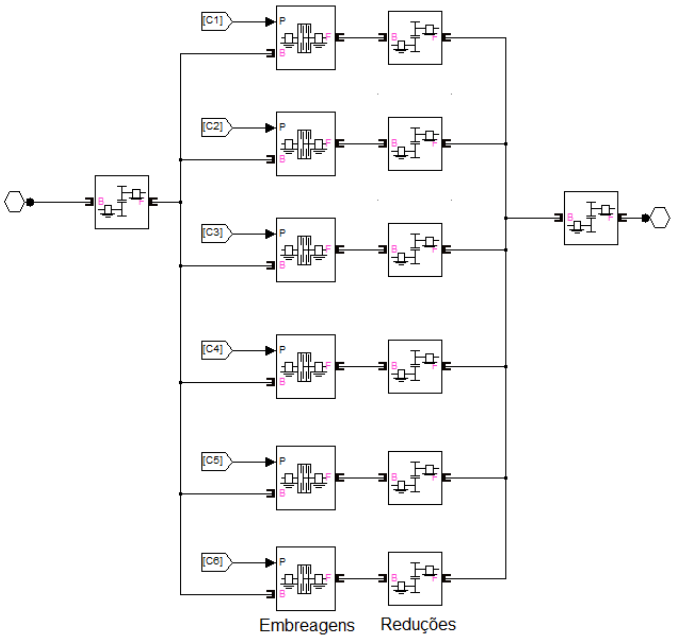


Fig. 9. Modelo de uma caixa com seis marchas.

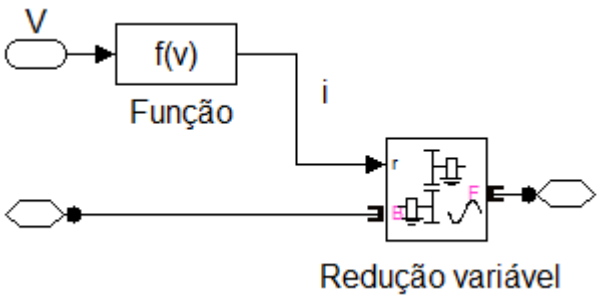


Fig. 10. Modelo de um CVT eletromecânico.

As duas caixas manuais requerem os valores de cada redução, enquanto que o CVT requer uma função que determine a razão de redução em função da velocidade.

F. Controle das marchas

No caso das caixas manuais, é necessário que se determine em quais velocidades ocorrerão as trocas de marcha. Assim, foi desenvolvido um sistema que muda as marchas conforme as velocidades inseridas no simulador (na figura 11, vê-se o sistema para uma transmissão com apenas duas marchas). Também é possível que se determine quando o carro deve ter a primeira marcha engatada, após o carro ser ligado no neutro. O sistema da figura 12 converte a marcha desejada no sinal adequado para as embreagens (na figura, da transmissão de 4 marchas).

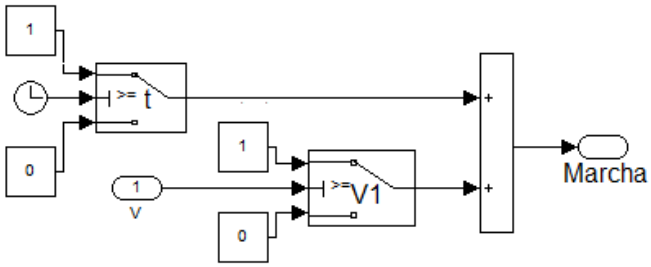


Fig. 11. Sistema que controla a marcha do carro em função da velocidade.

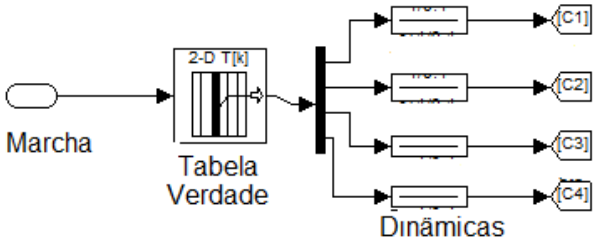


Fig. 12. Sistema que controla a marcha do carro em função da velocidade.

III. Simulação e Resultados

Dentre os modelos citados, montou-se um veículo com a seguinte configuração: um motor DC bobinado de 5 HP alimentado pela bateria, através de dois conversores DC-DC (um para a armadura e outro para o campo), acoplado ao veículo de tração traseira. Resolveu-se testar este veículo com cada transmissão modelada anteriormente.

O motor DC bobinado escolhido tem seus parâmetros elétricos e mecânicos mostrados na tabela I:

TABELA I
PARÂMETROS ELÉTRICOS E MECÂNICOS DO MOTOR

PARÂMETRO	VALOR
Resistência de armadura (Ω)	0.78
Indutância de armadura (H)	0.016
Resistência de campo (Ω)	150
Indutância de campo (H)	112.5
Indutância mútua (H)	1.234
Coeficiente de atrito seco (Nm)	0
Coeficiente de atrito viscoso (Nm.s/rad)	0.01
Momento de inércia (kg.m²)	0.05
Indutância de amortecimento (H)	0.01

Foi utilizada uma bateria de níquel-metal-hídrido, com os parâmetros mostrados na tabela II:

TABELA II
ESPECIFICAÇÕES DA BATERIA.

PARÂMETRO	VALOR
Tensão nominal (V)	200
Tensão inicial (V)	235
Carga (Ah)	6.5
Estado de carga inicial (%)	100

O conversor DC-DC da armadura produzia uma tensão de 240 V na saída, enquanto que o conversor do campo produzia 150 V na saída.

O carro usado possuía os parâmetros da tabela III:

TABELA III
ESPECIFICAÇÕES DO CARRO.

PARÂMETRO	VALOR
Peso bruto (kg)	330
Coeficiente aerodinâmico	1
Área frontal (m²)	1
Raio das rodas (m)	0.2
Carga nominal das rodas (N)	3000
Entre – eixos(m)	1.5
Distância do CG ao eixo traseiro (m)	0.75
Altura do CG (m)	0.5

O carro obtido foi testado com as três transmissões disponíveis. Usaram-se os dados da transmissão de quatro marchas da moto POP 100 [7], da transmissão de seis marchas da moto Ninja 250 [8] e do CVT [9] eletromecânico do carro Toyota Prius (através de um modelo de HEV do MATLAB baseado no carro da Toyota). Elas foram otimizadas com a adição em série de uma engrenagem simples, para que, em aclive de 25%, a potência consumida pelo motor fosse inferior a 5 HP nos três casos. Assim, obtiveram-se as seguintes transmissões, conforme os dados das tabelas IV e V, para as transmissões manuais, e da equação (1), para o CVT.

TABELA IV
ESPECIFICAÇÕES DA CAIXA DE QUATRO MARCHAS.

MARCHA	VALOR
Primeira	11.496
Segunda	6.919
Terceira	5.024
Quarta	3.888

TABELA V
ESPECIFICAÇÕES DA CAIXA DE SEIS MARCHAS.

PARÂMETRO	VALOR
Primeira	9.859
Segunda	6.784
Terceira	5.343
Quarta	4.399
Quinta	3.792
Sexta	3.386

$$i(v) = 10.5 - 0.07v \quad (1)$$

As duas transmissões manuais tiveram as velocidades de troca de marcha otimizadas, de modo que se obtiveram as tabelas VI e VII:

TABELA VI
VELOCIDADES DE COMUTAÇÃO DA CAIXA DE QUATRO MARCHAS.

MARCHA	VALOR
Troca para a segunda (km/h)	9
Troca para a terceira (km/h)	17.5
Troca para a quarta (km/h)	25

TABELA VII
VELOCIDADES DE COMUTAÇÃO DA CAIXA DE SEIS MARCHAS.

PARÂMETRO	VALOR
Troca para a segunda (km/h)	11
Troca para a terceira (km/h)	18
Troca para a quarta (km/h)	23
Troca para a quinta (km/h)	29
Troca para a sexta (km/h)	35

Com todos os dados inseridos, simulou-se o carro elétrico com aceleração máxima em duas condições: pista plana e aclive de 25% (14.5°). Ressalta-se que, no caso das duas topologias com câmbio manual, programou-se o modelo para que o carro trocasse de marchas em pista plana, mas realizasse o aclive apenas em primeira marcha, sem comutação de marchas. Também se programou nos modelos que os carros com transmissão manual apenas fossem engrenados depois de um segundo de simulação.

Obtiveram-se as seguintes curvas de aceleração do carro, para cada transmissão (figura 13).

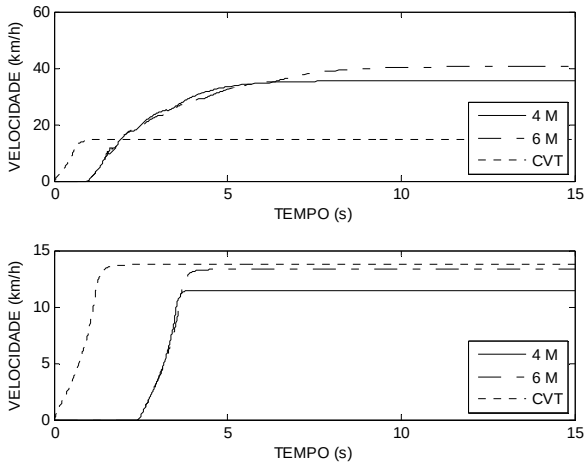


Fig. 13. Velocidades obtidas em pista plana e em aclive, respectivamente.

Pelo primeiro gráfico, vê-se que o câmbio de 6 marchas propiciou a maior velocidade máxima, e que o câmbio CVT propiciou uma velocidade consideravelmente menor. Logo, a sua equação necessita de otimização. O segundo gráfico mostra que todos os veículos venceram o aclive de 25%, e que agora foi o CVT que desenvolveu a maior velocidade. Isso ocorreu porque as duas outras transmissões percorreram a subida com apenas uma engrenagem, de valor alto (1ª marcha). Desse modo, elas apresentaram maior diferença de desempenho entre os dois gráficos do que o CVT.

Na mesma simulação, obtiveram-se os seguintes consumos de potência pelo motor, para cada transmissão (figura 14).

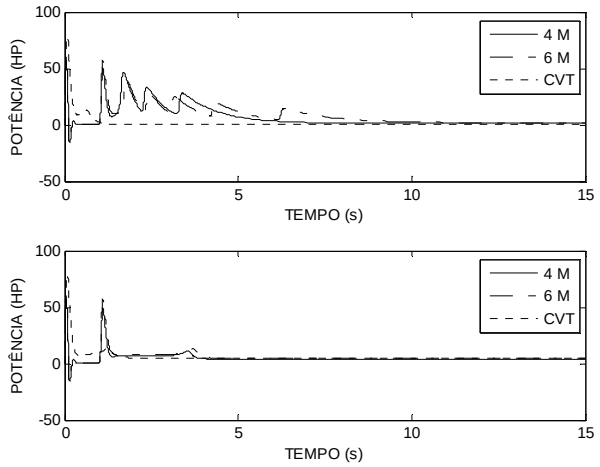


Fig. 14. Potências consumidas em pista plana e em aclive, respectivamente.

O primeiro gráfico de potência revela que inicialmente ocorrem picos de potências no motor, e que em regime a potência permanece em um patamar bem abaixo de 5 HP para todas as transmissões. Percebe-se que, no caso das duas caixas manuais, ocorrem picos de potência sempre que ocorrem trocas de marcha, enquanto que o CVT elimina esse problema, como esperado, por variar continuamente a relação de transmissão. O segundo gráfico, agora em aclive, também mostra que a potência consumida no transitório foi menor no caso do carro com CVT, e que em regime todas as transmissões cumpriram o estabelecido, que era permanecer abaixo da potência nominal de 5 HP.

Por fim, obtiveram-se os seguintes decaimentos do estado de carga da bateria, para cada transmissão (figura 15).

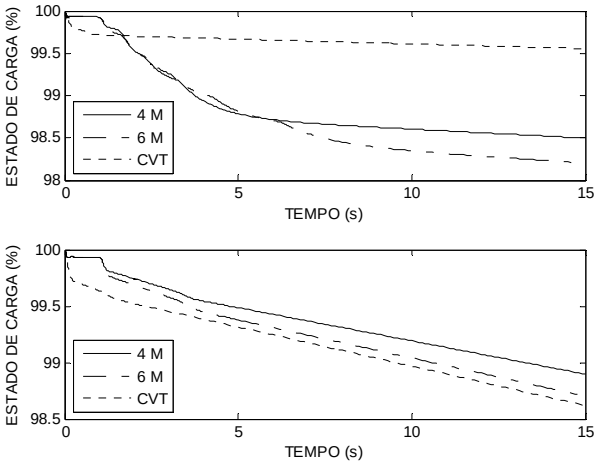


Fig. 15. Descarga da bateria em pista plana e em aclive, respectivamente.

O primeiro gráfico mostra que o CVT provocou a menor descarga da bateria em pista plana, o que é condizente, pois as duas caixas manuais desenvolveram maiores velocidades. Já na subida, o CVT provocou a maior descarga na bateria, pois agora as caixas manuais percorreram o trajeto apenas em primeira marcha. Em todos os casos, a descarga foi baixa (a bateria ao final da aceleração sempre teve carga acima de 98%).

IV. Conclusões

Através dos gráficos obtidos, percebe-se que houve êxito no desenvolvimento de um modelo que representasse um carro elétrico, a partir das modelagens de seus subsistemas elétricos e mecânicos. Assim, obteve-se uma ferramenta de simulação útil para o desenvolvimento e projeto de um veículo elétrico. Provou-se ainda ser possível comparar diferentes modelos de carros, com diferentes transmissões, para avaliar qual a melhor topologia para determinado caso. Esta comparação também pode ser feita entre os dois motores modelados para uma mesma transmissão. Essa comparação de topologias via simulação é de grande valia para qualquer projeto de engenharia, por poupar tempo e custos. Desse modo, comprova-se a eficácia e a importância do simulador projetado.

V. Trabalhos Futuros

Como modo de aprimorar o simulador cita-se o aumento do banco de modelos do simulador, através da inclusão de outros motores (como o motor de indução, juntamente com a eletrônica de potência necessária) e de outras transmissões (como o CVT mecânico). No simulador, também se pode colocar modelos de outras fontes de energia, como células de combustível. Outra abordagem interessante seria o desenvolvimento de modelos de controladores para o carro, que permitissem ou não frenagem regenerativa, por exemplo. Com isso, a adição de ultra-capacitores no simulador também seria recomendada.

Referências

[1] M. Ehsani, Y. Gao, A. Emadi. *Modern Eletric, Hybrid Eletric, and Fuel Cells Vehicles: Fundaments, Theory and Design.* New York: CRC PRESS. 2004. 2ª Edição.

[2] J. Larminie, J. Lowry, *Electric Vehicle Technology Explained.* 1. ed. – Chichester: John Wiley & Sons, 2003, ch. 1.

[3] W. A. Bazzo, L. T. V. Pereira, *Introdução à Engenharia: conceitos, fundamentos e comportamentos.* 2. ed. – Florianópolis: Ed. da UFSC, 2009, ch. 7.

[4] Erik Schaltz (2011). Electrical Vehicle Design and Modeling, Electric Vehicles - Modelling and Simulations, Dr. Seref Soylu (Ed.), ISBN: 978-953-307-477-1, InTech, DOI: 10.5772/20271. Disponível: http://www.intechopen.com/books/electric-vehicles-modelling-and-simulations/electrical-vehicle-design-and-modeling;

[5] G. Wang, P. Yang, J. Zhang. "Fuzzy Optimal Control and Simulation of Battery-Ultracapacitor Dual-Energy Source Storage System for Pure Electric Vehicle", presented at the 2010 International Conference on Intelligent Control and Information Processing, Dalian, CHI, August 12-15, 2010.

[6] A. E. Fitzgerald, C. Kingsley Jr, S. D. Umas, *Máquinas elétricas Com Introdução à Eletrônica de Potência*. Tradução: Anatólio Laschuk. Porto Alegre: Bookman, 2006, ch. 7.

[7] *Manual do proprietário POP 100*, Honda Motor Company Limited, Japan, 1948;

[8] *Especificações da moto Ninja 250R*, Kawasaki Motores do Brasil Ltda, Disponível: http://www.kawasakibrasil.com/produtos-detalhe.asp?ID=73;

[9] P. Brunelle, "Hybrid Electric Vehicle (HEV) Power Train Using Battery Model", Disponível: http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/33310-hybrid-electric-vehicle-hev-power-train-using-battery-model

Uso da lógica *fuzzy* no rastreamento do ponto de máxima potência de operação (MPPT) de um sistema fotovoltaico de geração de energia elétrica

Nélio Vaz Resende
Instituto Federal de Goiás - IFG
nelio512@hotmail.com

Sérgio Pires Pimentel
Universidade Federal de Goiás - UFG
pimentel@emc.ufg.br

Enes Gonçalves Marra
Universidade Federal de Goiás - UFG
enes@eee.ufg.br

***Resumo*— Este trabalho apresenta a aplicação da lógica *fuzzy* no controle de um conversor eletrônico de potência alimentado por um painel fotovoltaico. A operação do conversor visa o rastreamento do ponto de operação do painel fotovoltaico no qual, dadas as condições externas, sua potência fornecida seja máxima. Tal técnica de rastreamento é conhecida pela sigla MPPT – *Maximum Power Point Tracking*. Vantagens e características da técnica MPPT são apresentadas. O desempenho da técnica MPPT empregada foi analisado a partir do painel fotovoltaico KD210GX-LP, fabricado pela Kyocera e com potência nominal de 210W. Nessa faixa de potência, o sistema fotovoltaico poderia ser acoplado à rede elétrica e, assim, se constituir como uma fonte de geração distribuída. Resultados de simulações são apresentados para descrever a aplicação em estudo e verificar as hipóteses levantadas no início das atividades. Por fim, conclusões são apresentadas.**

***Palavras chave*—Eletrônica de potência, lógica *fuzzy*, MPPT, sistemas fotovoltaicos.**

***Abstract*: This paper presents the application of *fuzzy* logic control of a power electronic converter powered by a photovoltaic panel. The operation of the converter is designed to track the operating point of the PV panel in which, given the external conditions, its maximum power is provided. This screening technique is known by MPPT - *Maximum Power Point Tracking*. Advantages and characteristics of MPPT technique is presented. The performance of the MPPT technique employed was analyzed by the utilization of a commercial photovoltaic panel, model LP-KD210GX, manufactured by Kyocera and rated power of 210W. In this power range, the PV system could be connected to the grid and thus constitute a source of distributed generation. Simulation results are presented in order to describe the application under study and verify the assumptions made at the beginning of the activities. At the end of this study, conclusions are presented.**

***Keywords Power* electronics, *fuzzy* logic, MPPT, PV systems.**

Manuscrito recebido em 08 de março de 2013; revisado em 31 de março de 2013.

N. V. Resende (nelio512@hotmail.com) é aluno de graduação em Engenharia de Controle e Automação no campus Goiânia do IFG. Rua 75, 45 – Setor Central – Goiânia – GO - 74055-110

S. P. Pimentel (pimentel@emc.ufg.br) e E. G. Marra (enes@eee.ufg.br) são professores na Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação da UFG. Av. Universitária, 1488 – Setor Leste Universitário – Goiânia – GO – 74605-010

I. INTRODUÇÃO

A. Contextualização

Em função da futura escassez de combustíveis fósseis e dos impactos causados no meio ambiente por algumas fontes de energia, seja na obtenção ou no aproveitamento, a alternativa em usar fontes alternativas ou renováveis de energia tem sido objeto de estudo em diversas pesquisas [1-3]. Dentre as opções sugeridas, o uso da energia fotovoltaica tem sido cada vez mais defendido por ser um tipo de fonte não-poluidora e renovável [4]. Um sistema fotovoltaico não produz lixo tóxico tal como ocorre nas usinas nucleares, não polui o meio ambiente como nas usinas termoelétricas a gás ou a carvão e não provoca impactos ambientais e/ou sociais como nas usinas hidrelétricas [5].

Apesar das vantagens, há duas características que impedem um uso ainda maior da energia fotovoltaica: custo de fabricação dos componentes; e baixa eficiência de conversão da energia solar para a energia elétrica. Há outros fatores, tais como a temperatura de operação de célula fotovoltaica e a sazonalidade dos níveis de insolação, que podem contribuir em menor escala na escolha ou não pela energia fotovoltaica. O custo dos componentes é, na verdade, ainda o principal fator que define a opção por outras fontes geradoras. Espera-se que a redução no custo de fabricação das células solares (ou células fotovoltaicas), estimado para ser inferior a US$0,40/watt e que atualmente encontra-se em US$4,00/watt, possa aumentar o uso da energia fotovoltaica [5].

Caso a expectativa de diminuição dos custos seja cumprida, ainda restará a baixa eficiência de conversão. A eficiência das células fotovoltaicas pode ser melhorada mediante o desenvolvimento e a aplicação de novos materiais semicondutores, que permitirão um melhor aproveitamento da energia solar incidida sobre as células. Porém o emprego de novos semicondutores e o aprimoramento de novas tecnologias poderiam causar um aumento e não uma diminuição no custo final de fabricação das células. Outra situação, mais animadora, seria a criação de duas classes de células semicondutoras: células fotovoltaicas de menor custo e com baixa eficiência (materiais antigos); células com maior custo e com alta eficiência (materiais novos). Em ambos os

cenários, é possível que a determinação de outras soluções que aumentem a eficiência global das células fotovoltaicas seja mais vantajosa.

B. Técnicas MPPT

Uma das alternativas em melhorar a eficiência global é buscar que a operação da célula fotovoltaica sempre permaneça no ponto de máxima potência de saída. Porém o ponto de máxima potência não é constante e é dependente, dentre outros fatores, da temperatura, do nível de insolação e do arranjo escolhido (série, paralelo ou série-paralelo). Portanto a busca em determinar o ponto de máxima potência deve ser tão constante quanto manter a operação da célula neste mesmo ponto. A técnica de rastreamento ou de seguimento do ponto de máxima potência em sistemas fotovoltaicos é referida pelo termo MPPT (*Maximum Power Point Tracker).* Dentre as diversas técnicas MPPT já apresentadas estão: os métodos de perturbação e observação (P&O); os métodos de condutância incremental (IC); e o método baseado em controlador de lógica *fuzzy* (FLC) [6]. Em todos os métodos, busca-se controlar a operação de um conversor CC/CC conectado nos terminais de saída do arranjo fotovoltaico de forma mantê-lo no ponto de máxima potência de saída. De acordo com [7], o método de controle baseado em *fuzzy* permite um rastreamento rápido, facilitando assim a manutenção do ponto de operação máxima uma vez que a referência fixada em valor constante antes das demais técnicas.

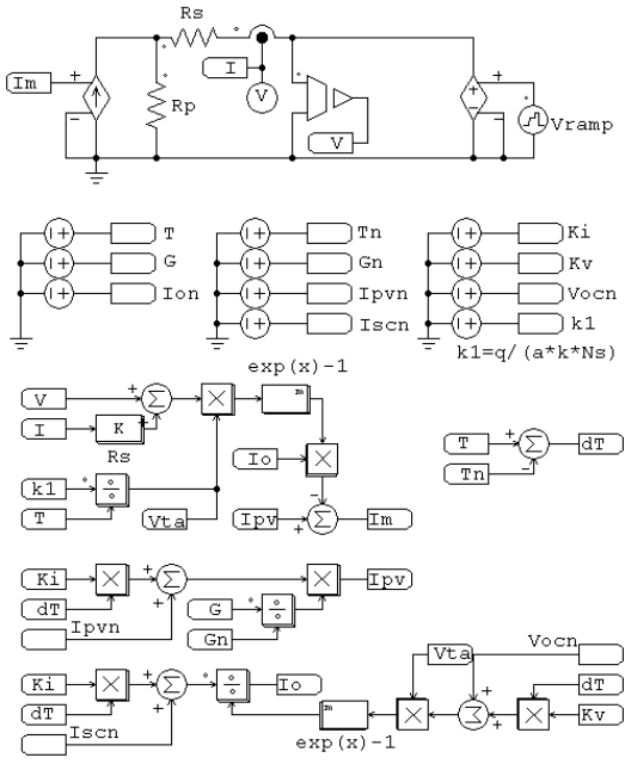


Fig. 1. Modelo matemático do painel fotovoltaico conforme [9].

C. Estrutura do artigo

O objetivo principal deste trabalho é apresentar o desempenho da lógica *fuzzy* no controle de conversores eletrônicos de potência adotados para se rastrear o ponto de máxima potência de saída do painel. Para isso, pode-se adotar a seguinte seqüência de temas: modelo do painel fotovoltaico; estrutura do conversor eletrônico de potência; lógica *fuzzy* empregada e regras de pertinência; resultados de simulações computacionais; e conclusões finais.

II. MODELO MATEMÁTICO DO PAINEL FOTOVOLTAICO

Para que as condições adversas de operação de um painel fotovoltaico (ou de um conjunto de células fotovoltaicas) fossem exploradas no estudo, foi preciso considerá-las no seu modelo matemático. Uma vez consideradas pelo modelo matemático, foi possível simular variações nos níveis de incidência solar (sombreamento), na temperatura (instalação abrigada, arejada e propriedades sazonais estações do ano) e em outras contingências de operação. O modelo matemático utilizado para representar um painel fotovoltaico corresponde ao que é proposto em [8-9]. A Fig. 1 exibe uma visão geral do modelo matemático adotado nas simulações para representar um único painel fotovoltaico.

Através do modelo da figura 1 e com os dados fornecidos pelo fabricante do painel por meio de um *datasheet* (exemplo: tensão de circuito aberto, corrente de curto-circuito; resistências, etc.), pode-se caracterizar o comportamento dos sinais P, V e I nos terminais de saída do painel fotovoltaico. As combinações entre tais sinais permitem a descrição da dinâmica do sistema mediante as curvas P-V e V-I. Para o painel KD210GX-LP tais curvas são exibidas nas Figs. 2 e 3.

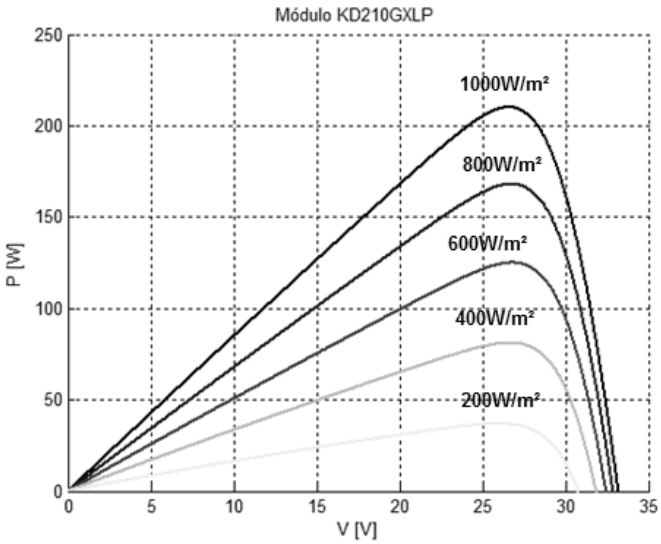


Fig. 2 Curva P-V obtidas para o painel KD210GX-LP considerando variação da incidência solar (H) e uma temperatura de 25ºC.

Pode-se notar o impacto causado no valor máximo de P a partir das variações provocadas na incidência solar. Variações na temperatura também são capazes de alterar o ponto de

operação do painel fotovoltaico. Tal comportamento justifica a utilização das técnicas MPPT de forma a garantir o pleno rendimento de energia

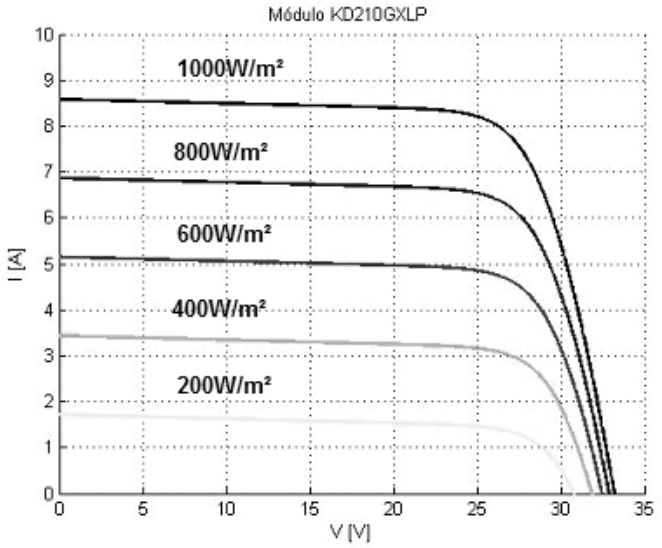


Fig. 3 Curva V-I obtidas para o painel KD210GX-LP considerando variação da incidência solar (H) e uma temperatura de 25ºC.

III. CONVERSOR ELETRÔNICO DE POTÊNCIA

Uma das maneiras de se modificar o ponto de operação de um painel fotovoltaico é através do uso de conversores eletrônicos de potência conectados entre a fonte primária (fotovoltaico) e a carga (ou bateria). A Fig. 4 apresenta o diagrama de ligação de um conversor eletrônico de potência como interface para um sistema fotovoltaico de geração de energia elétrica.

A opção pelo conversor CC/CC do tipo *boost* (elevador) deu-se durante a realização das simulações após algumas observações .Concluiu-se que comportou melhor do que o do tipo *buck* e, também, do que o tipo *buck-boost* a resposta à variação do ciclo de trabalho do conversor durante o rastreamento do ponto de máxima potência de saída do sistema fotovoltaico.

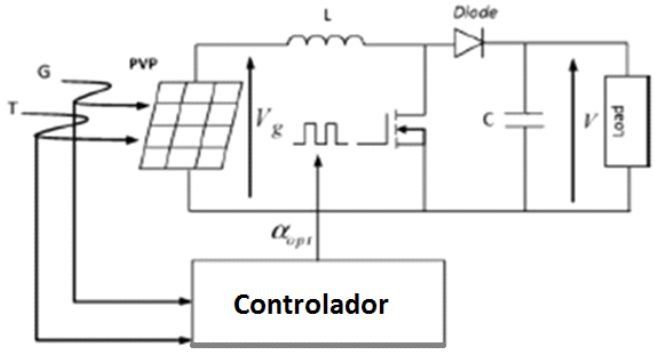


Fig. 4. Topologia do conversor eletrônico de potência utilizado para analisar a técnica MPPT (conversor CC/CC do tipo *boost*).

IV. RESULTADOS

A. *MPPT baseada na técnica P&O*

Durante a operação do conversor CC/CC, fez-se um estudo sobre as características de análise e de utilização da estratégia de modulação por largura de pulso (PWM).

Com base nas referências [6] e [10], o algoritmo da técnica P&O (perturbação e observação) foi elaborado em linguagem C e inserido em um bloco de DLL conforme orientações presentes em [11]. Seu principio de funcionamento baseia-se na análise da potência de saída do painel e a variação do ciclo de trabalho do conversor utilizado.

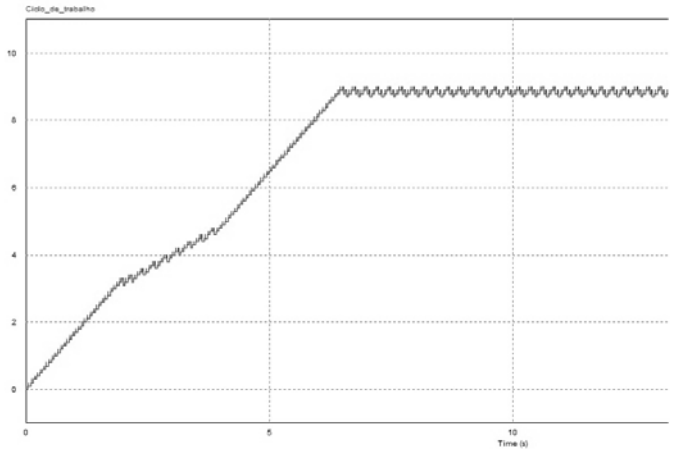


Fig. 5. Ciclo de trabalho do conversor.

A Fig. 5 exibe o comportamento do ciclo de trabalho do conversor eletrônico. Nota-se que o ciclo de trabalho é gradativamente aumentado até que se estabiliza e permanece no mesmo valor. Nessa condição a técnica MPPT baseada em P&O obteve êxito em extrair a máxima potência do painel fotovoltaico. Tal constatação pode ser observada na Fig. 6, cujo valor de potência equivale ao ponto máximo da Fig. 2.

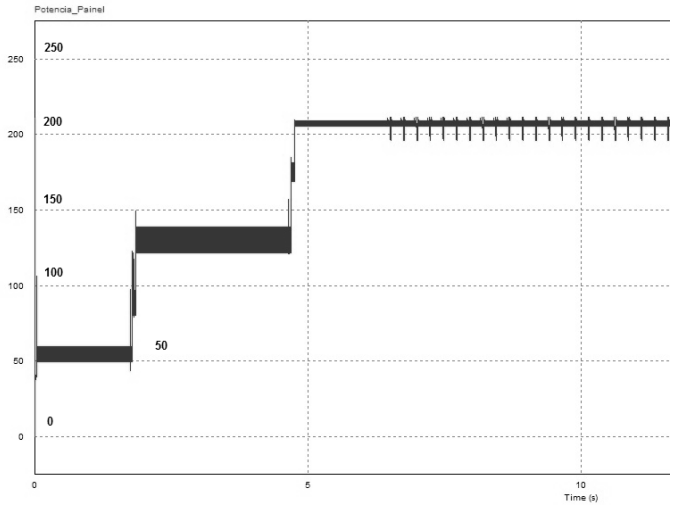


Fig. 6. Potência de saída do painel fotovoltaico para a condição da Fig. 5 (P equivale a Pmax para MPPT com técnica P&O).

B. MPPT baseada em lógica fuzzy

Após a simulação do sistema fotovoltaico com MPPT na técnica P&O, foram notados vários padrões de comportamento e formular as regras para o controlador *fuzzy* desejado. Os passos para a determinação das regras *fuzzy* foram baseados nos conceitos apresentados em [12].

Para a entrada do controlador, foram definidas duas variáveis: "DP" significando a diferença de potência a cada passo de simulação e "DCT", diferença do ciclo de trabalho atual em relação ao anterior. A variável de saída foi definida como "CT" representando o valor que será somado ao ciclo de trabalho anterior. Durante a análise foi possível concluir que a cada perturbação a diferença de potência pode variar de -100 a 100, podendo ser classificada em: GN (Grande Negativo), MN (Médio Negativo), PN (Pequeno Negativo), Z (Zero), PP (Pequeno Positivo), MP (Médio Positivo), GP (Grande Positivo). As Figs. 7, 8, 9 e 10 exibem as regras de pertinência e os vínculos entre as variáveis de entrada e de saída.

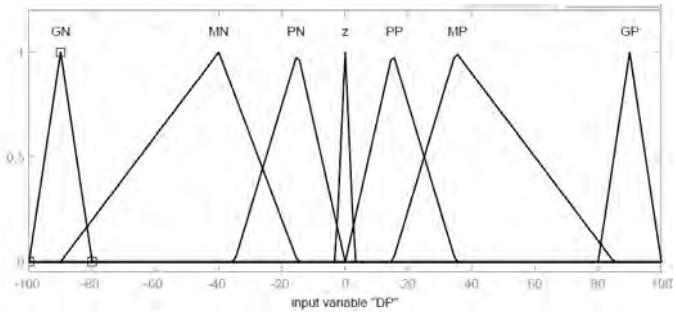


Fig. 7. Faixa de valores para a diferença de potência (DP) e seus respectivos valores de pertinência.

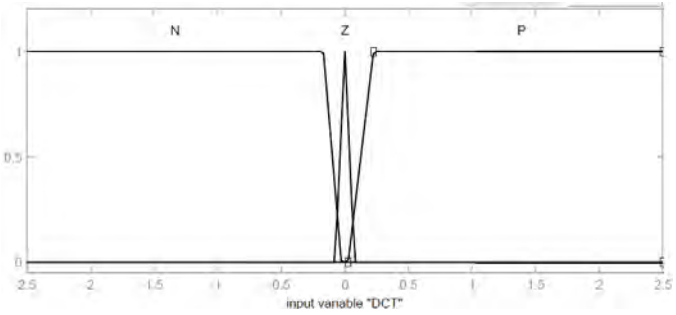


Fig. 8. Diferença do ciclo de trabalho (DCT)

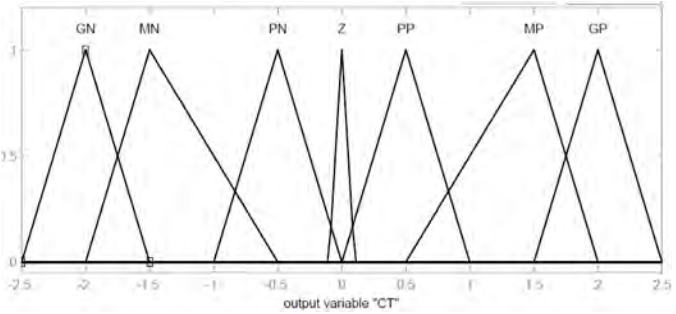


Fig. 9. Variável "CT": saída do controlador *fuzzy*.

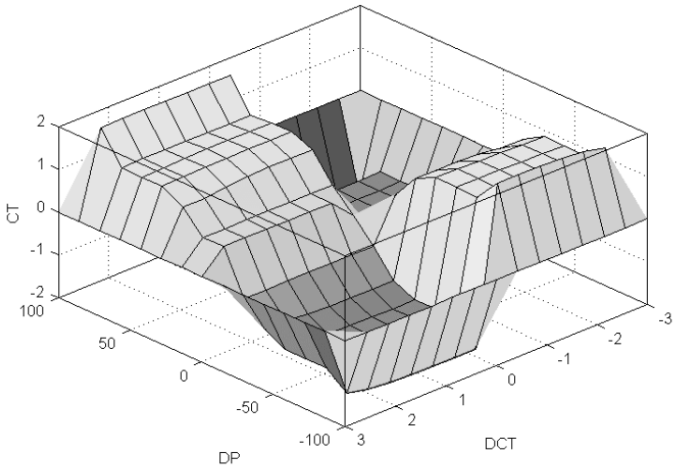


Fig. 10. Relações entre todas as variáveis do controlador *fuzzy*.

A figura 11 apresenta uma tela de configuração do controlador *fuzzy* com o auxílio do MatLAB [13]. Em destaque são listadas as regras *fuzzy* descritas nas figuras 7, 8, 9 e 10.

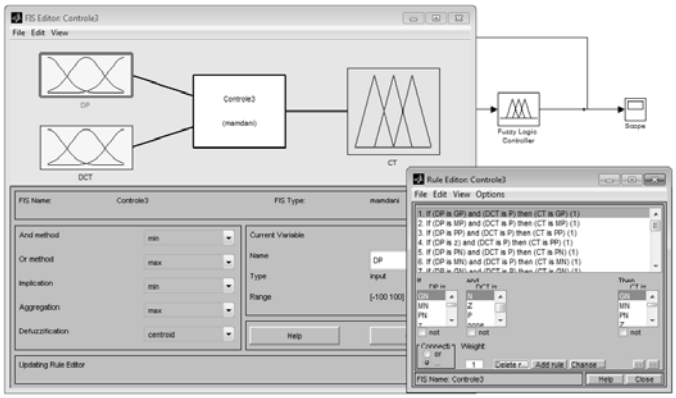


Fig. 11. Ambiente de simulação no MatLAB [13] relacionado às regras *fuzzy*.

Os dados na tabela I indicam o comportamento sistema durante a busca da máxima potencia através do controlador *fuzzy* proposto. Os termos listados nos topos das colunas representam: "Pa" é o valor anterior da potência de saída do painel; "Pn" é o valor atual da potência; "DP" é a diferença de potência; "CTa" é o valor anterior do ciclo de trabalho do conversor *boost*; "CTn" é o atual ciclo de trabalho; "DCT" é a diferença entre os ciclos de trabalho; e "CTi" corresponde ao valor a ser incrementado no ciclo de trabalho atual.

Também conforme a tabela I, o controlador *fuzzy* empregado foi capaz de manter a potência de saída do painel em seu valor máximo a partir da etapa 10. As etapas 15 e 16 exibem o comportamento do sistema de controle mediante uma perturbação, alteração de carga alimentada pelo conversor *boost*. As variações provocadas no ciclo de trabalho são suficientes para restabelecer a potência de saída ao seu valor máximo de operação.

TABELA I
COMPORTAMENTO DA OPERAÇÃO DO CONVERSOR *BOOST* CONSIDERANDO A TÉCNICA MPPT BASEADA NO CONTROLADOR *FUZZY*.

Etapa	Pa (W)	Pn (W)	DP (W)	CTa (0 a 15)	CTn (0 a 15)	DCT (0 a 15)	CTi (0 a 15)
1	0,0	35,8	35,8	0,0	0,0	0,00	1,33
2	35,8	51,1	15,9	0,0	1,33	1,33	0,58
3	51,1	51,1	0,0	1,33	1,91	0,58	0,50
4	51,1	51,1	0,0	1,91	2,4	0,58	0,50
5	51,1	51,1	0,0	2,4	2,9	0,58	0,50
6	51,1	125,4	74,3	2,9	3,4	0,50	1,28
7	125,4	125,4	0,0	3,4	4,7	1,28	0,50
8	125,4	125,4	0,0	4,7	5,2	0,50	0,50
9	125,4	125,4	0,0	5,2	5,7	0,50	0,50
10	125,4	205,4	79,0	5,7	6,2	0,50	1,26
11	205,4	205,4	0,0	6,2	7,5	1,26	0,50
12	205,4	205,4	0,0	7,5	8,0	0,50	0,50
13	205,4	205,4	0,0	8,0	8,5	0,50	0,50
14	205,4	205,4	0,0	8,5	9,0	0,50	0,50
15	205,4	163,4	-42,0	9,0	9,5	0,50	-1,33
16	163,4	205,4	42,0	9,5	8,1	-0,50	0,50

V. CONCLUSÕES

Em função dos resultados obtidos, notou-se certa dificuldade nas topologias *buck* e *buck-boost* em percorrer os pontos de operação das curvas P-V e V-I à medida em que o ciclo de trabalho era incrementado. Tal fato não aconteceu com a topologia *boost* para o conversor CC/CC. Sendo assim, este conversor foi escolhido para controlar a potência gerada pelo painel fotovoltaico. Após uma análise dos resultados obtidos para cada uma das técnicas MPPT estudadas, notou-se que o algoritmo baseado em lógica *fuzzy* obteve um melhor desempenho quando comparado com a técnica P&O. Por exemplo, o ponto de operação cuja potência é máxima foi atingido mais rapidamente e o sistema com controlador *fuzzy* é capaz de responder mesmo para pequenas variações no ciclo de trabalho. A técnica P&O normalmente não responde a pequenos sinais. Apesar disso, o uso da lógica *fuzzy* ainda possui duas desvantagens que podem afetar a sua escolha: requer conhecimento da dinâmica da planta; e requer um hardware mais elaborado para a sua implementação. Outras particularidades envolvendo o uso da lógica *fuzzy* em MPPT ainda estão sendo investigadas pelos autores.

VI. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Prof. Dr. Marcelo G. Villalva (UNESP/Campus Sorocaba) e ao Prof. Dr. José Luis Domingos (IFG Campus Goiânia) pelas valiosas contribuições.

REFERÊNCIAS

[1] Pimentel, S. P. et al. “Single-phase distributed generation system based on asymmetrical cascaded multilevel inverter”. *Congresso Brasileiro de Eletrônica de Potência COBEP'2009*. Bonito/MS: [s.n.]. 2009.

[2] Villalva, Marcelo Gradella. “Conversor eletrônico de potência trifásico para sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica.” Tese de doutorado. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Es-tadual de Campinas, Campinas/SP, 2010.

[3] Pimentel, Sérgio Pires. “Sistema monofásico de geração distribuída baseado em inversor multinível.” Tese de doutorado. Faculdade de En-genharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campi-nas, Campinas/SP, 2011.

[4] Li, C.H. et. al. “A maximum power point tracker for photovoltaic ener-gy systems based on fuzzy neural networks.” *Journal of Zhejiang Un-iveristy*, v. 10, n. 2, p. 263-270, 2009.

[5] Casaro, M. M.; Martins, D. C. “Processamento eletrônico da energia solar fotovoltaica em sistemas conectados à rede elétrica.” *Revista Con-trole & Automação*, v. 21, n. 2, p.159-172, 2010.

[6] Zainudin, H. N.; Mekhilef, S. “Comparison study of maximum power point tracker techniques for pv systems.” *International Middle East Power Systems Conference MEPCON’10*, p. 750-755. Cairo, 2010.

[7] Khan, S. A.; Hossain, M. I. “Design and implementation of microcon-troller based fuzzy logic control for maximum power point tracking of a photovoltaic system.” *International Conference on Electrical and Computer Engineering ICECE 2010*. Dhaka. 2010.

[8] M. G. Villalva, J. R.Gazoli, E. Ruppert. “Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays.” *IEEE Trans. on Pow-er Electronics*, v. 24, p. 1198 - 1208, 2009.

[9] M. G. Villalva, J. R. Gazoli, E. Ruppert F. "Modeling and circuit-based simulation of photovoltaic arrays." *Brazilian Journal of Power Elec-tronics*, vol. 14, no. 1, pp. 35--45, 2009.

[10] Ingegnoli, A.; Iannopollo, A. “A maximum power point tracking algo-rithm for stand-alone photovoltaic systems controlled by low computa-tional power devices.” *IEEE Mediterranean Electrotechnical Confe-rence MELECON 2010*, p. 1522-1527. Valletta. 2010.

[11] Soares, G. G.; Batista, G. R.; Rech, C.. “Integração de ferramentas computacionais para análise de estratégias de controle aplicadas a conversores estáticos de potência.” Universidade de Ijuí, Ijuí/RS, 2006.

[12] Simoes, M. G; Shaw, I S. “Controle e modelagem fuzzy.” São Paulo: 2ª Ed. Edgar Blucher, 2007.

[13] MATHWORKS, INC. MATLAB Software. URL: http://www.mathworks.com. Acesso em Março 2013.

Plataforma de Hardware e Software para Veículo Aéreo Não Tripulado do tipo Octorotor

Bruno Caetano de Oliveira Miranda

Engenharia de Controle e Automação
Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil
brunocaeo@gmail.com

Ricardo de Oliveira Duarte

Departamento de Engenharia Eletrônica
Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil
ricardoduarte@ufmg.br

***Resumo*—Este artigo propõe uma plataforma de hardware e software voltada à operação de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) do tipo Octorotor. O projeto do hardware é dividido em subsistemas, onde cada um é abordado separadamente. A estrutura mecânica onde são montados os demais componentes também é descrita. Em seguida são abordados aspectos relativos ao software embarcado – sistema operacional, módulo de tempo real, e filtragem de sinal dos sensores. São apresentados testes de atuação e caracterização estática executados sobre os motores do veículo, além do condicionamento de sinal dos sensores. Por fim, são feitos comentários a respeito da importância desse trabalho.**

***Palavras chave* — Arquitetura de Hardware, Octorotor, Software Embarcado, Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT).**

***Abstract*—This paper proposes a hardware and software platform aimed at the operation of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) type Octorotor. The project of hardware is divided into subsystems, each of one is discussed separately. The mechanical structure where the other components are assembled is also described. At following aspects of embedded software are discussed – operating system, real-time module and signal filtering of the sensors. Actuation tests and static characteristic from motors, and sensors signal conditioning are presented. Finally, comments are made about the importance of this work.**

***Keywords*—Hardware Architecture, Octorotor, Embedded Software, Unmanned Aerial Vehicle (UAV).**

I. Introdução

Um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) é um robô aéreo, comandado remotamente ou programado para atuar de maneira autônoma. O desenvolvimento de tais veículos visou inicialmente aplicações militares em missões de alto risco para a vida humana.

Atualmente as aplicações dos VANTs se estendem a outros campos. Ainda que o desenvolvimento desses veículos continue a ser promovido por equipes militares, diversas aplicações civis vêm surgindo no cenário mundial, como a obtenção e o processamento de imagens aéreas [1], monitoramento de pessoas e a inspeção de linhas de transmissão [2].

Existem diversos tipos de VANT, tais como os de asa fixa, dirigíveis, os articulados e os de decolagem e pouso vertical (VTOL – *Vertical Take-off and Landing*). Nessa última categoria, uma classe que vem ganhando popularidade nas diversas aplicações é a dos veículos multirotores, dotados de vários conjuntos motor-hélice, geralmente dispostos de maneira simétrica em relação a um dado eixo.

O objeto de estudo desse artigo é o Octorotor, um Veículo Aéreo Não Tripulado do tipo VTOL, dotado de oito rotores. Tal veículo representa certa importância em aplicações, pois possui redundância na atuação, e é capaz de erguer mais carga útil em relação aos veículos VTOL mais populares.

Embora os diversos tipos de VANTs possuam suas peculiaridades, alguns elementos são comuns a todos, e devem ser integrados por meio de uma plataforma de hardware e software que seja consistente.

Nas seções que se seguem são descritos os aspectos relacionados ao hardware e ao software envolvidos na construção de um veículo do tipo Octorotor. A Figura 1 mostra um esquema simplificado do Octorotor que foi construído, evidenciando a distribuição dos motores ao longo da estrutura mecânica.

Fig. 1. Representação simplificada do Octorotor construído

B. C. O. Miranda (brunocaeo@gmail..com) e R. O. Duarte (ricardoduarte@ufmg.br) pertencem à Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. Av. Antônio Carlos, 6627 – Belo Horizonte - MG - Brasil - 31270-901.

II. Arquitetura de Hardware

A arquitetura de hardware consiste na especificação dos elementos, bem como de suas interligações, de forma a compor o veículo como um sistema funcional.

O modelo de arquitetura adotado é mostrado na Figura 2. Esse modelo pode ser dividido em quatro subsistemas – processamento central, sensoriamento, atuação e comunicação. Os quatro subsistemas, juntamente com a estrutura mecânica sobre a qual eles são montados, compõem o veículo. Cada subsistema será detalhado a seguir.

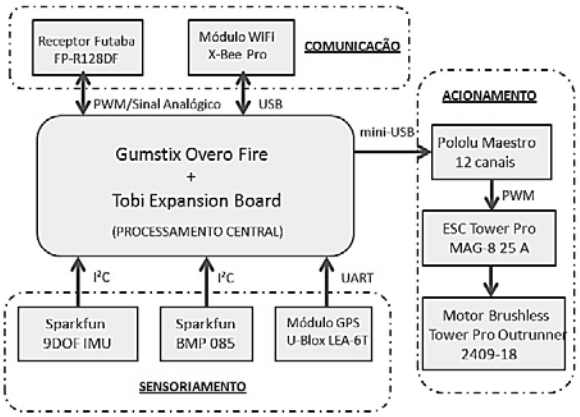


Fig. 2. Arquitetura de hardware adotada

A. Processamento Central

O subsistema de processamento central é a unidade que reúne informações sobre os demais componentes e onde é executada a lógica central de controle do veículo. É responsável por ler os dados dos elementos sensores periodicamente, calcular uma ação de controle que seja capaz de manter o veículo estável e enviar comandos de atuação aos motores.

O processamento central é feito por um computador embarcado, o *Overo Fire*, da empresa *Gumstix*. Trata-se de um computador em módulo de pequenas dimensões (58 mm x 17 mm x 4,2 mm) com arquitetura ARM Cortex-8.

De forma a oferecer interface física para conexão com os demais componentes, o *Overo Fire* é montado sobre uma placa de expansão – a *Tobi Expansion Board*, também da *Gumstix*. Além das interfaces USB e mini-USB, a placa conta com interface Ethernet, entrada/saída de áudio, HMDI (*High Definition Media Interface*) e um barramento com 40 pinos usados para diversas funcionalidades. A Figura 3 mostra o computador embarcado Overo Fire montado sobre a placa de expansão.

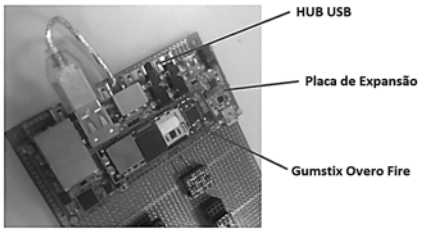


Fig. 3. Computador em módulo montado sobre a placa de expansão

B. Sensoriamento

O subsistema de sensoriamento é constituído por três elementos – a IMU (*Innertial Measurement Unit*, ou Unidade de Medição Inercial), o altímetro e o receptor de GPS (*Global Positioning System*).

A IMU utilizada é o módulo de medição inercial 9DOF da *Sparkfun*, dotada de três sensores – um acelerômetro, responsável por medir as componentes de aceleração linear nos três eixos coordenados, um giroscópio, capaz de medir a velocidade angular em torno dos três eixos, e uma bússola, que mede a intensidade do campo magnético. O módulo IMU é utilizado para inferir a orientação do veículo, podendo ser utilizada para execução de controle de atitude.

O altímetro é o elemento capaz de estimar a altitude do veículo em relação ao solo. Nesse caso foi especificado o sensor de pressão BMP085, da *Sparkfun*. Tal sensor permite a medição da pressão atmosférica local em relação à pressão ao nível do mar. Utilizando a medição da pressão em solo como referência, a altitude h do veículo pode ser estimada por:

$$h = \frac{RT}{gM} \ln\left(\frac{Po}{P}\right) \quad (1)$$

onde R é a constante dos gases ideais, T é a temperatura local (que também é fornecida pelo BMP085), g é a aceleração da gravidade, M é a massa molar do ar, Po é a pressão de referência (a nível do solo) e P é a pressão atmosférica medida [3].

O receptor de sinal GPS utilizado é o *LEA-6T*, da *U-Blox*. Tal receptor obtém informações das coordenadas geográficas do veículo, podendo ser utilizado para controle de posição por meio de *waypoints*.

A comunicação entre o computador embarcado e o módulo IMU e o altímetro é feita com base no protocolo I²C (*Inter-Integrated Circuit*), um barramento baseado no modelo mestre-escravo com dois sinais – um sinal de clock e um sinal de dados. A comunicação com o receptor GPS é serial, pelo módulo UART (*Universal Asynchronous Receiver / Transmitter*).

C. Atuação

O subsistema de atuação é responsável pelo acionamento dos motores do veículo. Os motores utilizados são do modelo *Tower Pro 2409-18T*, do tipo sem escova (*brushless*). Esse motor possui grande eficiência, uma vez que a ausência de escovas elimina a perda de energia por parte do atrito com as mesmas.

O motor *brushless* possui várias espiras fixas em seu centro (estator), conectadas a três fios. A parte externa (rotor) possui vários polos de imãs permanentes e gira de acordo com o campo magnético resultante gerado nas bobinas.

Os motores sem escova são acionados por circuitos conhecidos como ESC (*Electronic Speed Controller*). Esses circuitos recebem um sinal modulado em largura de pulso (PWM – *Pulse Width Modulation*) e distribuem a corrente nas bobinas do motor de forma a obter uma velocidade angular proporcional à largura de pulso do sinal PWM.

Além do circuito ESC, portanto, o subsistema de acionamento conta com um módulo gerador de sinal PWM. O computador embarcado utilizado conta com um módulo gerador e 6 canais PWM. O veículo, no entanto, possui 8 motores, e optou-se por permitir o acionamento individual de cada motor. Dito isso, tornou-se necessária a utilização de um hardware específico para o acionamento – a placa de acionamento de servomotores *Maestro Mini Pololu*, que conta com 12 canais de sinal PWM independentes. A comunicação com essa placa se dá por meio de um cabo USB; uma porta serial é virtualizada e utiliza-se uma API, fornecida pelo fabricante, que possui sub-rotinas específicas para o acionamento de cada canal.

D. Comunicação

O subsistema de comunicação é responsável por garantir a troca de dados entre o veículo e uma estação de base, um controle remoto por radiofrequência, ou uma rede de sensores sem fio. Dois módulos são utilizados – o módulo receptor de radiofrequência e o módulo *wireless*.

O receptor de radiofrequência é o *Futaba FB R12DF*, que recebe um sinal modulado em frequência (50 MHz ou 72 MHz), realiza a modulação, e faz uma nova modulação em largura de pulso, fornecendo um sinal PWM cuja largura de pulso é proporcional ao sinal enviado pelo controle. Esse sinal pode ser submetido à filtragem, e convertido em digital por meio de um conversor A/D (Analógico/Digital).

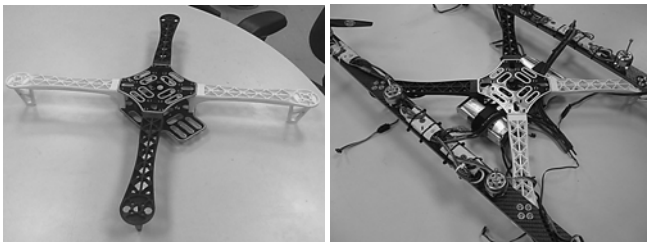
O módulo de comunicação wireless é o *X-Bee Pro*, da empresa *Digi*, que é conectado ao computador embarcado por meio de um cabo USB. A troca de dados, portanto, ocorre na forma de comunicação serial.

III. Estrutura Mecânica

A estrutura mecânica refere-se ao elemento sobre o qual todo o conjunto de hardware é montado. No que se refere ao material a ser utilizado na confecção, a característica principal deve ser a leveza, aproveitando melhor a potência dos motores para erguer carga útil. A resistência também é um fator a ser levado em conta.

Na obtenção de uma estrutura semelhante à mostrada na Figura 1, foi feita uma adaptação sobre a carcaça (ou *frame*) de um quadrirotor comercial (o quadrirotor é um veículo dotado de quatro conjuntos motor-hélice, geralmente dispostos de forma radial [5]). O *frame* é feito em plástico duro, com placas centrais feitas em fibra de vidro.

A essa estrutura foram fixadas duas hastes, uma em cada lado, feitas com espuma de PVC e laminadas com fibra de carbono. Essa adaptação é mostrada na Figura 4.



(a) (b)

Fig. 4. Estrutura mecânica: (a) frame de um quadrirotor (b) adaptada para a forma de um Octorotor

A Figura 5 evidencia as dimensões do protótipo. Definido um sistema de coordenadas com origem no centro geométrico do veículo, essa estrutura oferece simetria em relação a dois eixos.

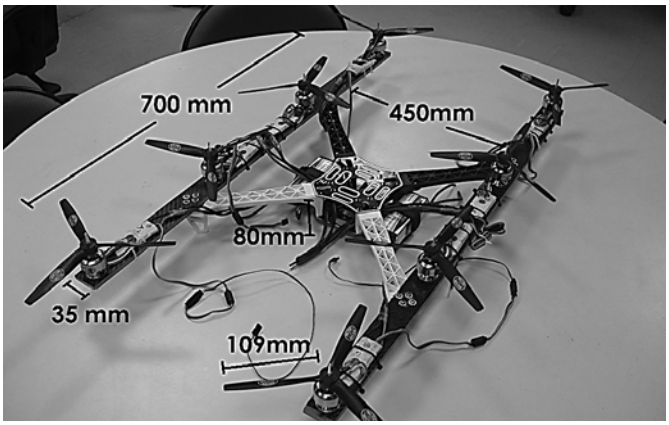


Fig. 5. Dimensões do protótipo

IV. Software Embarcado

O software embarcado deve permitir a integração entre os subsistemas da arquitetura de hardware. Para tal, ele deve ser responsável pela implementação dos protocolos de comunicação que permitam a leitura dos sensores e o envio de sinais de acionamento aos motores.

A seguir são discutidos algus aspectos do software envolvido.

A. Sistema Operacional

O computador embarcado roda o sistema operacional *Linux*. Para essa aplicação, foi utilizada a distribuição *Angstrom*, versão 2010.7. Trata-se de uma distribuição de *Linux* para sistemas emarcados, executando o *kernel* com versão 2.6.33.

B. Módulo de Tempo Real

Visando a futura implementação de um controlador em tempo real para manobras do veículo, torna-se necessário que as tarefas periódicas, tais como a leitura dos sensores, a execução da lógica de cotrole e o envio de sinais de acionamento, sejam executadas com certo determinismo no que se refere ao tempo de execução.

Para a execução do software em tempo real foi utilizado o

módulo *Xenomai*, versão 2.6.0. O *Xenomai* é um *framework* de desenvolvimento que lida diretamente com o *kernel* do *Linux*, possibilitando o caráter de tempo real a aplicações com nível de usuário.

Fazendo uso das funções fornecidas pelo *framework*, as tarefas referentes à leitura dos sensores e acionamento são encapsuladas em um *loop* que executa a cada 10 ms.

C. Protocolo I²C

Na arquitetura de hardware proposta, os sensores da IMU, bem como o altímetro, se comunicam com o computador embarcado por meio do protocolo I²C.

Nesse protocolo são utilizadas apenas duas linhas de sinal que conectam toda a rede – SDA (*Serial Data*) e SCL (*Serial Clock*). O DAS é o sinal de dados propriamente dito, ao passo que o SCL é o sinal de clock, usado para sincronizar os dispositivos da rede. O sinal de clock é fornecido por um único dispositivo, o qual é denominado dispositivo mestre, e os demais dispositivos são chamados de escravos.

A configuração de uma rede I²C é esquematizada na Figura 6.

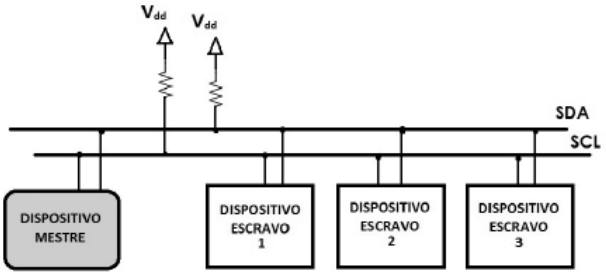


Fig. 6. Rede I²C.

Em uma rede I²C, cada dispositivo tem um endereço definido por 7 bits. Dessa forma, o dispositivo mestre inicia a transmissão enviando os 7 bits do endereço daquele dispositivo escravo com o qual deseja trocar dados, seguidos de um bit indicando se a operação é de leitura (1) ou de escrita (0). Todos os dispositivos da rede irão receber a mensagem do mestre, no entanto apenas aquele dispositivo cujo endereço foi especificado responde ao mestre.

D. Filtragem das medições

Um aspecto importante ao bom funcionamento do veículo é a qualidade dos sinais medidos pelos sensores. Por se tratar de um sistema mecânico, o mesmo está sujeito ao efeito de vibrações. Além disso, existem perturbações de caráter aleatório inerentes ao processo de medição.

Dito isso, projetou-se um filtro digital *Butterworth* de segunda ordem, com frequência de corte de 5 Hz.

Por se tratar de um sistema instável em malha aberta, o projeto de um filtro de ordem elevada pode gerar muito atraso de fase, comprometendo algum controle de estabilidade que seja feito com base nas medições filtradas, o que justifica um filtro de segunda ordem.

A frequência de corte foi escolhida com base na taxa de amostragem, que é de 100 Hz. Nesse caso, portanto, a frequência de corte do filtro foi escolhida como um décimo da frequência de *Nyquist*.

V. Testes e Resultados

A. Caracterização Estática do Motor

Um experimento importante no projeto de um Veículo Aéreo Não Tripulado do tipo VTOL é a caracterização estática dos motores [6].

Com o intuito de analisar o desempenho e o comportamento em regime permanente sistema de acionamento foi feito um teste de tração com um dos motores.

Foi montado um sistema de acionamento, composto pela placa de acionamento, pelo circuito ESC e pelo motor *brushless* acoplado a uma hélice de três pás. O conjunto motor-hélice foi preso à extremidade de uma célula de carga, um elemento metálico com um ou mais extensômetros (*strain gages*) colados. O *strain gage*, por sua vez, é um elemento condutor que tem sua resistência variada de forma praticamente linear à medida que é deformado. A célula de carga foi ligada a um circuito amplificador de instrumentação. Quando o motor é acionado, ele tende a tencionar e deformar a célula de carga, que produz uma tensão em seus terminais. Essa tensão é aumentada pelo amplificador de instrumentação e medida por uma placa de aquisição de dados. Há uma relação aproximadamente linear entre a tensão medida e a força aplicada pelo motor, de forma que com a devida calibração esse valor pode ser inferido.

Além da célula de carga, um frequencímetro foi posicionado na frente do motor, permitindo a medição da velocidade de giro. O sistema foi alimentado e, com uso de um multímetro, a corrente drenada pelo motor foi medida. A Figura 7 mostra o ambiente de teste que foi montado para obtenção dos dados.

Fig. 7. Plataforma de teste para levantamento das curvas características do motor.

A velocidade do motor foi gradualmente aumentada e os dados foram medidos para vários pontos de operação. Fazendo as devidas conversões, foram levantadas as curvas de características estáticas do motor. Essas curvas são mostradas

nas Figuras 8, 9, 10 e 11.

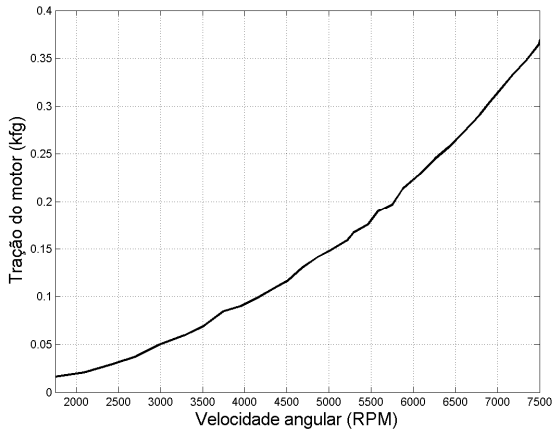


Fig. 8. Curva de Tração x Velocidade angular

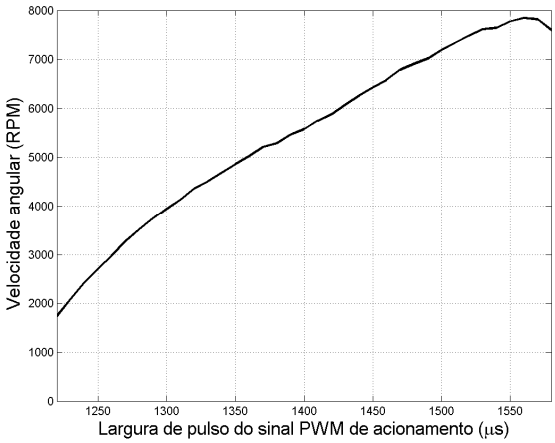


Fig. 9. Curva de Velocidade angular x Largura de pulso do sinal PWM

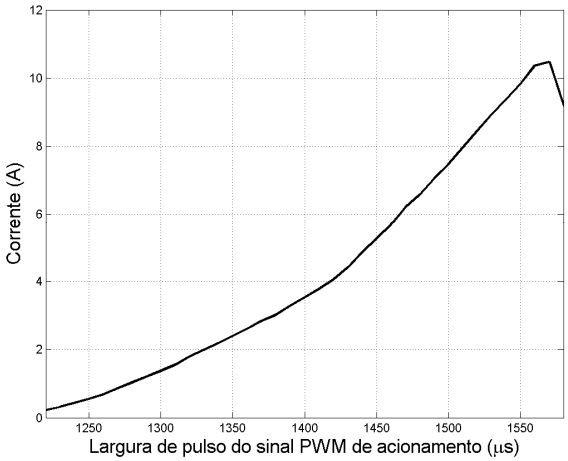


Fig. 10. Curva de Corrente x Largura de pulso do sinal PWM

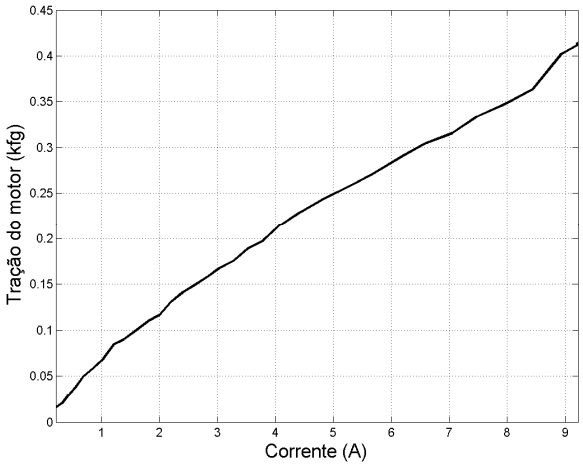


Fig. 11. Curva de Tração x Corrente

Observa-se, a partir dos gráficos, que a relação entre a tração do motor e a sua velocidade angular pode ser ajustada em uma curva quadrática; esse é o ajuste que geralmente é feito na literatura para se modelar esse tipo de motor.

B. Filtragem de sinais

Com o intuito de se testar a obtenção correta das medições via protocolo I²C, bem como analisar se houve alguma melhora na qualidade dessas medições a partir do filtro projetado, alguns dados de sensores foram coletados com o veículo sendo movido de forma arbitrária.

Foram coletados dados referentes às medições do ângulo de arfagem (ângulo em torno do eixo x), do ângulo de rolamento (ângulo em torno do eixo y), estimados a partir do acelerômetro, e das velocidades angulares em torno dos eixos x e y (medições do giroscópio). As Figuras 12, 13, 14 e 15 mostram os dados comparando as medições com e sem a aplicação do filtro.

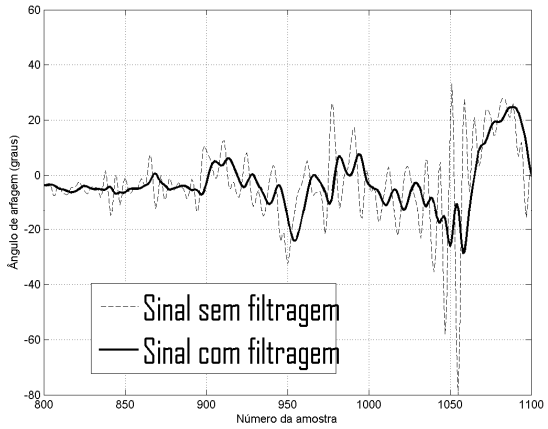


Fig. 12. Ângulo de arfagem

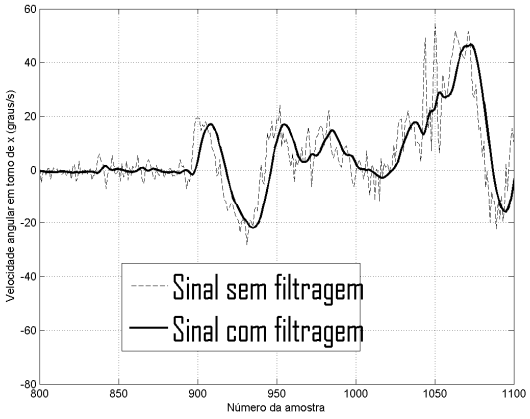


Fig. 13. Velocidade angular em torno do eixo x

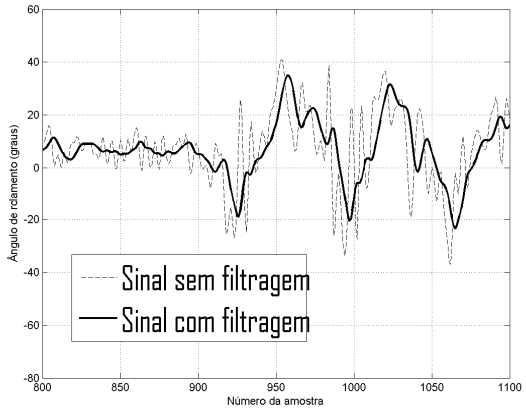


Fig. 14. Ângulo de rolamento

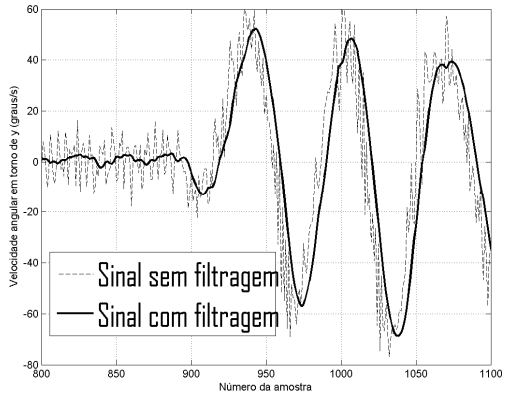


Fig. 15. Velocidade angular em torno do eixo y

Os gráficos mostram que de fato a filtragem eliminou parte do ruído envolvido nas medições.

VI. CONCLUSÕES

O projeto de uma plataforma de hardware e software consistente e funcional é fundamental como pré-requisito às diversas aplicações envolvendo VANTs.

Conforme mencionado, tais aplicações têm sido expandidas a diversas áreas, a despeito dos Veículos Aéreos Não Tripulados constituírem sistemas complexos.

Dito isso, a divisão do projeto em várias etapas – os subsistemas da arquitetura de hardware e o ferramental da plataforma de software – mostra-se uma solução viável.

Além disso, a plataforma aqui apresentada utiliza protocolos e meios de comunicação simples e consagrados na literatura de sistemas embarcados para integrar os subsistemas de sensoriamento, atuação e comunicação ao processamento central. Essa característica torna o sistema expansível – novos sensores que utilizem a comunicação I²C, por exemplo, podem facilmente ser adicionados à rede, bem como dispositivos com módulo UART podem ser adicionados ao sistema devido à placa de expansão selecionada para o projeto.

No que diz respeito aos experimentos, os mesmos demonstram as funcionalidades dos subsistemas de sensoriamento e atuação operando em conjunto com o subsistema de processamento central, que executa a as funções de leitura e acionamento sobre o módulo de tempo real.

A importância das curvas de caracterização estática não se restringe a uma demonstração do sistema em funcionamento. Uma vez construído o veículo, deve-se projetar controladores de forma a estabilizar seu voo e torna-lo autônomo. Para isso é fundamental que se conheça o comportamento do motor, permitindo uma modelagem mais realística.

Por fim, a filtragem realizada proporcionou uma melhor qualidade das medições realizadas pelos sensores. A filtragem proposta é fundamental para garantir bom desempenho e convergência de um controlador projetado para o veículo.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à equipe do laboratório VerLab (DCC/UFMG), por ter disponibilizado todo o recurso físico necessário à execução desse projeto; ao CNPq e à FAPEMIG pelo financiamento; aos professores Mario F. M. Campos, Armando A. Neto e Leonardo A. B. Tôrres pela orientação, contribuições técnicas e discussões a respeito do desenvolvimento; e a Wolmar G. Pimenta, pelo auxílio no processo de construção do veículo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] J. Wang, L. Zongjian e L. Chengming, “Reconstruction of Buildings from a Single UAV Image”, Proc. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Congress, 2004.

[2] R. K. Rangel, K. H. Kienitz e M. P. Brandão, “Sistema de Inspeção de Linhas de Transmissão de Energia Elétrica usando Veículos Aéreos Não-Tripulados”, Brazillian Symposium on Aerospace Eng. & Applications, 2009.

[3] O. L. Bottechia, “The barometric formula as resource for teaching Chemistry”, Química Nova, vol. 32, No. 7, 1965-1970, 2009.

[4] T. J. E. Miller, “Brushless permanent-magnet and reluctance motor drives”, Oxford University Press, ISBN 0-19-859369-4, 244 p., 1989.

[5] M. Waibel, “Quadcopter, Hexacopter, Octocopter… UAVs”, IEEE Spectr. Blog, Feb. 19, 2010.

[6] G. M. Hoffman, H. Huang, S. L. Waslander, C. J. Tomlin, “Quadrotor helicopter flight dynamics and control: Theory and experiment”, Proc. Of the AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, 2007.

Transformadores de Potência: Detecção de Descargas Parciais

Nicolas Kemerich de Moura
Cacilda de Jesus Ribeiro
Universidade Federal de Goiás – UFG/EMC
nicolas.2108@hotmail.com
cacildaribeiro@gmail.com

Andre Pereira Marques
Claudio Henrique Bezerra Azevedo
CELG Distribuição S.A.
andre.pm@celg.com.br
claudio.hb@celg.com.br

***Resumo*—Os transformadores de potência são equipamentos indispensáveis para o sistema elétrico, permitindo alterar os níveis de tensão a fim de possibilitar a interligação dos sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Em decorrência de seu grande porte, o transporte e a substituição desse equipamento são processos onerosos e demorados. Desse modo, faz-se necessário o uso de técnicas de manutenção preditiva a fim de identificar e evitar precocemente falhas e defeitos e assegurar o bom funcionamento dos transformadores.**

A metodologia descrita nesse trabalho se revela viável técnica e economicamente, pois, em relação às outras técnicas, apresenta maior eficiência nas análises, aplicando o método de emissão acústica para detecção de descargas parciais e da análise de gases dissolvidos. Ademais, destaca-se a importância da metodologia aplicada como objetivo desse artigo.

***Palavras-Chave*—Descargas Parciais, Emissão acústica, Equação Fundamental da Transformação, Transformador de Potência.**

***Abstract*—The power transformers are essential equipment in the electric system by changing the voltage in order to connect generation, transmission and distribution systems of electric energy. Because of its large size, the equipment transport and substitution are costly and lengthy processes. Thus, using a predictive technique for maintenance is necessary to identify and avoid early faults and defects and ensure the proper operation of the transformers.**

The methodology described in this work is technically and economically feasible, because, compared to other techniques, it has a higher efficiency in analysis applying the detection of partial discharges by the acoustic emission method and the dissolved gas analysis technique. Moreover, this paper aims to emphasize the methodology applied importance.

***Index Terms*—Acoustic Emission, Fundamental Equation of Transformation, Partial Discharges, Power Transformer.**

Este trabalho possui um apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), através do programa Jovens Talentos para a Ciência.

N. K. Moura (nicolas.2108@hotmail.com) e C. J. Ribeiro (cacildaribeiro@gmail.com) pertencem à Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação - EMC /UFG. Av. Universitária, nº 1488, Quadra 86 - Goiânia - GO - Brasil - 74605-010.

A. P. Marques (andre.pm@celg.com.br) e C. H. B. Azevedo (claudio.hb@celg.com.br) pertencem à CELG Distribuição. Rua 2, nº 505, Ed. Eletra - Goiânia - GO - Brasil - 74805-180.

I. Introdução

O transformador de potência é um equipamento que permite adequar tensões e correntes elétricas, sendo de extrema importância, portanto, na distribuição de energia elétrica.

Sendo assim, interromper seu funcionamento para manutenção – seja por ação preventiva ou corretiva – gera gastos elevados. Por isso, se faz necessária a utilização de técnicas preditivas que podem ser efetuadas com o transformador em operação.

A Detecção de Descargas Parciais pelo Método da Emissão Acústica, além de identificar as coordenadas de falhas elétricas em transformadores, consiste em uma técnica não interruptiva do fornecimento de energia, extremamente viável e com alta eficiência em relação a outras técnicas.

Neste contexto, este artigo tem por objetivo realizar um estudo sobre o transformador de potência, com ênfase na importância da manutenção preventiva, utilizando a técnica preditiva de Detecção de Descargas Parciais pelo Método de Emissão acústica neste equipamento fundamental para o sistema elétrico de potência.

II. Transformador de Potência

Os princípios de funcionamento do transformador foram descobertos em 1831 por Michael Faraday, o qual funciona baseado nos atualmente conhecidos como princípios eletromagnéticos da Lei de indução de Faraday-Neumann-Lenz [1]. Tal lei afirma que é possível criar uma corrente elétrica em um circuito, uma vez que esse seja submetido a um campo magnético variável. Por necessitar dessa variação no fluxo magnético, os transformadores só funcionam em corrente alternada.

O transformador é um equipamento que consiste em um núcleo fechado, formado por lâminas de material magnético e por enrolamentos – podendo envolver ou ser envolvido por eles –, viabilizando o transporte da energia elétrica, ou potência elétrica, desde o local de sua geração até o ponto de sua utilização, transformando tensões e correntes de um circuito elétrico. Usualmente, no ponto de utilização, chamado de carga, a tensão é mais baixa enquanto que, para o transporte da energia elétrica, convém que as tensões sejam mais altas, de modo que as correntes sejam menores, reduzindo-se assim as quedas de tensão e perdas de potência

por dissipação de calor (Efeito Joule) nos condutores. Assim, nos sistemas elétricos, os transformadores são largamente utilizados para adequar tensões e correntes para suprimento dos consumidores finais. Um transformador de potência é representado na Fig. 1.

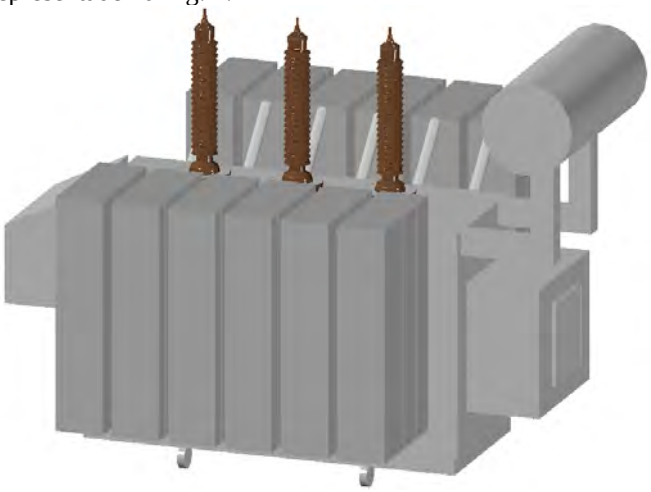


Fig. 1. Transformador de potência.

A. *Componentes construtivos dos Transformadores*

Os transformadores de potência são constituídos, basicamente, de uma parte ativa, tanque e de acessórios [2], detalhados a seguir:

1) Parte ativa:

A parte ativa compreende as bobinas (enrolamentos do primário e do secundário, e por vezes de terciário) e o núcleo ferromagnético. Para que haja um funcionamento eficaz, é necessário que seus componentes sejam prensados e devidamente calçados, a fim de suportarem as mais diferentes condições operativas a que são submetidos. Os enrolamentos são constituídos geralmente de fios de cobre (podendo também ser de alumínio), de seção retangular ou circular, isolados com verniz ou com papel. O núcleo é constituído de lâminas de material ferromagnético (muito utilizado o aço-silício), possuindo excelentes propriedades magnéticas e baixas perdas por histerese e correntes parasitas (conhecidas por correntes de Foucault). O empilhamento das lâminas, que são isoladas entre si e das ferragens do núcleo, é feito para minimizar a ação das correntes parasitas.

2) Tanque principal:

O tanque principal serve de invólucro da parte ativa e do líquido isolante, comumente o óleo ou o silicone. Nele, encontram-se os suportes para fixação, conector de aterramento, buchas, placa de identificação, radiadores e respectivos ventiladores, armário de proteção e controle, dispositivos de drenagem e amostragem do líquido isolante, tanque de expansão (ou conservador de óleo), dispositivos de nível de óleo, termômetros de óleo e de enrolamento, rodas e secadores de ar (sílica-gel).

3) Acessórios:

a) Buchas:

As buchas são estruturas interfaciais, ou seja, dispositivos que permitem a passagem, através do tanque principal, dos condutores – provenientes dos enrolamentos – para o meio externo, permitindo a conexão com o sistema elétrico, tanto no lado primário como no secundário do transformador. São constituídas de corpo isolante (porcelana ou polímero), de condutor ou varão passante (de cobre ou latão), terminal de conexão (bronze ou latão) e vedações (borracha).

b) Sistema de refrigeração:

O calor gerado na parte ativa é transferido ao meio externo por meio do óleo, sendo dissipado na tampa e nas laterais do tanque. No caso de transformadores de potência elevada, esse arrefecimento é insuficiente, sendo necessário prover os transformadores com radiadores, que aumentam a área de dissipação do calor, podendo ainda ser instalada ventilação forçada de ar (ventiladores) para maior eficiência de troca de calor.

c) Comutador:

O comutador é um dispositivo mecânico que permite variar o número de espiras dos enrolamentos – usualmente os de alta tensão – e consequentemente alterar a relação de transformação do mesmo. Sua finalidade é adequar o nível de tensão do secundário de modo a compensar as quedas de tensão ocorridas ao longo dos circuitos secundários supridos pelo transformador. Podem ser do tipo: comutador de derivações em carga (CDC) – que permite o ajuste de tensão automaticamente, com o equipamento em funcionamento – ou comutador de derivação sem tensão (CDST) – em que é necessário desligar o transformador para que se faça a mudança de uma derivação para outra.

4) Placa de identificação

A placa de identificação é um item que acompanha o equipamento, sendo construída em alumínio ou aço inoxidável. Nela, constam todas as informações construtivas resumidas e normatizadas do aparelho.

A seguir, na Fig. 2 [3] é apresentada a localização de cada componente em um transformador de potência.

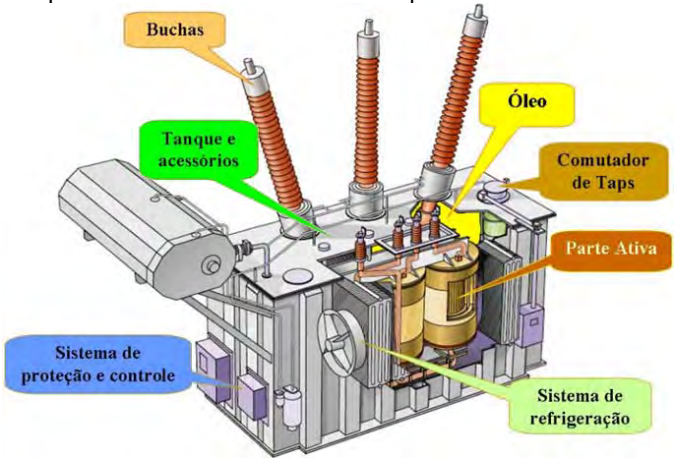


Fig. 2. Transformador de potência em corte. A parte ativa e os acessórios são identificados.

B. *Princípios de funcionamento de um transformador*

O funcionamento do transformador é baseado em dois princípios: o primeiro, afirma que corrente elétrica produz campo magnético (eletromagnetismo); o segundo, descrito via lei da indução de Faraday, implica que um campo magnético variável no interior de uma bobina ou enrolamento de fio induz uma tensão elétrica nas extremidades desse enrolamento

(indução eletromagnética) [4]. A tensão induzida é diretamente proporcional à taxa temporal de variação do fluxo magnético no circuito. A alteração na corrente presente na bobina do circuito primário altera o fluxo magnético nesse circuito e também na bobina do circuito secundário, esta última montada de forma a se encontrar sob influência direta do campo magnético gerado no circuito primário. A mudança no fluxo magnético na bobina secundária induz uma tensão elétrica na bobina secundária [4].

Um transformador ideal [5] é apresentado na Fig. 3 [2]. A corrente passando através da bobina do circuito primário cria um campo magnético. As bobinas primária e secundária são ambas enroladas sobre um núcleo de material magnético de elevada permeabilidade magnética, de modo que a maior parte do fluxo magnético produzido passe através de ambas as bobinas, ou seja, que a dispersão de fluxo seja mínima e o fator de acoplamento magnético seja o mais próximo possível a 1 (100%). Se um dispositivo elétrico é conectado ao enrolamento secundário, uma vez provido que a corrente e a tensão aplicadas ao circuito primário tenham os sentidos indicados, a corrente (I) e a tensão (U) elétricas no dispositivo terão também sentidos definidos. Uma vez que os transformadores operem em corrente e tensão alternadas, as marcações na figura representam as relações de fase entre os sinais no circuito primário e secundário.

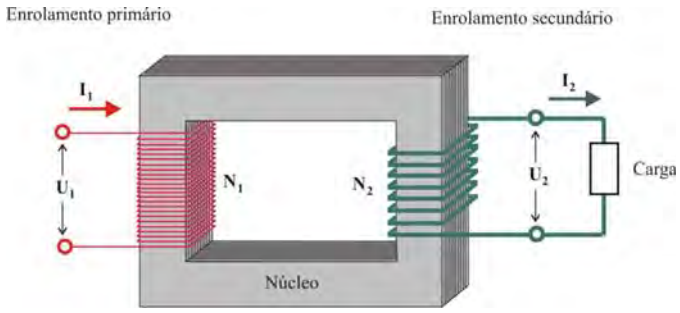


Fig. 3. Um transformador ideal. A corrente secundária surge para a ação secundária da Força Eletromotriz na impedância de carga (não mostrada).

As principais variáveis que definem o dimensionamento de um transformador são o diâmetro dos condutores e o material isolante utilizado [2]. Os enrolamentos de AT são constituídos por várias espiras de fio de menor seção do que os de BT, sendo que os enrolamentos de BT possuem um menor número de espiras.

A razão entre as tensões do primário e do secundário, bem como entre os respectivos números de espiras dos seus enrolamentos, definem a relação de transformação, denominada *a* de um transformador. Assim, define-se *a* em (1), onde U_1 e U_2 representam as tensões e N_1 e N_2 os respectivos números de espiras.

$$a = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \tag{1}$$

Se $a>1$, o transformador é abaixador, se $a<1$ o mesmo será elevador.

Considerando-se que as potências aparentes na entrada e na saída são iguais, as correntes obedecem à seguinte relação:

$$U_1 I_1 = U_2 I_2 \tag{2}$$

Desse modo, após manipulações algébricas, fica definida em (3) a *Equação Fundamental de Transformação* [2]:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \tag{3}$$

III. Descargas Parciais em Transformadores de Potência

A NBR 6940/1981 [6] define descargas parciais (DPs) como sendo "descargas elétricas que curto-circuitam parte da isolação entre dois eletrodos. Estas descargas podem ocorrer ou não adjacentemente ao eletrodo, ou a outra parte da isolação".

Nesse sentido, a descarga parcial é uma descarga elétrica que ocorre em uma região sujeita a um campo elétrico, cujo caminho percorrido pela descarga não une dois eletrodos completamente [7].

Além disso, podem ser consideradas as seguintes características notáveis do fenômeno físico das DPs [8]:

a) realizam-se rapidamente, considerando a sua curta duração em relação ao semiperíodo da tensão referencial aplicada (60 Hz);
b) são fenômenos intermitentes, determinando sobre os circuitos elétricos impulsos como fontes muito íngremes e discretas no tempo;
c) caracterizam-se por elevadas frequências espectrais;
d) o ambiente onde se desenvolvem as disrupções é de natureza gasosa. O espaço onde se realizam as DPs restringe-se a uma zona limitada do dielétrico, não chegando a curto-circuitar os dois eletrodos, pois quando tal se verifica ocorre a disrupção do dielétrico e, portanto a sua deterioração.

Já quando as descargas curto-circuitam completamente os dois eletrodos, se dá a formação de um arco elétrico – estágio final das DPs. Em função da grande quantidade de energia dissipada no evento, se dá a expansão de gases, que podem levar o transformador a colapso, conforme a Fig. 4 [9].

Fig. 4. Vista de um transformador em chamas, em decorrência da atividade de descargas parciais que evoluíram para uma falha.

O processo de evolução de uma DP [10] é reforçado pela Fig. 5, a seguir:

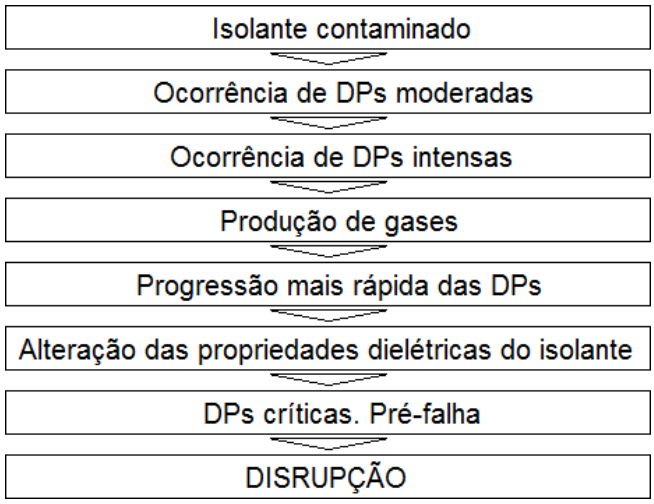


Fig. 5. Sequência típica da evolução de um defeito de descargas parciais no isolamento do transformador.

IV. Detecção de Descargas Parciais pelo Método da Emissão Acústica

A detecção de DPs pelo método de Emissão Acústica (EA) é uma técnica preditiva, realizada em transformadores de grande porte, cujo objetivo é localizar falhas elétricas incipientes decorrentes da atividade de DPs.

Em relação às demais técnicas preditivas, esta apresenta a vantagem de poder ser realizada com o transformador em operação, não havendo a necessidade de interromper o fornecimento de energia elétrica durante os ensaios. Ademais, o método de EA localiza as coordenadas tridimensionais exatas da região onde está ocorrendo a atividade de DPs.

Além disso, propõe-se acompanhar os resultados ao longo do tempo, de modo a se planejar uma intervenção antes da ocorrência de uma possível falha que leve o transformador a colapso.

Com base nessas vantagens oferecidas, a CELG-D, utiliza, em suas subestações, o método de EA [3] em conjunto com a consagrada técnica de Análise de Gases Dissolvidos em Óleo Isolante (AGD).

A. *Aplicação da Metodologia*

Essa metodologia [3] foi aplicada, por exemplo, na detecção simultânea de DPs em três transformadores trifásicos de 33,3 MVA cada, denominados TR-1, TR-2 e TR-3, de uma mesma subestação. Juntos, eles fornecem 100 MVA para a rede primária de distribuição urbana de 13,8 kV.

Para a execução do método de EA, foram empregados 28 sensores piezoelétricos, devidamente conectados ao sistema SDP1, nos transformadores TR-2 e TR-3, sendo 14 sensores em cada transformador. No TR1, foram utilizados 14 sensores conectados ao sistema SDP2. Vale ressaltar que os dois sistemas de detecção de DPs foram devidamente aterrados.

Além disso, foi utilizado um canal adicional do SDP2 para detectar ruídos provenientes de chuva, se fosse o caso, totalizando 42 sensores.

A seguir, é ilustrada, na Fig. 6, a metodologia utilizada nos transformadores da subestação da CELG-D.

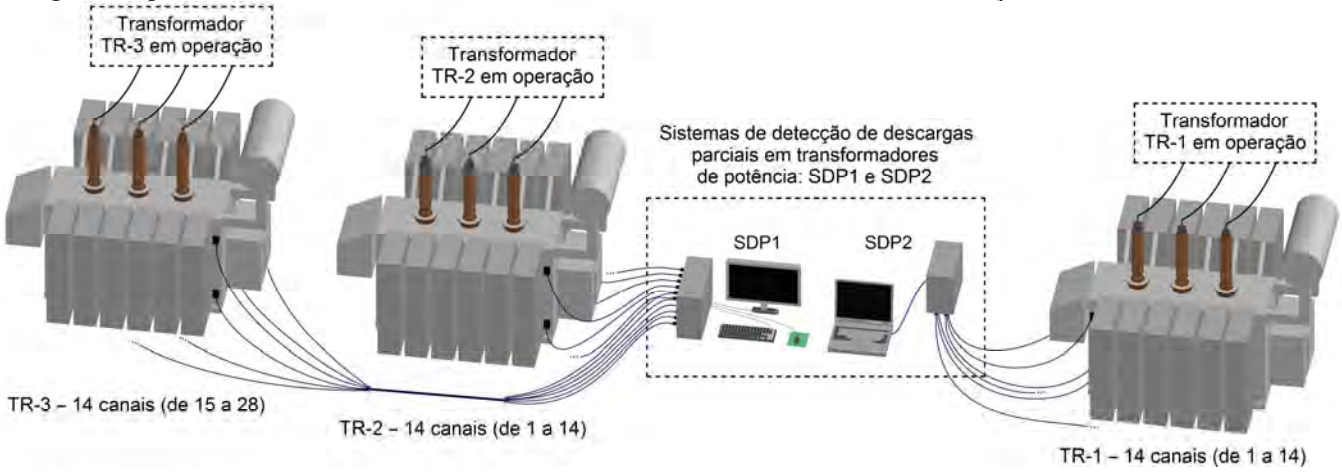


Fig. 6. Metodologia de EA utilizada simultaneamente em três transformadores de uma subestação da CELG-D. O canal responsável pela detecção de ruídos de chuva não é mostrado.

Após ter sido realizado o posicionamento conveniente dos 42 sensores nos transformadores, foram efetuados testes de verificação da resposta dos sensores.

Esses testes consistem em gerar uma onda acústica reprodutível através da quebra da ponta de grafite 0,3mm sobre a parede do tanque, nas proximidades dos sensores. A intensidade sonora da onda detectada pelos sensores foi de aproximadamente 90 dB, e não houve variação maior de 3dB na média de todos os sensores.

Em seguida, realizou-se uma verificação complementar – denominada teste de abrangência –, que consiste em abalroar um objeto metálico contra as paredes do tanque do transformador, gerando uma onda acústica que possa ser detectada pelos sensores.

Após se efetuarem os dois testes, e confirmar-se que todos os sensores estavam devidamente acoplados e respondiam perfeitamente a emissões acústicas, realizou-se a configuração inicial dos sistemas SDP1 e SDP2 e um pré-ensaio de aproximadamente duas horas, para a conferência da montagem e da configuração do sistema.

Finalmente, após as verificações e ajustes, com a confirmação de bom desempenho da instalação e da configuração, iniciou-se o ensaio, com o período total de monitoramento estabelecido em 24 horas.

Vale ressaltar que, além do procedimento de EA, foram retiradas amostras do óleo dos três transformadores, as quais foram submetidas à AGD no laboratório da referida empresa.

Depois de realizados os ensaios de EA e a AGD, analisou-se a situação de cada equipamento e a necessidade ou não de de se programar uma manutenção preventiva, a fim de sanar os problemas existentes, melhorando o desempenho do transformador.

V. Conclusão

Conclui-se que os transformadores de potência são de extrema importância, visto que eles são os responsáveis por adequar os níveis de tensão ao longo do percurso de transporte da energia elétrica até o consumidor.

Além disso, destaca-se a necessidade da utilização de técnicas preditivas que não interrompam as atividades do equipamento, a fim de se identificar precocemente falhas incipientes, evitando-se assim, prejuízos por interrupção no fornecimento de energia elétrica.

A metodologia destacada nesse artigo se mostra viável tecnicamente, uma vez que sua utilização em campo permite alcançar uma maior qualidade e eficiência nos diagnósticos dos equipamentos e maior acerto nas tomadas de decisões. Portanto, ações de manutenção preventiva, com base nos resultados desta técnica preditiva de emissão acústica, reduzem gastos com interrupções por falhas ou defeitos em transformadores de potência no sistema elétrico.

Referências

[1] A. L. M. Franca, (2013, 28 de Fevereiro) *Transformadores* [online]. Disponível em: http://pessoal.utfpr.edu.br/mariano/arquivos/Transformadores_3.pdf

[2] R. Münchow e E. G. C. Neves, (2012, 11 de Maio) *Eletrotécnica* [online]. Disponível em: http://minerva.ufpel.edu.br/~egcneves/biblioteca/caderno_elet/cap_08.pdf

[3] C. H. B. Azevedo, A. P. Marques, J. A. L. dos Santos, C. J. Ribeiro, *Estudos sobre Transformadores de Potência: Sistema Elétrico Celg,* In *IV SBSE - Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos*, Goiânia, 2012.

[4] C. M. Franchi, (2012, 09 de Outubro) *Transformadores* [online]. Disponível em: http://www.webcitation.org/64XeIPMo9

[5] A. V. Garcia, (2012, 09 de Outubro) *Transformador Ideal* [online]. Disponível em: http://www.webcitation.org/64YJX2B6l

[6] *ABNT NBR 6940: Técnicas de ensaios elétricos de alta tensão: medição de descargas parciais*, Rio de Janeiro, 1981.

[7] *IEEE Guide for partial discharge measurement in liquid-filled power transformers and shunt reactors*, IEEE standard n. C57. 113-1991, Dec, 2002.

[8] W. M. H. Cuenca, "Caracterização dos Sinais de Descargas Parciais em Equipamentos de Alta Tensão a partir de Modelos Experimentais," Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Junho de 2005.

[9] R. Bechara, "Análise de Falhas de Transformadores de Potência," Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2010.

[10] M. A. G. Martins, "Gestão da Vida útil dos Transformadores," in Ciência & Tecnologia dos Materiais, Vol. 21, n.º 3/4, 2009.

Controle gestual remoto de manipulador robótico

Herculano De Biasi

Universidade do Contestado – UnC Campus Curitibanos
herculano.debiasi@gmail.com

Nilton K. G. Suzuki

Universidade do Contestado – UnC Campus Curitibanos
nkazuo@gmail.com

Thiago V. Molin

Universidade do Contestado – UnC Campus Curitibanos
thiago2027@yahoo.com.br

Rudinei L. Santos

Universidade do Contestado – UnC Campus Curitibanos
engenheiro.rudy@hotmail.com

***Resumo*— Este artigo descreve o desenvolvimento de um sistema de controle gestual para um manipulador robótico antropomórfico de cinco graus de liberdade desenvolvido na UnC, campus de Curitibanos. O controle gestual é realizado através da integração de várias tecnologias, entre elas o dispositivo Kinect®, da Microsoft, da plataforma de prototipação open-hardware Arduino, de componentes 'wearable computing' Lilypad, e módulos de comunicação RF XBee.**

***Abstract*— This paper describes the development of a gestural control system for a 5 degree-of-freedom anthropomorphic robot manipulator, designed and built at UnC, campus of Curitibanos. The gestural control is obtained by integrating several technologies, among others, the Kinect® device, from Microsoft, the open-hardware prototyping platform Arduino, LilyPad wearable computing components, and XBee RF communication modules.**

***Palavras chave*— *Inferface* Homem-Máquina, plataforma Arduino, XBee, Lilypad, Kinect.**

I. Introdução

Este trabalho teve como meta a integração de um sistema de controle gestual a um manipulador robótico antropomórfico de 5 graus de liberdade, projetado e construído na UnC, campus de Curitibanos. O manipulador robótico foi construído, entre outras finalidades, com o objetivo de ser uma plataforma para a integração e testes de várias tecnologias e equipamentos como CLPs, inversores, IHC (interface homem-computador), computação móvel, visão computacional, etc. O sistema de controle gestual é composto de dois componentes principais: o primeiro deles é responsável pela captura dos gestos do usuário, e reproduzir o movimento utilizando para isso os primeiros quatro elos do robô; o segundo é uma luva de controle, capaz de reproduzir o movimento de abrir e fechar do efetuador final (garra do robô). O sistema de movimentação gestual é feito utilizando duas técnicas diferentes, cinemática direta e cinemática inversa. Os comandos de movimentação são enviados através de ondas RF (radiofrequência), o que permite o controle remoto do manipulador.

Herculano De Biasi (herculano.debiasi@gmail.com), Nilton Suzuki (nkazuo@gmail.com), Thiago Molin (thiago2027@yahoo.com.br) e Rudinei dos Santos (engenheiro.rudy@hotmail.com) pertencem à Universidade do Contestado – UnC Campus Curitibanos. Av.Leoberto Leal, 1904 - Curitibanos - SC - Brasil - 89.520-000.

II. Materiais e Métodos

A. Interface Homem-Máquina (IHM) e Experiência do Usuário (UX)

Experiência do usuário [1] é como uma pessoa se sente ao usar um produto, sistema ou serviço. A experiência do usuário destaca aspectos experimentais, afetivos, significativos e valiosos acerca da interação homem-máquina e propriedade do produto, mas também inclui as percepções pessoais de aspectos práticos como utilidade, facilidade de uso e eficiência do sistema. Experiência do usuário é subjetiva por natureza, porque trata basicamente dos sentimentos e pensamentos individuais sobre o sistema. Neste trabalho é também aplicado o conceito de computação pervasiva é aplicado, e consiste na integração de tecnologias computacionais com objetos do cotidiano, o que leva a novas formas de interação homem-computador (IHC), como descrito em [2].

B. Robótica e modelagem cinemática

Robótica é o estudo de máquinas que podem substituir os humanos, sendo na execução de tarefas, considerando a atividade física e tomada de decisão. Atualmente, a maioria dos robôs em uso está muito mais próxima de um dispositivo chamado "manipulador" ou "braço robótico", que consiste um braço mecânico controlado automática ou manualmente (Figura 1). Automação é a tecnologia com o objetivo de substituir os humanos não apenas na execução de tarefas que exijam modificação de operações físicas, mas também processamento de informações inteligentes sobre a situação atual do processo.

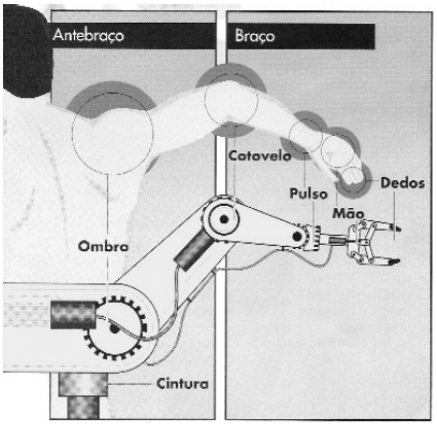


Fig. 1. Analogia com o corpo humano.

Alguns dos principais objetivos da Robótica e Automação:

- Aumento da produtividade, otimizando a velocidade do robô e de outras máquinas alinhadas a ele, diminuindo o tempo de produção;
- Diminuição no tempo de entrega de produtos;
- Realização de atividades não desejadas, tediosas, perigosas ou hostis: ambientes em temperaturas elevadas, presença de materiais tóxicos, inflamáveis ou radioativos.

A Cinemática é o ramo da Física que se ocupa da descrição dos movimentos dos corpos, sem se preocupar com a análise de suas causas, e se ocupa de assuntos como determinação de localizações no espaço e geração de trajetórias. Para compreender e conseguir controlar os movimentos de um sistema robótico, o aluno precisa dominar estes conceitos e conseguir aplicá-los na prática. A primeira etapa no estudo da cinemática é a representação e determinação da posição e orientação do efetuador final do robô. Com isso, o mesmo ponto pode ser referenciado através de dois sistemas diferentes, isso equivale a realizar rotações e translações com os pontos. Para o estudo dos ângulos e relações entre eles, é imprescindível o estudo de trigonometria e funções trigonométricas. As funções trigonométricas, juntamente com a Álgebra, formam as chamadas matrizes de rotação, as quais podem ser vistas nas fórmulas (1), (2) e (3) abaixo, que indicam como rotacionar um objeto em qualquer eixo 3D.

$$M_{ZX} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & 0 & \text{sen}(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\text{sen}(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$M_{XY} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \text{sen}(\theta) & 0 \\ -\text{sen}(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$M_{YZ} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta) & \text{sen}(\theta) \\ 0 & -\text{sen}(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (3)$$

As matrizes são utilizadas para calcular as novas posições dos pontos após uma rotação. Abaixo podem ser vistas as fórmulas para rotação ao redor do eixo *z* (que permanece fixo).

$$p_x = p'_x \cos\alpha - p'_y \sin\alpha \quad (4)$$

$$p_y = p'_x \sin\alpha + p'_y \cos\alpha \quad (5)$$

$$p_z = p'_z. \quad (6)$$

Finalmente são formadas as chamadas matrizes homogêneas, que combinam em uma só matriz, as operações de rotação, translação, perspectiva e escala.

$$A_{4\times4} = \begin{bmatrix} R_{3\times3} & p_{3\times1} \\ f_{1\times3} & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{matriz} & \text{vetor} \\ \text{rotação} & \text{posição} \\ \text{efeito de} & \text{fator} \\ \text{perspectiva} & \text{escala} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Através do encadeamento destas matrizes consegue-se propagar uma operação, desde a base do manipulador, até seu efetuador final (Figura 2). A operação chamada de cinemática direta permite calcular a posição do ponto final (coordenada operacional) através de cálculos trigonométricos sucessivos envolvendo os ângulos das juntas e o comprimento dos elos. Com isso pode-se determinar a posição final da garra tendo-se a configuração do manipulador. Já a cinemática inversa funciona ao contrário, ou seja, dada a posição do efetuador final, percorre-se o caminho até a base, calculando-se os ângulos necessários para que o manipulador consiga atingir a configuração desejada.

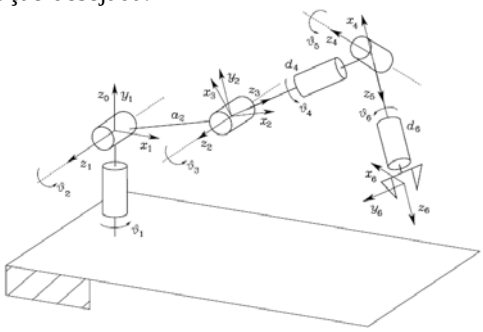


Fig. 2. Modelo cinemático.

C. Dispositivo Kinect

O dispositivo Kinect®, mostrado na Figura 3, foi desenvolvido pela Microsoft para seu sistema de entretenimento Xbox®, é uma tecnologia que permite aos jogadores interagirem com os jogos eletrônicos sem a necessidade de usar um controle ou joystick. Ele começa a ser usado para outras funções, como é o caso de um exemplo recente de aplicação desenvolvido em Joinville, para o auxílio pedagógico a portadores da síndrome de Down. Como mostra a Figura 4, o aparelho possui vários sensores, como microfones e uma câmera convencional que trabalha do espectro da luz visível, mas seus principais componentes são o projetor IR (infravermelho) e câmera IR.

Fig. 3. Kinect.

Fig. 4. Hardware, mostrando, da esquerda para a direita, o projetor IR, a câmera RGB, e a câmera IR. Fonte: (http://www.t3.com/features/exclusive-how-does-microsoft-xbox-kinect-work, 2012).

Basicamente, o Kinect® é uma 'câmera de profundidade' [3], cuja imagem em tons de cinza resultante representa a distância em que os elementos se encontram dela, como mostra a Figura 5.

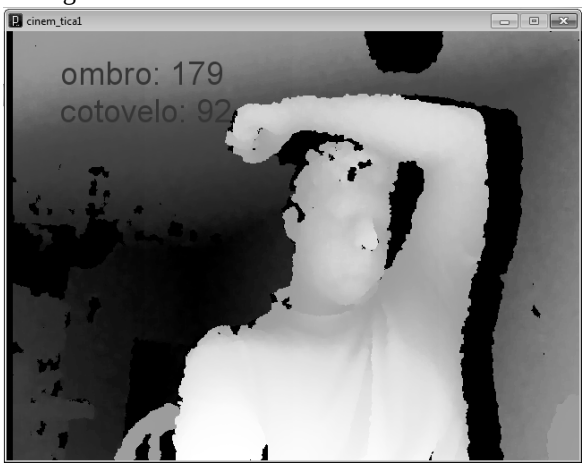


Fig. 5. Imagem retornada pelo Kinect.

D. OpenNI

Atualmente o OpenNI (*Open Natural Interaction*) com o NITE é a melhor opção para roda o Kinect em computadores pessoais. A empresa Prime Sense, fabricante do NITE e cofundadora do OpenNI, fez uma parceria com a Microsoft para desenvolver o algoritmo sensor do Kinect. Além disse, até o momento, outras bibliotecas não proveem acesso às funcionalidades mais interessantes do Kinect como o *UserTracker*, por exemplo. [3].

O *framework* disponibiliza um conjunto de APIs *open source*, que fornecem suporte para:

- Voz e reconhecimento de comandos de voz
- Gestos com as mãos (hand gestures)
- Rastreamento de movimentos do corpo (body tracking motion)

E. Plataforma Arduino

Arduino é uma plataforma *open-hardware* de protitipação e desenvolvimento, composta de hardware, software, equipe de desenvolvimento, filosofia de projeto e *esprit de corps* "espírito de solidariedade ou lealdade dentro de um grupo" [4] surgido na Itália em 2005 com o objetivo de criar um dispositivo para controlar projetos e protótipos construídos de uma forma menos dispendiosa do que outros sistemas disponíveis no mercado. Arduino é também chamado de plataforma de computação física, pois trabalha essencialmente com sistemas digitais ligados a sensores e atuadores, que permitem construir sistemas que percebam a realidade e respondem com ações físicas, baseada em uma simples placa de Entrada/Saída microcontrolada e desenvolvida sobre uma biblioteca que simplifica a escrita da programação em C/C++.

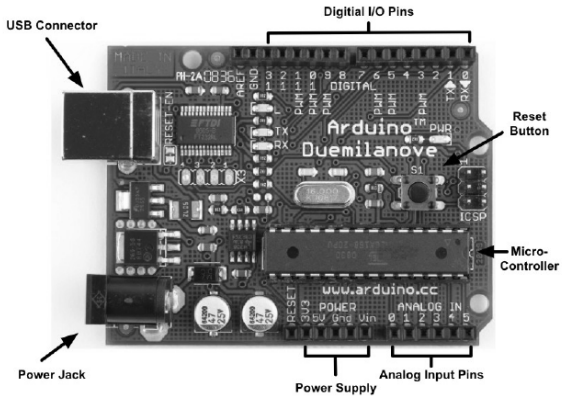


Fig. 6. Placa Arduino. Fonte: (http://arduino.cc, 2012).

O coração da placa Arduino é o microcontrolador AVR Atmega, da empresa Atmel. Um microcontrolador (também denominado MCU) é um computador em um chip, que contém um processador, memória e periféricos de entrada/saída. é um microprocessador que pode ser programado para funções específicas, em contraste com outros microprocessadores de propósito geral (como os utilizados nos PCs). Eles são embarcados no interior de algum outro dispositivo, no nosso caso o Arduino, para que possam controlar suas funções ou ações.

F. Componente Lilypad

Arduino LilyPad é uma placa microcontroladora desenvolvida especialmente para ser usada em vestimentas e roupas inteligentes. Os componentes LilyPad podem ser costurados diretamente sobre tecido e conectados a fontes de alimentação, sensores e atuadores com linha condutiva. A placa é baseada no ATmega168V (versão de baixa potência do ATmega168). Os componentes LilyPad foram originalmente projetados e construídos no Media Lab do MIT [5], e posteriormente desenvolvidos pelas empresas Leah Buechley e SparkFun Electronics.

O Arduino LilyPad pode ser alimentado pelo conector ou com uma fonte de alimentação externa. Se uma fonte de alimentação externa for utilizada ela deve fornecer entre 2,7 e 5,5 volts. O LilyPad tem forma circular, com aproximadamente 50mm de diâmetro e 0,8mm de espessura (placa) e cerca de 3mm (componentes eletrônicos). Os componentes são laváveis.

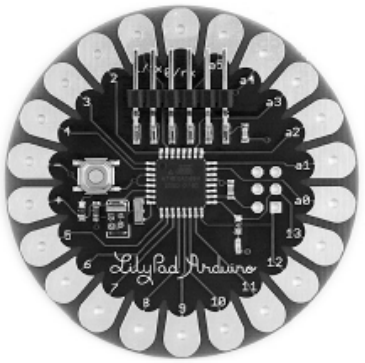


Fig. 7. Arduino LilyPad.

G. Módulos XBee e Protocolo ZigBee

O módulo de rádio XBee, juntamente com o protocolo ZigBee é uma forma muito popular de criar redes de sensores sem fio [6]. Existe um grande número de modelos, fabricados por empresas como Digi International (formalmente Maxstream), com potência variando de 1mW (100m) até 100mW (2km). Os módulos XBee são divididos entre "Série 1" e "Série 2", sendo que uma série não consegue se comunicar com a outra. A série 2 tem um alcance um pouco maior, consome um pouco menos de energia e consegue criar malhas de redes (forma robusta de criar redes de sensores) baseadas no protocolo ZigBee, enquanto que a série 1 é uma forma muito fácil de realizar comunicação ponto-a-ponto e substituir sistemas de rede cabeados. Deve-se enfatizar que uma série não é necessariamente melhor do que a outra, tudo depende do tipo de aplicação que se deseja implementar.

A Figura 8 mostra um XBee 1mW com antena embutida no chip. Este é o popular módulo de 2,4GHz XBee, que utiliza o protocolo 802.15.4 (a base do Zigbee) e o coloca em um conjunto de comandos seriais simples de usar. Também permite uma comunicação simples e muito confiável entre microcontroladores, computadores, sistemas, ou qualquer módulo com uma porta serial. Oferece suporte para comunicação ponto a ponto e multiponto.

Fig. 8. Módulo XBee com antena.

A Figura 9 mostra a placa denominada XBee *shield*. Esta placa pode ser conectada a uma placa Arduino.

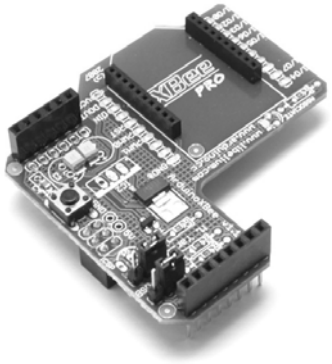


Fig. 9. *Shield* XBee Pro.

Finalmente, a Figura 10 exibe o *shield* Lilypad XBee, que é um componente Lilypad compatível com o XBee.

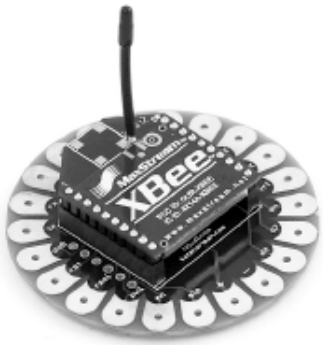


Fig. 10. LilyPad XBee.

H. Construção do manipulador robótico

O robô desenvolvido neste projeto é totalmente aberto, o que contrasta com soluções comerciais como as bancadas de automação industrial da empresa Festo Didactics, que são tecnologias fechadas. Além disso, o custo para a montagem do manipulador desenvolvido é de apenas uma fração do equipamento industrial, e consegue demonstrar grande parte das funcionalidades reais. O fato de ele precisar de toda uma programação para funcionar faz com que os acadêmicos trabalhem com as mais variadas situações e criem diversas soluções para os problemas, além de possibilitar a integração com equipamentos como CLPs, inversores e motores sem distinção de marcas.

Com esse trabalho o acadêmico deixa a programação baseada somente em computador e passa à programação baseada em interação com o ambiente ao qual o equipamento está inserido. Outra vantagem é a possibilidade de realizar experimentos detalhados de cinemática (estudo dos movimentos) [7] visando a determinação de posições, orientações e trajetória que são possíveis de serem executadas pelo manipulador, aplicando para isso cálculos matemáticos e muitos conceitos de Física.

Para o desenvolvimento do manipulador robótico fez-se inicialmente um protótipo em papelão para verificar a capacidade de movimentação que se poderia obter. Após isso foi feito um teste de força dos servo-motores em um protótipo de madeira. Após esses testes iniciou-se o projeto da versão final, o qual foi inteiramente desenhado em SolidWorks,

possibilitando assim: verificar o peso dos materiais, testar as forças atuantes, criar simulações de movimentos, renderizar e imprimir o projeto para sua usinagem e construção.

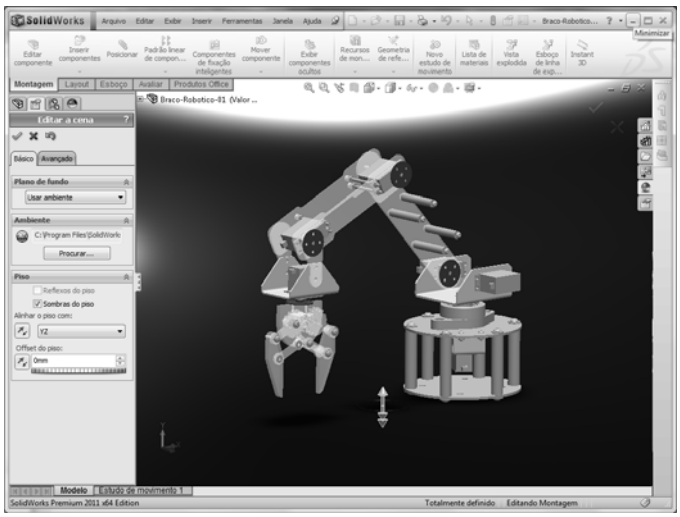


Fig. 11. Projeto do manipulador em SolidWorks.

Cálculos envolvendo pesos, distâncias e torques foram realizados para dimensionar corretamente os motores. Para a criação do robô, vários meses de trabalho foram dedicados ao projeto em SolidWorks, a fim de otimizar os movimentos e evitar gastos desnecessários causados por erros de projeto. Após o desenho pronto, as peças necessárias foram usinadas e o braço montado. A parte eletroeletrônica foi instalada e a programação realizada.

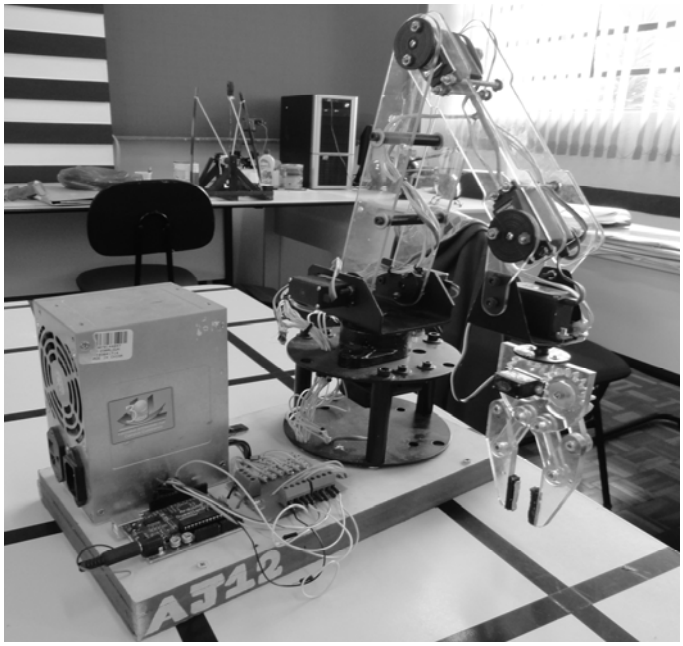


Fig. 12. Manipulador antropomórfico AJ12.

I. Integração com o dispositivo Kinect

Dois tipos de experimentos foram realizados O 1º. realiza o controle cinemático direto, o 2º. faz o controle cinemático inverso. A biblioteca SimpleOpenNI foi utilizada em um programa em Processing. Processing é basicamente um *framework* para a linguagem Java e que se integra muito bem com a plataforma Arduino. O OpenNI facilita muito trabalhar com a técnica de esqueletização. Para poder utilizar as informações de posição do esqueleto, é necessário realizar um processo de calibração, que inicia com a detecção da pessoa em uma determinada posição ('pose'), chamada *psi*. Este processo é conseguido através das funções *callback* `onNewUser()`, `onStartPose()` e `onEndCalibration()`. Se a calibração foi concluída com sucesso, pode-se iniciar o rastreamento (*tracking*) do esqueleto, com a função `startTrackingSkeleton()`.

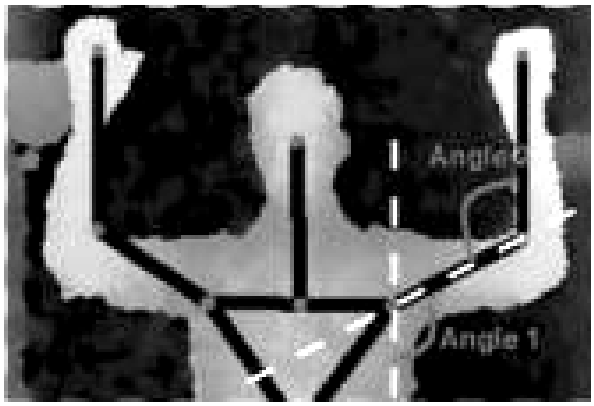


Fig. 13. Processo de esqueletonização realizado pela biblioteca OpenNI. Fonte: (Borenstein, 2012).

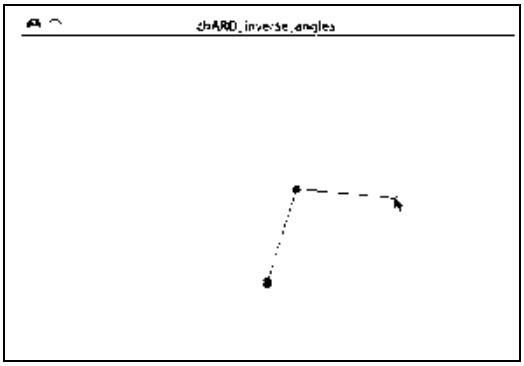


Fig. 14. Programa de cinemática inversa. Fonte: (Borenstein, 2012).

Para o primeiro experimento, o programa realiza a leitura das articulações como ombro, cotovelo e mãos (Figura 13) e calcula os ângulos entre elas. O ângulo do ombo, por exemplo, é o ângulo formado entre a parte superior do braço e o torso, já o cotovelo é o ângulo criado entre a parte superior do braço e antebraço. Para obter as posições das juntas do esqueleto é utilizada a função `getJointPosition-Skeleton()`, a qual retorna o vetor indicando as posições x, y e z da junta. A distância entre as juntas podem ser obtida através da subtração entre dois vetores, e o ângulo entre as juntas pode ser obtido através do produto escalar entre os dois vetores. O produto vetorial pode ser utilizado para calcular o vetor (perpendicular aos dois vetores em questão) que representa o eixo no qual o ângulo opera. Os dados são então enviados através da *interface* USB (transmissão serial) à placa Arduino ligada ao computador e que está conectada a um módulo de comunicação XBee. Este módulo, por sua vez,

envia a informação ao manipulador através de radiofrequência, tornando possível seu controle de forma remota. O XBee instalado no manipulador repassa os comandos recebidos ao Arduino conectado ao braço robótico. Este Arduino controla os ângulos dos servos-motores instalados nas juntas robóticas. O 2º. Experimento (Figura 14) realiza o controle cinemático inverso, ou seja, a partir de um ponto final são calculados os ângulos necessários para o manipulador atingir a configuração necessária. Com esta técnica torna-se possível, por exemplo, movimentar o robô somente movimentando o corpo e a cabeça, já que, através da cinemática inversa, o robô procura assumir a postura que faça com que o efetuador final alcance o ponto indicado.

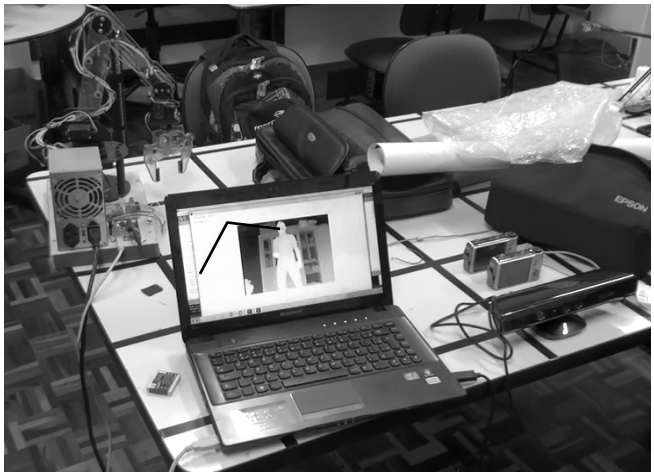


Fig. 15. Controle via Kinect.

A Figura 15 exibe o rastreamento (*tracking*) da cabeça do usuário feita pelo programa (linha ressaltada em preto). O movimento realizado pela cabeça movimenta o braço robótico. Um vídeo pode ser visto no endereço https://www.youtube.com/watch?v=CoLnAx43VC8.

J. Construção e integração com a luva de controle

Na (Figura 16) podem ser vistos o sensor *flex*, no dedo anular, o *shield* LilyPad XBee com um XBee sobre ele (marcado com o número 1), um acelerômetro ao centro, o Arduino Lilypad (na base do dedo indicador), um módulo LilyPad que fornece a alimentação de energia, e uma bateria de polímero de lítio. O acelerômetro não foi utilizado no experimento mostrado, que consiste no uso de um sensor *flex*, que, ao ser curvado, tem seu valor de resistência lido pelo microcontrolador Arduino LilyPad. Este, por sua vez, envia o valor numérico ao módulo XBee transmissor, que transmite a informação via RF.

Fig. 16. Luva de controle.

A Figura 17 mostra a integração com o manipulador. É possível ver um vídeo no endereço https://www.youtube.com/watch?v=0yx6sD7hKNA.

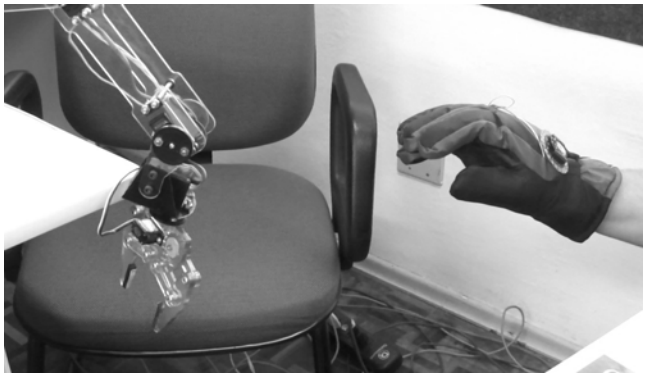


Fig. 17. Controle pela luva.

A informação enviada pela luva é recebida pelo módulo XBee conectado ao manipulador, que a repassa ao Arduino ligado a ele, acionando então o servo-motor, o que é mostrado no código-fonte abaixo.

```
#include <Servo.h>

Servo mao;
int valorLuva=22;

void setup() {
  mao.attach(8);
  //SETAR POSIÇÃO INICIAL DO SERVO
  mao.write(15);
  Serial.begin(9600);
}

void loop(){
  int valorGarra = map(valorLuva, 40, 22, 15, 100);
  mao.write(valorGarra);
  delay(15);
}
```

III. CONCLUSÕES

O custo total para a produção do manipulador foi cerca de 20 vezes menor quando comparado a media de equipamentos comerciais. Uma placa Arduino foi usada para controlar o robô, visto ser um microcontrolador com hardware aberto, o que facilitaria a integração com outros equipamentos. Para a alimentação do robô utilizou-se de uma fonte convencional de computador. O desenvolvimento inicial apresentou algumas dificuldades relacionadas à configuração dos módulos XBee e funcionamento do componentes LilyPad. Nos testes realizados, foi possível a comunicação entre a luva e o sistema

de teste a até 15 metros de distância. Quanto ao Kinect, existe também a limitação de que a pessoa deve se encontrar entre um e quatro metros do sensor. Distâncias maiores podem ser obtidas trocando-se os circuitos de comunicação por outros de maior potência. O sistema se comportou de forma estável, sendo que a sensibilidade do sensor *flex* pode ser configurada via programação.

O trabalho mostrou ser possível o controle remoto de um manipulador robótico, através do dispositivo Kinect e de componentes LilyPad e XBee. Ainda são necessárias melhorias na programação, para tornar o controle e movimentação do braço mais suave. Também é necessária uma melhor integração do controle cinemático com o manipulador, de forma que seja possível o controle de todos os seus elos. O manipulador, além de tornar a programação mais interessante, permite criar trabalhos industriais em pequena escala e a aplicação de cálculos de cinemática. O braço está sendo usado também como uma plataforma de integração e aplicação de tecnologias como as de controle, inteligência artificial, computação móvel e visão computacional.

Os autores agradecem ao professor M.Sc.Sérgio Juarez Godoy, à professora Dr. Simone Rocha, ao Estado de Santa Catarina pela concessão da bolsa do Artigo 171 e à Fundação Universidade do Contestado que tornaram possível a execução deste projeto.

REFERÊNCIAS

[1] WIKIPEDIA (2012). “User Experience”. http://en.wikipedia.org-/wiki/User_experience. Novembro.

[2] Barbosa, S.D.J. e Silva, B.S. “Interação Humano-Computador”. Série SBC, Editora Campus-Elsevier, 2010.

[3] Borenstein, G. “Making Things See”. O’Reilly, 2012.

[4] Wheat, D. “Arduino Internals”. Apress, 2011.

[5] Buechley, L. A construction kit for electronic textiles. In Proceedings of the IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC), 2006.

[6] Faludi, R. “Building Wireless Sensor Networks”. O’Reilly, 2011.

[7] Romano, V.F. “Robótica industrial: aplicação na indústria de manufatura e de processos”. Edgard Blücher, 2002.

Estação de tratamento de água: uma solução automatizada de baixo custo

ALLAN ALMEIDA MAIA
IESAM - Instituto de Estudos Superiores da Amazônia
allanmaia84@gmail.com

WELLINGTON J. F. DE LIMA
IESAM - Instituto de Estudos Superiores da Amazônia
wjlima@prof.iesam-pa.edu.br

DENILSON DE ALMEIDA SILVA
IESAM - Instituto de Estudos Superiores da Amazônia
almeida.denilson@yahoo.com.br

LEONARDO NEVES
IESAM - Instituto de Estudos Superiores da Amazônia
leoneves@prof.iesam-pa.edu.br

DIEGO EWERTON DE SOUZA
IESAM - Instituto de Estudos Superiores da Amazônia
diegoeslima@gmail.com

Resumo **- Este artigo descreve um projeto de uma planta de tratamento de água, utilizando sistemas de flotação e coagulação com o objetivo de propor um sistema alternativo de baixo custo para tratamento de água residual. Para elaboração da planta de tratamento de água proposta foi levado em consideração os seguintes itens: características da água bruta, custo de implantação, manutenção e operação, manuseio e confiabilidade dos equipamentos flexibilidade operacional e disposição final do lodo. Como resultado do projeto foi elaborada uma planta automatizada para controle da à água bruta, obtendo no final do processo um efluente tratado no nível de uso geral.**

Palavras-chave: água; flotação; coagulação; tratamento; lodo.

1 INTRODUÇÃO

A redução no consumo de recursos naturais, em direção ao desenvolvimento sustentável, requer o investimento em técnicas que viabilizem a reutilização de recursos hídricos, ou mesmo promovam o tratamento de rios poluídos e de esgotos com maior eficácia. Devido a isso, atualmente os projetos que visam o reaproveitamento de recursos hídricos têm grande relevância.

Nas grandes empresas e cidades, para o tratamento de água bruta, utiliza-se geralmente das ETA's (Estações de Tratamento de Água),que são o conjunto de instalações e equipamentos destinados a realizar o tratamento da água bruta e se caracterizam por utilizar diversos métodos de tratamento de efluentes líquidos, podendo-se destacar os tratamentos de natureza física, cuja característica é o processo de separação de fases. São eles: sedimentação, decantação, filtração, centrifugação ou flotação (PALMEIRA *et al*, 2009).

Nessa perspectiva, a Floculação e Flotação são técnicas bastante eficazes para o tratamento de água, cada qual com sua aplicação. Assim, a primeira, envolve a injeção de uma substância química chamada floculante cuja função é aglomerar as partículas coloidais da água, facilitando sua futura remoção. Na flotação, as impurezas presentes na água são removidas por meio da introdução de micro-bolhas de ar a uma suspensão de partículas, o que leva as mesmas a aderirem à superfície destas bolhas e serem carregadas até a superfície do líquido, formando uma espuma que posteriormente será removida da solução.

Além desses, existe uma grande variedade de métodos utilizados para tratamento de efluentes, sendo possível caracterizá-los a partir de suas aplicações. Dentre estas diversas aplicações, pode-se citar: tratamento de água para abastecimento, água para lazer, como lagos, rios, barragens, etc.; pré e pós-tratamento de esgotos; tratamento de efluentes industriais, entre outros (LIBÂNIO *et al*,2010).

Este estudo deter-se-á ao desenvolvimento de um projeto para um sistema de tratamento de água que pode ser utilizado para uso geral. Para esta situação, serão aplicados os métodos de Floculação por Sedimentação e Flotação, tendo como etapa final o tratamento químico por cloração e fluoretação.

Nos tópicos posteriores serão demonstradas as características específicas de cada método utilizado, suas vantagens e limitações, bem como o critério de escolha para cada situação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Floculação

A floculação consiste na aglutinação de partículas que, por possuírem dimensões reduzidas e baixa densidade, apresentam dificuldade de sedimentação (SAAE, 2006).

Esta aglutinação ocorre devido à ação de um agente floculante de natureza inorgânica ou polimérica, que ao entrar em contato com as impurezas contidas no efluente a ser tratado, mistura-se, formando estes aglomerados (PEREIRA *et al*, 2009).

Essa misturaé realizada por agitação mecânica, o que facilita a união entre as partículas e a substância floculante, fazendo com que surjam substâncias de maiores dimensões e que, por isso, possam ser separadas do líquido com maior facilidade pela ação da gravidade. Como etapa posterior, as partículas já floculadas sedimentam para a parte inferior do líquido, e assim promovendo a separação entre o efluente e as impurezas.

Desta forma, ocorrida a decantação completa dos sedimentos, na parte superior, obtém-se um líquido clarificado.
A compreensão dos mecanismos com que a floculação ocorre é de grande valia para escolha do agente floculante ideal para um determinado efluente (PEREIRA *et al*, 2009).

2.2 Flotação

Como já foi dito, na Flotação, o agente responsável pela separação entre as impurezas e o efluente são micro-bolhas de ar.
Há diversos tipos de flotação, tais como: eletro-flotação, flotação por ar induzido, flotação por ar dissolvido, flotação por aspersão (nozzle), flotação centrifuga, flotação rápida e flotação por cavitação.
Na flotação por ar induzido (FAI), um sistema constituído de um compressor de ar gera um fluxo contínuo de micro-bolhas que se inicia na parte mais inferior do recipiente de tratamento, em direção a superfície do líquido. Ao entrarem em contato com estas micro-bolhas, as impuresas presentes no efluente aderem à superfície das mesmas, formando assim um agregado bolhas-partícula.
Os agregados têm densidade menor que a fase líquida e ascendem à superfície arrastando as partículas seletivamente aderidas e promovendo a separação da mistura. Esse fenômeno se deve à tensão superficial do meio de dispersão e ao ângulo de contato formado entre as bolhas e as partículas (MASSI *et al*, 2008).
Na superfície do efluente, é formada uma camada de espuma composta pelos sedimentos flotados, que posteriormente será removida da solução por meio de um sistema de raspagem. Essa técnica também tem sido largamente utilizada no pré-tratamento de efluentes líquidos, na separação de óleos e graxas com vistas a reduzir os riscos de poluição ambiental (PALMEIRA et al, 2009).
As primeiras experiências com esta técnica estão ligadas à Carrie Everson, que em 1886, ao realizar alguns experimentos em seus estudos de química e metalurgia com seu marido, descobriu a possibilidade da ocorrência da flotação e registrou a patente do processo. Todavia, os registros mais disputados, dizem respeito à aplicação do processo, inicialmente, na separação mineral e na extração do cobre a partir da calcopirita ($CuFeS_2$).
Por essa razão, seu emprego na separação de minerais é o mais convencional, seguido da recuperação de corantes em indústrias de papel, do tratamento de água e de esgoto (MASSI *et al*, 2008).
Ao contrário da floculação, em que os sedimentos separados são concentrados na parte inferior do recipiente de tratamento, na flotação, os sedimentos são concentrados na parte superior, ou seja, na superfície do efluente.
A principal vantagem da flotação sobre a floculação por sedimentação é que partículas muito pequenas ou muito leves, que sedimentam mais lentamente que as demais, podem ser removidas completamente e num período de tempo menor. Uma vez que as partículas tenham flotado até a superfície, podem ser coletadas com um removedor de escuma.
Por outro lado, sedimentos de maiores dimensões são separados com mais dificuldade pelo processo de flotação.
Assim, conclui-se que a utilização dos dois métodos torna um sistema de tratamento de efluentes bastante eficaz, visto que abrangerá uma grande faixa de tipos de sedimentos.

2.3 Cloração

Consiste na adição de cloro para a desinfecção da água antes de sua saída da ETA, mantendo um teor residual e garantindo que a água fornecida fique isenta de bactérias e vírus.
O uso de cloro no tratamento da água pode ter como objetivos a desinfecção (destruição dos microorganismos patogênicos), a oxidação (alteração das características da água pela oxidação dos compostos nela existentes), ou ambas as ações ao mesmo tempo. A desinfecção é o objetivo principal e mais comum da cloração, o que acarreta, muitas vezes, no uso das palavras “desinfecção” e “cloração” como sinônimos (BAZZOLI, 1993).

2.4 Fluoretação

A fluoretação é realizada visando proporcionar uma medida segura e econômica de auxiliar na prevenção da cárie infantil. Nas ETA’s e nos poços artesianos é utilizado o fluor sob a forma de Ácido Fluossilícico. As dosagens de cloro e fluor utilizados para o tratamento da água seguem as normas convencionais dos padrões de potabilidade (DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO – DAAE *et al* 2012).

2.5 Fatores Intervenientes na Definição da Tecnologia de Tratamento

A potabilização das águas naturais para fins de consumo humano tem como função essencial adequar a água bruta aos limites físicos, químicos, biológicos e radiativos estabelecidos pela Portaria 518, tornando o efluente da estação incapaz de transmitir qualquer malefício à população abastecida. Embora pareça, não há redundância na assertiva anterior. Esta adequação da água natural não assegura intrinsecamente que substancias e microorganismos não listados na Portaria 518, passiveis de causar dano à saúde como cisto e o oocistos de protozoários, não possam ainda se fazer presente (LIBÂNIO *et al*, 2010).
O tratamento da água consiste na remoção de partículas suspensas e coloidais, matéria orgânica, microrganismos e outras substâncias possivelmente deletérias à saúde humana, porventura presentes nas águas naturais, aos menores custos de implantação, operação e manutenção, e gerando o menor impacto ambiental às áreas circunvizinhas. A definição da tecnologia a ser empregada no tratamento de água para consumo humano deve-se pautar, sobretudo nas seguintes premissas principais:

- Características da água bruta;
- Custo de Implantação, manutenção e operação;
- Manuseio e confiabilidade dos equipamentos;
- Flexibilidade operacional;
- Disposição final do lodo.

2.6 Característica da água bruta

Com o objetivo de balizar a definição da tecnologia de tratamento, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) elaborou classificação para as águas doces, salobras e salinas em função dos usos preferenciais. As primeiras foram classificadas segundo cinco classes e as demais segundo outras duas, com base na concentração de coliformes e de um rol de até 90 parâmetros físico-químicos. Na tabela abaixo estão apresentados às classes e respectivos níveis de tratamento (LIBÂNIO *et al*, 2010).

TABELA 1. TRATAMENTO REQUERIDO EM FUNÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS DOCES

Classificação	Tratamento Requerido
Classe Especial	Desinfecção
Classe 1	Tratamento Simplificado
Classe 2	Tratamento Convencional
Classe 3	Tratamento Convencional
Classe 4	Águas destinadas a usos menos exigentes

A classificação do Conama 357/2005 e 430/2010 assumem valores excessivamente conservadores para alguns parâmetros, tais como a cor verdadeira e turbidez cujos idênticos limites para as classes 2 e 3 são 75uH e 100uT, respectivamente. Água bruta com turbidez superior a 500 uT durante os eventos chuvosos afluindo a estações de tratamento torna-se situação relativamente comum para diversos sistemas de abastecimento do país(LIBÂNIO *et al*, 2010).

2.7 Custos de implantação, operação e manutenção.

A importância dos custos de implantação, operação e manutenção da estação de tratamento testifica-se na própria definição do manancial a ser utilizado para abastecimento. Os custos de implantação da unidade de tratamento constituem-se na conjunção das obras civis e dos custos do terreno, do meio filtrante e dos equipamentos, obviamente relacionados á magnitude da vazão afluente. (LIBÂNIO *et al*, 2010)
Devido a esta diversidade de fatores os custos de implantação das estações de tratamento de água apresentam variações significativas. Estações construídas em concreto, contemplando as principais etapas da potabilização e sem considerar as unidades destinadas ao tratamento dos resíduos gerados no tratamento, tendem a apresentar custos da ordem de US$ 5 a 10 mil por L/s. No mesmo viés, unidades pré-fabricadas apresentam custo inferior US$ 4 a 6 mil por L/s.Os custos de operação e manutenção compõe-se das despesas com energia elétrica, pessoal, operacional e administrativo, manutenção e reparo de equipamentos, e produtos químicos empregados na potabilização. Os gastos com energia elétrica nos sistemas de abastecimento brasileiros perfazem de 10 a 20% da arrecadação total atingindo até 25% em alguns casos, constituindo-se segundo insumo mais relevante superado apenas pelas despesas com pessoal. Embora seja um dado dificilmente obtenível, estima-se que os custos da produção de água tratada no país variem entre R$ 0,10 a 0,50/m³. (LIBÂNIO *et al*, 2010)

2.8 Manuseio e Confiabilidade dos Equipamentos

A maior confiabilidade nas dosagens dos produtos químicos e no monitoramento mais estrito da qualidade da água tratada insere-se, também, ainda que de forma subjacente, a redução das despesas de pessoal como norteador da automação das unidades de tratamento. Este processo tende a se estender também para os sistemas de adução e de distribuição, com objetivo de reduzir o gasto com energia elétrica nos primeiros momentos de minimização de perdas, por meio de maior controle dos níveis dos reservatórios e das pressões nas redes de distribuição. A automação objetiva aumentar a eficiência da potabilização e a confiabilidade do monitoramento da qualidade da água tratada e, como consequência, reduzir o índice de perdas eventualmente até o consumo de energia elétrica na estação de tratamento. Tal ação torna-se possível por meio do controle mais rigoroso da dosagem de produtos químicos, que permitirá menor aporte de sólidos às unidades filtrantes e aumento da duração das carreiras de filtração. Embora outras etapas possam estar presentes, o cerne da automação consiste na dosagem de produtos químicos atuantes na coagulação e no encerramento das carreiras de filtração. Além da dosagem de coagulantes e do encerramento das carreiras de filtração, a automação pode também envolver:

• O controle do estoque de produtos químicos e dos gradientes de velocidade de mistura rápida e de floculação (para as unidades mecanizadas);
• A frequência de descarga dos decantadores;
• A duração da lavagem das unidades filtrantes por meio do monitoramento da turbidez da água de lavagem(LIBÂNIO *et al*,2010).

3 MÉTODOS E MATERIAIS

Para demonstração do proposto trabalho, foi projetada uma planta de tratamento de água baseada em efluentes utilizados para o uso comercial, como Shopping Center e lavanderias, tendo como objetivo a reutilização da água residual para uso geral.
A lógica do processo como um todo foi construída a partir do método Passo a Passo, utilizando a linguagem de programação Grafset, como se observa na figura abaixo:
Embora a programação Grafset seja reconhecida e possa ser implementada diretamente no CLP, seu uso requer equipamentos que disponham deste recurso. Neste projeto foi necessário transcrever a lógica utilizada para a linguagem Ladder, devido limitações de hardware como, por exemplo, os CLP's que fossem compatíveis com a linguagem Grafset. Foram utilizados dois CLP's para trabalhar a lógica de gerenciamento do processo automatizado, sendo estes: ATOS (inicialmente utilizado) e RSLOGIX (definido para o projeto final).

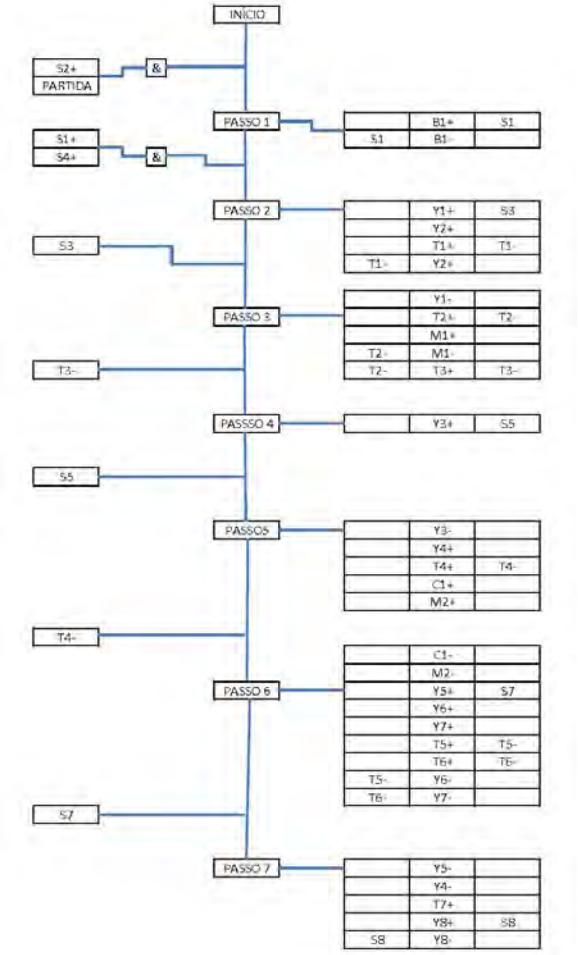


Figura 1. Programação em Grafset

Para a construção da planta virtual usada para ilustrar e demonstrar o sistema proposto foi utilizado um software de CAD 3D chamado Skethup, que proporcionou um ótimo resultado para o entendimento do processo.

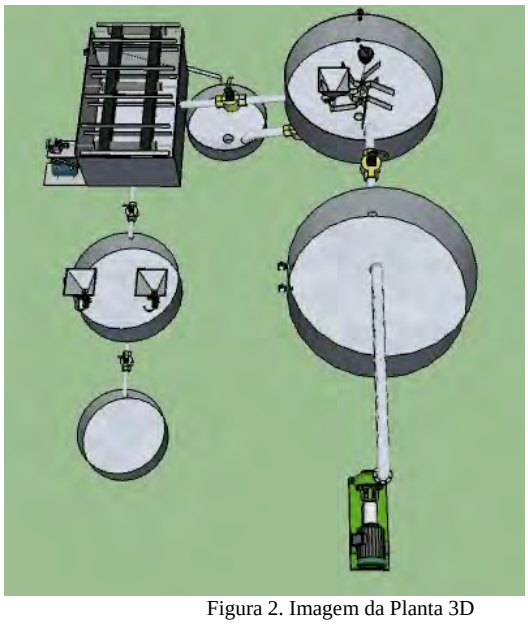


Figura 2. Imagem da Planta 3D

O supervisório de monitoramento do projeto foi implementado no software RSview3.2 da Rockell, em função do CLP pertencer ao mesmo fabricante, facilitando assim a comunicação com o supervisório via estação do operador (computador), A figura abaixo mostra uma perspectiva do mesmo:

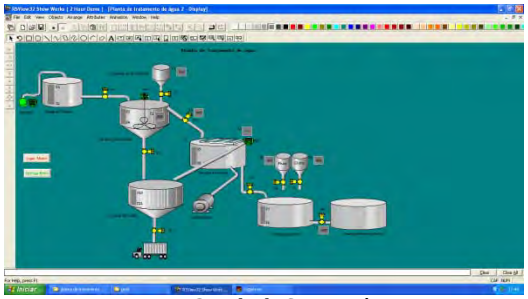


Figura 3. Tela de Supervisório

3.1 Arquitetura Geral

A planta é composta por:

- Tanques coletores;
- Tanque de floculação por sedimentação;
- Tanque de flotação por ar induzido;
- Tanque reservatório de lodo;
- Tanque de tratamento químico;
- Motor misturador;
- Motor (esteira);
- Esteira;
- Compressor de ar
- Reservatórios químicos;
- Temporizadores;
- Sensores de nível;
- Válvulas solenóide;

3.2 Descrição do Processo

3.2.1 Passo 1

O processo é iniciado com o botão de partida acionado e, caso o sensor de nível baixo S2, esteja indicando que o Tanque Coletor TC está vazio, a Bomba de Efluente Bruto B1 será ligada, enviando o efluente bruto para TC, enchendo-o até que o sensor de nível alto S1 seja acionado, desligando assim B1.

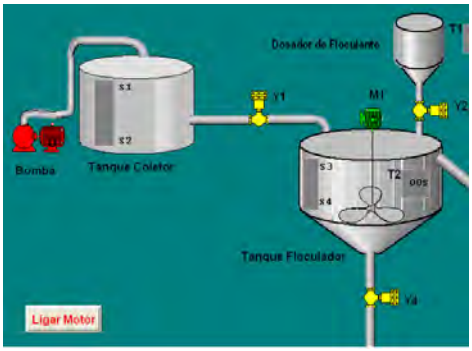


Figura 4. Passo 1

3.2.2 Passo 2

Com o sensor de S4 indicando que o Tanque de Floculação TFLOC está vazio e tendo a indicação ativa do sensor de nível alto S1 de TC, a válvula Y1 será aberta, enviando o efluente bruto para TFLOC. Simultaneamente, Y2 será aberta enviando floculante para TFLOC durante um intervalo de tempo contado por T1, que ao final da contagem, fecha Y2.

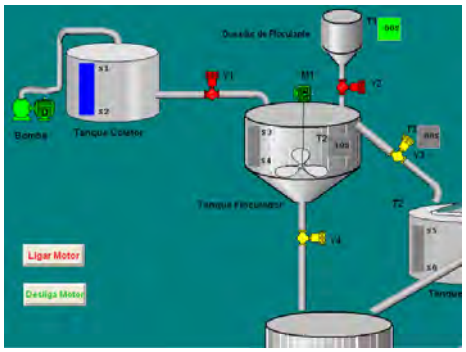


Figura 5. Passo 2

3.2.3 Passo 3

Com a indicação de nível alto S3 em TFLOC, será acionado o Motor do Misturador M1. Simultaneamente, um temporizador T2 será acionado, sendo que ao final de sua contagem, o Motor do Misturador M1 será desligado e o Temporizador T3 será ligado. Este último será responsável pelo tempo de decantação dos flocos formados com a mistura do efluente com o floculante.

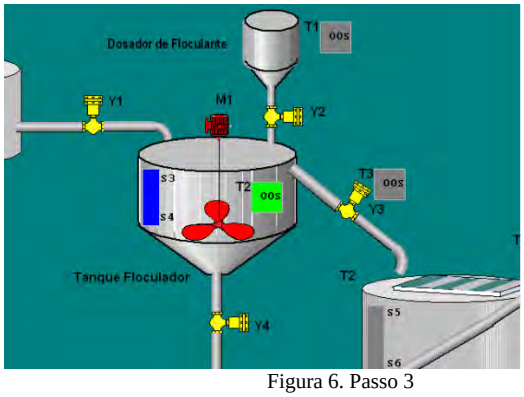


Figura 6. Passo 3

3.2.4 Passo 4

Decorrido o tempo de decantação, T3 acionará Y3, que ao ser aberta, enviará o efluente para o Tanque de Flotação TFLOT.

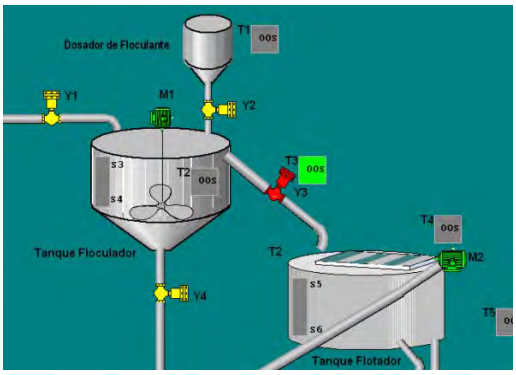


Figura 7. Passo 4

3.2.5 Passo 5

Quando o sensor de nível alto S5 de TFLOT for acionado, Y3 receberá comando para fechar e Y4 receberá comando para abrir, enviando o material decantado para o Tanque de Lodo TL. Além disso, será acionado um Temporizador T4, que dará inicio ao processo de flotação, ligando o Compressor C1 e o Motor da Raspa M2.

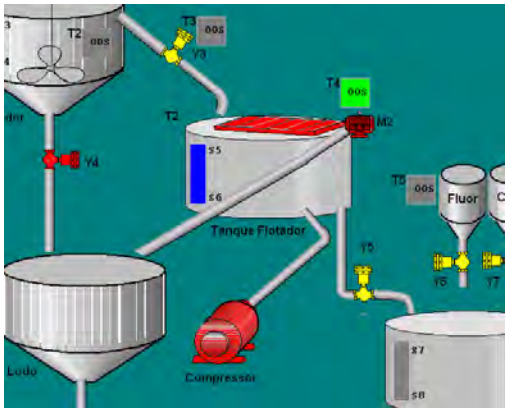


Figura 8. Passo 5

3.2.6 Passo 6

Terminando a contagem de T4, C1 e M2 serão desligados e a Válvula Y5 será aberta, enviando assim o efluente já flotado para o Tanque Químico TQ. Da mesma forma, as Válvulas Y6 e Y7 serão abertas, permitindo a injeção de flúor e cloro em TQ respectivamente. Após isto, serão acionados o Temporizador T5, que ao final de sua contagem fechará Y6, e o Temporizador T6, que da mesma forma fechará Y7.

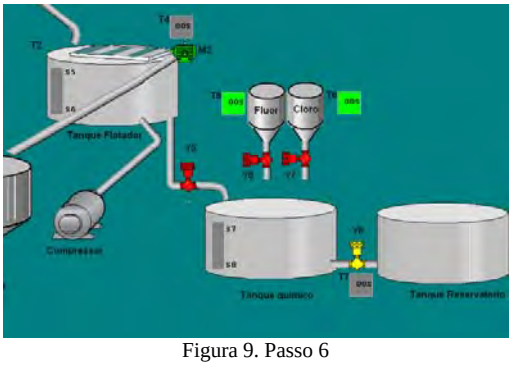


Figura 9. Passo 6

3.2.7 Passo 7

Com o acionamento do sensor de nível alto S7 de TQ, Y5 e Y4 serão fechadas e o Temporizador T7 será acionado para contagem de tempo da ação química. Tendo decorrido sua contagem, Y8 abrirá, drenando o efluente já tratado para um reservatório final, sendo que o Sensor de nível baixo S8 de TQ, fechará Y8, reiniciando assim o processo e ligando a bomba B1.

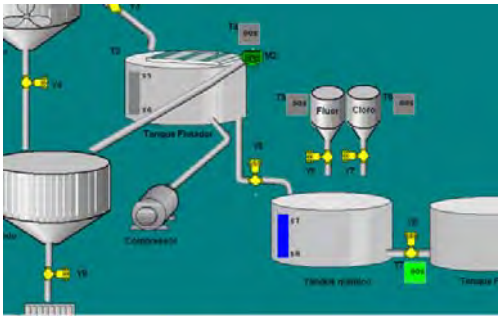


Figura 10. Passo 7

4 RESULTADOS OBTIDOS

A implementação do sistema automático foi desenvolvida utilizando um CLP (Controlador Lógico Programável), e teve a logica de programação baseada na descrição verbal do processo, transcrita para alinguagem Grafsetde programação e, posteriormente, em Ladder e assim implementada no CLP.
A partir do conhecimento adquirido acerca do inventário necessário para a implementação física do projeto, foi possível observar que, seu custo varia em torno de R$20.000,00 a R$25.000,00, dependendo da aplicação a ser considerada, sendo que o valor mensurado é referente ao custo com maquinário, não levantado o custo com mão de obra, necessária para montagem, licenciamento e demais impostos e taxas necessárias para liberação da obra. Para efeitos de cálculos foi estimado um volume de 3.000 litros por batelada.

TABELA 2. ESTIMATIVA DE CUSTO

ITEM	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO	TOTAL POR UN.
1	CAIXA D' ÁGUA	5	R$ 600,00	R$ 3.000,00
2	VÁLVULA SOLÊNOIDE 2"	9	R$ 400,00	R$ 3.600,00
3	SENSOR DE NIVEL TIPO BOIA	10	R$ 45,00	R$ 450,00
4	COMPRESSOR	1	R$ 1.400,00	R$ 1.400,00
5	MOTOR MISTURADOR	1	R$ 570,00	R$ 570,00
6	BOMBA SCHENEIDER	1	R$ 500,00	R$ 500,00
7	MOTOR ESTEIRA	1	R$ 570,00	R$ 570,00
8	CABO PP 2X1.5 mm²	100	R$ 3,00	R$ 300,00
9	CABO PP 3X2.5 mm²	100	R$ 5,00	R$ 500,00
10	CABO PP 4X4 mm²	100	R$ 9,50	R$ 950,00
11	CLP MICROLOGIX	1	R$ 2.000,00	R$ 2.000,00
12	INVERSOR DE FREQUÊNCIA 2CV WEG	1	R$ 600,00	R$ 600,00
13	CONTATOR WEG	6	R$ 55,00	R$ 330,00
14	RELÉ DE SOBRECARGA WEG	4	R$ 25,00	R$ 100,00
15	TANQUE DE FLOTAÇÃO	1	R$ 1.600,00	R$ 1.600,00
16	PAINEL DE COMANDOS ELÉTRICOS	1	R$ 300,00	R$ 300,00
17	TUBO PVC 2" SOLDA TIGRE (VR)	3	R$ 20,00	R$ 60,00
18	MISCELÂNEAS	1	R$ 400,00	R$ 400,00
19	MÃO DE OBRA	1	R$ 5.000,00	R$ 5.000,00
	TOTAL			R$ 22.230,00

5 CONCLUSÃO

O processo de tratamento de águas residuais é bastante extenso e complexo, contudo sua implementação pode ser otimizada reduzindo o custo de construção do projeto sem perder a eficiência do produto final, se houver um estudo detalhado do processo ao qual se destina a aplicação da planta de tratamento, focando na automação de etapas principais do sistema de tratamento e monitoramento constante de suas variáveis.

6 AGRADECIMENTOS

Agradecemos a nossos amigos e familiares pela compreensão e apoio nas inúmeras dificuldades durante os últimos cinco anos e aos companheiros de curso pela troca de experiências.

Referências Bibliográficas

Bazzoli, N. (1993). O Uso da Desinfecção no Combate à Cólera. Apostila da Fundação Nacionalde Saúde – Coordenação Regional de MinasGerais. Recife: FNS/Opas.

Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE (1998). Sistemas de Tratamento de Água. Araracruz.

Leme, E. J. A. (2010). *Manual Prático de Tratamento de Águas Residuais.* 1ª reimpressão, Edufscar.

Tsutiya, M. T. (2006). *Abastecimento de Água.* 3ª edição, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Libâno, M. (2010). *Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água.* 3ª edição, Editora Átomo.

Ferran, Axel Paul Noël de. (2007) A Mineração e a Flotação No Brasil - Uma Perspectiva Histórica. Departamento de Nacional de Produção Mineral - DNPM e Ministério de Minas e Energia.

Massi, Luciana et al. (2008) Fundamentos e Aplicação da Flotação como Técnica de Separação de Misturas. In: Revista Química Nova na Escola, n° 28, p.20-23, mai.

Palmeira, Vito A. A et al. (2009) Tratamento de efluentes da Indústria do coco utilizando os Processos de Coagulação e Flotação por ar Induzido. In: VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, Uberlândia, Minas Gerais.

Pereira, André Rodrigues. (2009) Tratamento Combinado do Efluente Gerado do Processamento de Óleo de Xisto. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro.

Penna, Ronaldo, et al. (2003) Estudo comparativo entre dois sistemas de aeração de coluna de flotação. In: Revista. Esc. Minas, v.56, no 03, Ouro Preto. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/rem/v56n3/v56n3a09.pdf

Pioltine, Andre e Reali, Marco Antonio Penalva. (2011) Emprego de bomba multifásica como unidade geradora de microbolhas de ar em sistema de flotação aplicado ao pré- tratamento de efluente têxtil. In: Eng. Sanit. Ambient. vol.16, no 02, RJ. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/esa/v16n2/v16n2a10.pdf

Reis, E. M. dos e Nozaki,J. Tratamento Biológico de Efluentes de Indústrias de Papel Após Floculação e Coagulação com Sais de Alumínio e Polieletrólitos Naturais. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/babt/v43n1/v43n1a16.pdf.

Estudo comparativo entre dois sistemas de aeração de coluna de flotação. In: Rem: Rev. Esc. Minas v.56 n.3 Ouro Preto jul. 2003. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/rem/v56n3/v56n3a09.pdf

Reciclagem de aminas na flotação de minério de ferro. In: Rem: Rev. Esc. Minas v.61 n.4 Ouro Preto out./dez. 2008. Disponível em:http://www.scielo.br/pdf/rem/v61n4/v61n4a08.pdf

Emprego de bomba multifásica como unidade geradora de microbolhas de ar em sistema de flotação. Eng. Sanit. Ambient. vol.16 no.2 Rio de Janeiro abr./jun. 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/esa/v16n2/v16n2a10.pdf

Departamento Autônomo de Água e Esgoto – DAAE. Estações de Tratamento de Água (ETA): http://www.daaeararaquara.com.br/eta.htm

Tratamento de Doenças Cardiovasculares com a utilização de Células-Tronco

Larissa Mayra Silva Ribeiro
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
larissa.ribeiro@geb.inatel.br

Lilian de Oliveira Nunes
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
lilian@inatel.br

***Abstract*— This work aims to study some methods and effectiveness of using stem cells in the treatment of cardiovascular diseases, since these issue affect millions of people around the world. The use of stem cells has been an effective and noninvasive method of treatment, apart from being highly promising for regenerative medicine, since the possibilities for improvement are endless and the risk of rejection is minimal.**

***Resumo*—O presente trabalho tem como finalidade estudar alguns métodos e a eficácia da utilização de células-tronco no tratamento de doenças cardiovasculares, visto que estas acometem milhões de pessoas em todo o mundo. O tratamento com o uso dessas células tem sido um método de eficaz e não invasivo para essas doenças, além de ser altamente promissor para a medicina regenerativa, dado que as possibilidades de melhora são infinitas e o risco de rejeição é mínimo.**

***Palavras chave*— células-tronco, doenças cardíacas, método não-invasivo, regeneração.**

I. Introdução

O coração é um órgão vital constituído por fibras ramificadas e por células ligadas entre si pelos discos intercalares, que fazem a conexão elétrica entre todas as células do corpo. Formado pelo miocárdio, o coração tem função de bombear sangue, tanto para os pulmões - onde recebe oxigênio e deposita gás carbônico e excretas celulares - como também para todas as células existentes no corpo humano.

Dividido em quatro cavidades, - dois átrios e dois ventrículos (ambos direito e esquerdo) o coração possui estímulos elétricos involuntários, pois são gerados espontaneamente e ritmicamente devido a características das suas próprias fibras. Esses estímulos se propagam entre as fibras fazendo com que o coração entre em sístole ou diástole.
Embora o sistema nervoso controle seu ritmo e atividade cardíaca, ele é incapaz de desencadear os estímulos elétricos, tornando o coração um órgão funcionalmente autônomo. Sua atividade elétrica é propagada devido aos estímulos causados nos nodo Sino-Atrial e Sino-Ventricular, sendo o primeiro denominado como marca-passo natural do coração.

Posto que o coração seja um órgão extremamente eficiente, durável e confiável, existem diversas patologias que afetam seriamente suas funções.

As doenças cardíacas são definidas como qualquer tipo de distúrbio que obstrua a circulação sanguínea e que provoque um mau funcionamento do órgão apresentado.

Os fatores de riscos são as condições ou hábitos que agridem o miocárdio ou até mesmo as artérias. A probabilidade de ocorrência de doenças cardiovasculares é dada por diversos fatores, incluindo hipertensão arterial, tabagismo, colesterol alto, sedentarismo, obesidade e até mesmo o estresse.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde, 17,3 milhões de pessoas no mundo são diagnosticadas com doenças cardiovasculares e em cerca de 90% dos casos, é necessário submeter os pacientes ao transplante de coração. Como a fila de transplante é imensa, muitos desses pacientes chegam a falecer sem receber o tratamento necessário.

Uma vez que a situação é alarmante, cientistas de todo o mundo desenvolvem pesquisas relacionadas ao tratamento de doenças cardíacas utilizando células-tronco, vistas como um grande potencial, dado que sua utilização reduz drasticamente os riscos de rejeição, pois são retiradas do próprio paciente e também pelo método se apresentar não invasivo.

II. Células - Tronco

A célula é a unidade básica da vida. É a unidade estrutural e funcional de todos os seres vivos. Células -Tronco são células com capacidade de auto-renovação. Podem se reproduzir muitas vezes e possuem diferenciação em diversas categorias funcionais de células.

Estas podem ser programadas para desenvolver funções especificas, uma vez que se encontram num estágio onde ainda não estão totalmente especializadas. Quando se dividem, podem formar qualquer uma dos 220 tipos diferentes de células existentes no corpo humano.

O fundamento da terapia celular parte da regeneração pós – natal, recuperando tecidos ou parte deles com a utilização de células-tronco. Hoje uma variedade de células-progenitoras adultas estão em avaliação clinica, todas autólogas (células

Manuscrito recebido em 10 de fevereiro de 2013; revisado em 29 de março de 2013.

L. M. S. Ribeiro (larissa.ribeiro@geb.inatel.br) e L. O. Nunes (lilian@inatel.br) pertencem ao Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel. Av. João de Camargo, 510 - Santa Rita do Sapucaí - MG - Brasil - 37540-000.

coletadas da medula do próprio paciente), o que evita a rejeição tecidual e a necessidade de imunodepressão. [1][2]

Após serem transplantadas na parede miocárdica, as células-tronco iniciam a produção de fatores de crescimento reparadores, objetivando a produção, localmente, de fatores de crescimento e citocinas (proteínas secretadas pelas células específicas do sistema imunológico que transmitem sinais localmente entre células e, assim, terem um efeito em outras células). Além disso, elas podem suprimir a inflamação local e repor as células danificadas.

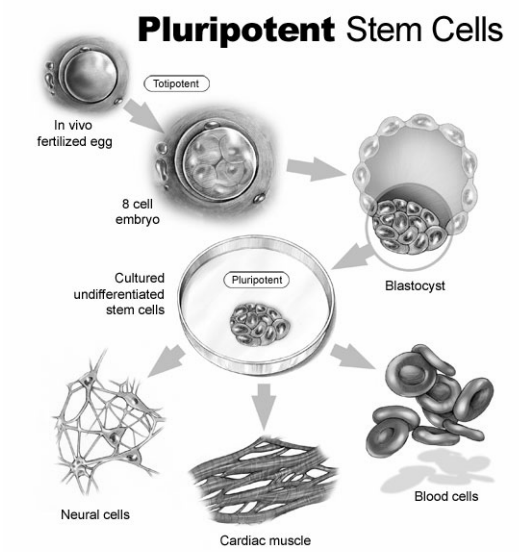


Fig. 1. Células-Tronco e algumas de suas versatilidades: células neurais, músculo cardíaco, células do sangue.

III. CÉLULAS-TRONCO E SEU EFEITO TERAPÊUTICO

Entre as diversas patologias do sistema cardiovascular, foram escolhidas para o desenvolvimento dessa pesquisa apenas quatro delas: Infarto Agudo do Miocárdio, Doença de Chagas, Angina e Insuficiência Cardíaca.

A. Infarto Agudo do Miocárdio (IAM)

O Infarto Agudo do Miocárdio ocorre por obstrução de fluxo sanguíneo das artérias coronárias para o coração, resultando em necrose da parede miocárdica.

Um primeiro estudo realizado, após a injeção de células-tronco em pacientes que sofreram IAM, mostrou que os pacientes avaliados mostraram melhora expressiva no débito cardíaco, volume sistólico final do ventrículo esquerdo, contratilidade miocárdica e perfusão miocárdica da região infartada.

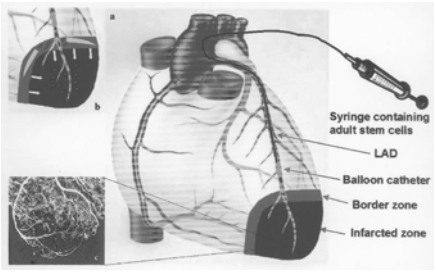


Fig. 2. a, Procedimento de transplante de células em infarto do miocárdio em seres humanos. Um cateter com um balão é colocado dentro da artéria relacionada à área de infarto. Em seguida a suspensão de células é infundida a alta pressão. b, Deste modo, as células são transplantadas na zona infartada (pontos vermelhos). As setas azuis e brancas sugerem a possível rota de migração. c, Verifica-se a existência de fluxo sanguíneo dentro da zona infartada. Assim, as células implantadas podem alcançar tanto a fronteira da zona de infarto e a zona infartada.

B. Doença de Chagas

A doença de Chagas é caracterizada por uma destruição progressiva do miocárdio por uma resposta inflamatória que leva à cardiomegalia e ao mau-funcionamento do coração.

O tratamento com células-tronco, como qualquer outro, não funciona sempre. Contudo, seu índice de sucesso chama a atenção, sobretudo quando se leva em consideração que, caso nada tivesse sido feito, não haveria esperança para nenhum paciente.

A doença de Chagas não tem cura e os medicamentos hoje disponíveis ainda são tóxicos.

Estudos realizados com pacientes chagásicos com insuficiência cardíaca (graus III e IV) foram selecionados.

Constatou-se que o tratamento com as células-tronco reduziram a inflamação que existe no coração de pacientes portadores de Doença de Chagas além de diminuem a fibrose (cicatriz que envolve o músculo cardíaco dos pacientes). Também houve melhoras no bombeamento de sangue e nas alterações do eletrocardiograma.

C. Angina

A angina do peito ocorre quando o miocárdio não recebe a quantidade de sangue e oxigênio necessários para seu funcionamento, sendo que as necessidades de oxigênio no coração são estabelecidas pelo seu grau de esforço, ou seja, intensidade e freqüência de batimentos cardíacos. Esse processo é conhecido como Isquemia Miocárdica ou Coronariana.

Assim, as coronárias que possuem algum estreitamento, não podem suprir a necessidade de oxigênio devido ao pouco fluxo sanguíneo, causando assim as crises de anginas no peito.

Os resultados do estudo feito em pacientes diagnosticados com Angina demonstraram que o procedimento pode beneficiar pacientes com angina refratária, que não são adequados para uma revascularização convencional do miocárdio e mostrar os sinais da angina em repouso, apesar da terapia médica.

Além disso, os sintomas melhoraram em todos os pacientes submetidos ao processo, sugerindo que o efeito foi sustentado, e não passageiro. Conseqüentemente, a porcentagem de isquemia miocárdica mostrou uma tendência decrescente em última análise, atingindo significância em 12 meses.

Metade dos pacientes deixou de sentir dor, nos outros só apareceu quando foi feito muito esforço físico. Em 80% dos pacientes, o fluxo sanguíneo da área ficou normalizado.

D. Insuficiência Cardíaca (IC)

Insuficiência cardíaca é causada por qualquer condição que reduz a eficiência do miocárdio, ou músculo do coração, através de dano ou sobrecarga. Como tal, pode ser causada por uma matriz diversificada como de condições como infarto do miocárdio (em que o músculo cardíaco é privado de oxigênio e morre), hipertensão (o que aumenta a força de contração necessária para bombear o sangue) e amiloidose (em que a proteína é depositada no músculo cardíaco, fazendo com que este fique rígido).

Estudos clínicos com pacientes diagnosticados com IC e que foram submetidos ao transplante de células-tronco mostraram que após 5 anos e 3 meses de acompanhamento, os pacientes apresentaram uma melhoria significativa da contração do ventrículo esquerdo, capacidade de exercícios e qualidade de vida. Houve também uma diminuição significativa da mortalidade anual nos pacientes. Concluiu-se que o tratamento com células-tronco melhorou o desempenho do ventrículo esquerdo, qualidade de vida e sobrevida em pacientes com IC. Não foram observados efeitos colaterais.

IV. CONCLUSÕES

O principal objetivo para o desenvolvimento deste projeto foi buscar técnicas existentes e apresentar, dentre elas, uma técnica eficiente no desenvolvimento de células do corpo humano, a partir de células-tronco, para transplantá-las em os corações doentes, com o objetivo de tornar este órgão saudável novamente. As estatísticas mostram que a incidência de doenças cardíacas no mundo todo é devastadora, e na maioria das vezes, muitos dos pacientes não podem ou seu estado clínico não suporta esperar por transplante ou pelo tratamento adequado para tratar sua patologia.

A terapia celular, ainda nos seus passos iniciais, tem como objetivo dar respostas a questões básicas como contexto clínico ideal para o tratamento, tipo celular de escolha, dose e freqüência de tratamento e via de escolha para administração das células-tronco, as quais ainda não foram totalmente esclarecidas.

Assim, a medicina regenerativa vem ganhando seu destaque como uma nova medida de tratamento e, com isso, não só doenças cardíacas, mas também outras patologias que estão sendo estudadas poderão ser tratadas aumentando a esperança de que pode haver regeneração do tecido lesionado e reversão do caso clínico diagnosticadas.

REFERÊNCIAS

[1] Mathur A, Martin JF. Stem cells and repair of the heart. The Lancet 2004;364:183-92

[2] Dimmeler S, Zeiher A and Schneider MD. Unchain my heart: the scientific foundations of cardiac repair. J ClinInvest 2005;115:572-583.

[3] SOUZA, C. F.; NAPOLI. P.; HAN, S. W.; LIMA, V. C.; CARVALHO, A. C. C.: Células-Tronco Mesenquimais: Células Ideais para a Regeneração Cardíaca?, 2000. Disponível em: <http://www.rbci.org.br>. Acesso em: 25 fev.2012,19:30:00.

[4] American Heart Association. Heart and Stroke Statistics – 2003. Update. http://www.americanheart.org.

[5] Angelini A, Castellani C, Vescovo G, Thiene G. Pathological evidence of stem cell regeneration in the heart. Int Journal of Cardiol 2004;96:499-504.

[6] Dippe, T. J.: Tratamento da insuficiência cardíaca com injeção de células-tronco. Disponível em: <http://portaldocoracao.uol.com.br>. Acesso em: 25 fev. 2012, 21:50:00.

[7] Fisiopatologia da insuficiência cardíaca. Disponível em: <http://www.news-medical.net>. Acesso em: 25 fev. 2012, 21:50:00.

Potencialidade de fungos filamentosos em degradar gasolina

Francisco Eduardo de Carvalho Costa

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
costafec@yahoo.com.br

Gabriela Pereira Moreira

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
gabrielapm_srs@hotmail.com

Itamar Soares de Melo

Embrapa Meio Ambiente
itamar@cnpma.embrapa.br

Resumo: **A gasolina e seus constituintes representam um potencial risco ao meio ambiente, contaminando solos e às águas subterrâneas. Este estudo teve por objetivo a bioprospecção de fungos filamentosos provenientes de manguezais capazes de consumir ou degradar compostos presentes na gasolina como hexano e BTEX (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos). Observou-se uma grande incidência de isolados aptos a crescerem na gasolina como fonte de carbono, em especial no hexano.**
Palavras-chave: **Biorremediação, Fungos, gasolina.**

Abstract: **Gasoline and its constituents represent an environmental potential risk, contaminating soil and groundwater. This study aimed to bioprospecting filamentous fungi from mangroves able to consume or degrade compounds present in gasoline as hexane and BTEX (Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylenes). There was a high incidence of strains able to grow on gasoline as the sole carbon source, especially in hexane.**
Key-words: **Bioremediation, Fungi, gasoline.**

I. Introdução

O uso crescente de derivados do petróleo gera uma grande preocupação com os casos de contaminação do solo e água pelos hidrocarbonetos constituintes destes produtos, como os presentes na gasolina. Dentre aqueles que apresentam potencial risco à saúde humana e ao meio ambiente ressalta-se a importância de compostos altamente tóxicos e capazes de bioacumular ao longo da cadeia trófica [1].

A contaminação de solos e águas por hidrocarbonetos pode ocorrer desde a produção e comercialização do petróleo e de seus derivados. Este padrão de contaminação tem sido frequentemente observado associado a vazamentos de tanques de armazenamento subterrâneos em postos de combustíveis [2]. Levantamento realizado no Estado de Minas Gerais no ano de 2009, listou 413 áreas contaminadas, sendo que 88% destas apresentavam-se relacionadas ao segmento de postos de combustíveis [3].

F. E. C. Costa (costafec@yahoo.com.br) e G. P. Moreira (gabrielapm_srs@hotmail.com) pertencem ao Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel. Av. João de Camargo, 510 - Santa Rita do Sapucaí - MG - Brasil - 37540-000.

Na constituição da gasolina os hidrocarbonetos monoaromáticos, benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX) apresentam uma grande solubilidade em água, podendo mover-se rapidamente no solo e atingir os corpos d´agua subterrâneas [4]. Outro composto encontrado na gasolina tem sido o hexano [5].

Em casos de contaminações de solos ou águas, a legislação brasileira exige que estas áreas sejam remediadas, o que representa um alto custo para a empresa contaminante [6]. A redução dos custos de remediação pode ser obtida por processos biológicos baseados em metodologias mais simples e menos agressivas [7].

O uso de microrganismos para a remoção ou neutralização de compostos potencialmente tóxicos ao ambiente e ao ser humano é conhecido como biodegradação. Este ocorre em populações microbianas de áreas sujeitas a contaminação por petróleo ou derivados [8].

A aplicação dos microrganismos biodegradadores tem potencial nos processos de biorremediação, o que é uma estratégia que emprega agentes biológicos para degradar poluentes em ambientes contaminados [9].

O presente trabalho teve como determinar a capacidade de biodegradação da gasolina e derivados de fungos filamentosos provenientes de manguezais.

II. Material e métodos

A. Material e métodos

A.1. Obtenção das Amostras

Os isolados fúngicos provenientes de manguezais do Estado de São Paulo foram retirados da coleção microbiológica da Embrapa Meio Ambiente.

A.2. Suspensão de esporos

Após o crescimento do fungo em meio agar extrato de malte 2% , transferiu-se, com o auxílio de uma alça em "L" um fragmento de colônia esporulada para um tubo de centrífuga (falcon) estéril contendo 2mL de solução a 0.05% de Tween 80 em água, seguido de agitação por 5 minutos.

Com o auxílio de contagem em camara de NewBauer prepararou-se uma suspensão de esporos na concentração de $1x10^6$ esporos/ml.

A.3. Crescimento em meio mínimo com hidrocarbonetos

Inoculou-se 100 μL de suspensão de esporos a $1x10^6$ esporos/ml em 1 mL de meio mínimo (adaptado [10]) suplementado com a fonte de carbono de interesse (gasolina comercial – mistura de diferentes marcas, hexano PA, xileno PA e tolueno PA), em tubos com tampa rosqueavel com vedação. Incubou-se a 25ºC com monitoramento diário por até 15 dias. Os testes foram realizados em quintuplicata assim como o branco (não inoculado).

A.4. Avaliação do crescimento com cloreto de 2,3,5-trifeniltetrazólioTTC

Os tubos que apresentaram sinais visíveis de crescimento foram testatdos na presença do TTC [11]para verificar se ocorreu crescimento significativo ou não.

A.5. Análise estatística dos dados

Efetuou-se a ANOVA e o teste de médias Tukey, a 0,05 de probabilidade no software R.

B. Resultados

Foi observado o crescimento de 70% dos isolados testados em gasolina como única fonte de carbono assim como todos estes cresceram em hexano e apenas 25% dos isolados testados cresceram em xileno. Nenhum dos isolados testados cresceu em tolueno (Tabela 1).

Isolado	Código de origem	Crescimento			
		Gasolina	Hexano	Xileno	Tolueno
Penicillium sp	BACP35A	+	+	-	-
Penicillium sp	BACP37	+	+	+	-
Penicillium sp	BACP38	+	+	-	-
Penicillium sp	BACP39	+	+	+	-
Trichoderma sp	BACP51	+	+	+	-
Penicillium sp	BACP52	+	+	+	-
Penicillium sp	BACP53	+	+	-	-
Penicillium sp	BAFP25	-	-	-	-
Penicillium sp	BAFP37	+	+	-	-
Penicillium sp	BAFP55	-	-	-	-
Penicillium sp	RMF10	+	+	+	-
Paecilomyces sp	RMF14	-	-	-	-
Microsporum sp	RMF17	-	-	-	-
Pestalotiopsis sp	RMF22	-	-	-	-
Paecilomyces sp	RMF27	+	+	-	-
Trichoderma sp	RMF3	+	+	-	-
Trichoderma sp	RMF30	-	-	-	-
Chrysosporium sp	RMF33	+	+	-	-
Trichoderma sp	RMF4	+	+	-	-
Trichoderma sp	RMF4'	+	+	-	-

Obs.: os resultados assinalados com o sinal + apresentam diferença estatística do branco (não inoculado).

Tabela 1 – Crescimento dos isolados fúngicos em meio mínimo suplementado com diferentes hidrocarbonetros.

C. Discussão

Ao contrário do relatado na literatura observamos o crescimento dos fungos em meios onde os hidrocarbonetos eram as únicas fontes de carbono. Isto contradiz a proposição que fungos não assimilam os hidrocarbonetos como a única fonte de carbono e energia, mas exigem cometabolismo para desintoxica-los [12]. O raciocínio mais adequado aos resultados observados no presente estudo pode ser entendido com base na descrição que relata que os fungos podem iniciar quebrando ou modificando os hidrocarbonetos, ainda que não apresentem crescimento, pois precisam que ocorra uma conversão parcial que pode estar ocorrendo na presença de um substrato alternativo (uma fonte de carbono e energia). Este substrato alternativo pode ser o extrato de levedura, ainda que presente em quantidade demasiadamente baixa no meio de cultivo [13].

A porcentagem de isolados com potencial para biodegradar gasolina assemelha-se ao já observado em estudos, nos quais se obtiveram 75% das linhagens testadas com capacidade para degradar hidrocarbonetos de petróleo. Os mesmo observaram esta capacidade em fungos dos gêneros *Penicillium* e *Paecilomyces* assim como no presente estudo [14].

Fungos do gênero Trichoderma tem sido relatados como potenciais agentes de biorremediação. Em efluentes industriais observa-se que os fungos dos gêneros *Aspergillus, Trichoderma, Mortierella, Penicillium, Paecilomyces, Fusarium, Trichosporon, Cladosporiumm, Mucor e Rhizopus* são comumente isolados e apresentam potencial para a biodegradação [15]. Ou de solos contaminados por petróleo [16].

Assim como trabalho supracitado [16], observamos no presente estudo uma maior utilização dos hidrocarbonetos

saturados (hexano) e uma menor degradação nos hidrocarbonetos aromáticos (xileno e tolueno).

Nenhum dos isolados testados apresentou crescimento em meio suplementado com tolueno ainda que esta capacidade seja relatada para fungos do gênero *Paecilomyces* [17], *Penicillium* [18; 19] e *Trichoderma* [19].

III. Considerações futuras

Na próxima etapa deste estudo será utilizado o indicador 2,6-diclorophenol-indofenol para avaliar o tempo de oxidação biológica indicadora da biodegradação, verificando quais fungos promovem a oxidação biológica, o tempo para esta ocorrência e a eficácia comparativa dos consórcios em relação aos melhores isolados separadamente.

IV. Conclusões

Diante dos resultados obtidos é possível propor o uso dos isolados que fazem uso de mais de um dos constituintes da gasolina para processos de degradação de hidrocarbonetos sendo de grande importância estudos posteriores visando a melhoria do processo para uma futura utilização comercial destes fungos.

Referências

[1] E. R. L. Tiburtius et al (2004). Contaminação de águas por BTXs e processos utilizados na remediação de sítios contaminados**.** *Química Nova*, v. 27, p. 441 - 446.

[2] L. Fatorelli. "Proposta de avaliação de risco ecológico para contaminações de petróleo e derivados – estudo de caso" (Dissertação), Universidade Federal de Santa Catarina (Mestrado em Engenharia Ambiental), 2005.

[3] Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM. Brasil, 2010. Disponível em: www.feam.com.br.

[4] Mariano, A. P. "Avaliação do potencial de biorremediação de solos e de águas subterrâneas contaminados com óleo diesel" (Tese), UNESP. Rio Claro, (Doutorado em Geociências e Ciências Exatas), 2006.

[5] W. B. Braga Junior. "Recuperação de Hidrocarbonetos Voláteis de correntes gasosas por Permeação de Vapor" (Dissertação), Universidade Federal do Rio de Janeiro (Engenharia Química), 2007.

[6] Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB. Brasil, 2010. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br.

[7] M. Mathew et al (2006). Bioremediation of diesel-contaminated Mainland soil in Singapore; comparison of different biostimulation and bioaugmentation treatments. *Engineering Life Science*, v. 6, n. 1, p. 63-67.

[8] Tapajós, P. B. A. et al. "Estudo da mobilidade e da biodegradação de um óleo mineral em solos" (Dissertação), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (Engenharia Civil), 2008.

[9] L. E Nakagawa; M. M. Andréa. (2006). Efeito de alterações nas características do solo sobre a degradação de hexaclorobenzeno. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, p. 575-582.

[10] H. Asthana; A. E. Hwmphbey; V. Moritz (1971)**.** Growth of Yeast on Methanol as the Sole Carbon Substrate. *Biotechnology and Bioengineering*, vol. XIII. ISSUE 6, 923-929

[11] Praveen-Kumar, J. C. Tarafdar (2003) 2,3,5-Triphenyltetrazolium chloride (TTC) as electron acceptor of culturable soil bacteria, fungi and actinomycetes. *Biology and Fertility of Soils*. vol 38, Issue 3, pp 186-189.

[12] R. P. Casillas et al. Initial oxidative and subsequent conjugative metabolites produced during the metabolism of phenanthrene by fungi. *J. Ind. Microbiol***.** v.16, p. 205–215,1996.

[13] Singleton, I. Fungal remediation of soils contaminated with persistent organic pollutants. *In* G.M. Gadd (ed.) *Fungi in bioremediation*. v. 23, p. 79 – 96, 2001.

[14] F. S. M. Araújo; J. L. S. Lemos. "Isolamento e identificação de fungos degradadores de petróleo", (Resumo expandido em anais de concresso), in *X Jornada de Iniciação Científica, Centro de Tecnologia Mineral*. Rio de Janeiro**,** 2002, p. 2-8.

[15] V. L. Santos; V. R. Linard. (2004). Biodegradation of phenol by a fi lamentous fungi isolated from industrial effl uents - identifi cation and degradation potential. *Process Biochemistry*, v. 39, p. 1001-1006.

[16] F. Chaillan et al. (2004). Identification and biodegradation potential of tropical aerobic hydrocarbon-degrading microorganisms. *Research in Microbiology*, v. 155, p. 587-595.

[17] I. Garcia-Peña et al. (2008). Biofi ltration of BTEX by the fungus *Paecilomyces variotii. International Biodeterioration & Biodegradation, v.* 62, n. 4, p. 442-447.

[18] N. A. Sinclair, C. M. Herring (1975) Isolation of Penicillium corylophium Dierckx from acid mine water and its optimal growth on hydrocarbons at acid pH. *Mycopathologia* 1975, Volume 57, Issue 1, pp 19-22

[19] S. Bhuvaneswari; A. G. Deepa Priya; A. R. Dhayananda Shakar; C.S. Sharath Kumar; M. Gopinath; R. Dhanasekar. (2012) A Comparative Study on Removal of Toluene by Batch Reactor using Different Fungal Culture Isolated from Municipal Sewage Water. *Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science*, Vol. 2, No. 1, March 2012, 25-29.

Sistema de deambulação para pessoas com deficiências visuais

Diego A Souza
dsilva@gee.inatel.br
Instituto Nacional de Telecomunicações

Fabiano Valias de Carvalho
fabiano@inatel.br
Instituto Nacional de Telecomunicações

Isabel Francine Mendes
isabelfrancine@geb.inatel.br
Instituto Nacional de Telecomunicações

Leonardo Cesar Gontijo
leonardo@oftalmologica.com.br
Santa Casa de Belo Horizonte

Resumo: **Esse projeto visa o aperfeiçoamento do Sistema de Sensores de auxilio à deambulação de pessoas com deficiências visuais proposto pelo oftalmologista Dr. Leonardo Gontijo da Santa Casa de Belo Horizonte. A inovação tecnológica será desenvolvida e produzida no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva (CDTTA) do INATEL em Santa Rita do Sapucaí, agregando valor ao município e ao estado.**

Palavras-chave**: Sensores, deficientes visuais,**

Abstract: **This project aims at improving the sensor system to aid in walking of visually impaired proposed by ophthalmologist Dr. Leonardo Gontijo from Santa Casa of Belo Horizonte – MG. This technology innovation will be developed and produced at the Center for Development and Transfer of Assistive Technology of INATEL in Santa Rita do Sapucaí – MG, adding value to the municipality and state.**

INTRODUÇÃO

A tecnologia proporciona o desenvolvimento e a facilidade da realização de atividades nas mais diversas áreas do conhecimento. Na última década, o crescente avanço, especialmente relacionado à área da saúde, tem influenciado fortemente na melhoria da qualidade de vida da população, em especial de indivíduos com deficiência, sustentado pelas crescentes iniciativas de inclusão e garantia de acessibilidade desses indivíduos. No Brasil, os diversos movimentos sociais organizados em prol da condição e de direitos das pessoas portadoras de deficiência remetem-se a menos de três décadas. Nesse período, houve avanços significativos que constituem um patamar mínimo de visibilidade social. No entanto permanecem ainda obstáculos que mantêm a exclusão das pessoas portadoras de deficiência, com relação a uma vida independente, autossustentada e plena.

Com o objetivo de minimizar uma série de situações que frequentemente dificultam a locomoção das pessoas com deficiências visuais, este artigo apresenta o protótipo de um dispositivo (idealizado pelo oftalmologista Dr. Leonardo Gontijo) capaz de informar ao usuário a aproximação de obstáculos naturais ou artificiais que se encontram na altura da cabeça como telefones públicos, janelas, marquises, entre outros.

Com esse novo projeto, realizado no CDTTA, a expectativa é que as pessoas com deficiências visuais possam se locomover com maior segurança, comodidade, discrição e principalmente alcançar seus objetivos como qualquer pessoa tida como “normal” e acima de tudo ter o que almejam, que é a dignidade, cidadania, emprego e respeito.

METODOLOGIA

Materiais utilizados

Os materiais utilizados foram:
Pilha alcalina de 9 volts
Circuito regulador para 5 volts;
Sensor ultrassônico;
Óculos de segurança;
LM 324 (Amplificador Operacional);
CI regulador 7805;
Resistores;
Buzzer: Possui oscilador astável com o CI 555 para acionamento do mesmo.

Descrição do Funcionamento

O projeto inicial montado e em fase de teste funciona da seguinte maneira:

A saída analógica do sensor ultrassônico LV MaxSonar EZ1 é ligada em comparadores de níveis feitos com amplificadores operacionais. A saída do sensor fornece um valor de tensão de acordo com a distância, ou seja, aproximadamente 9.8mv/polegadas, alimentado com 5V. Um amplificador não inversor de ganho 2.6 é utilizado para linearizar a tensão do pino analógico do sensor, desta forma, a tensão obtida varia de acordo com a distância linearmente, ou seja, 1metro -1 v, 1.5metro -1.5 v e assim sucessivamente.

Essa variação de tensão é acoplada em um circuito detector de nível sem histerese que possibilita o acionamento de um motor de vibração. Nos testes iniciais foram utilizados leds, mas no decorrer do projeto, as saídas foram usadas pra acionar um motor, que gira de acordo com os níveis detectados (2m, 1.5m e 1m).

Ao ser detectado um objeto a 2 metros a vibração é menos potente e gradativamente vai aumentando à medida que o usuário se aproxima do obstáculo.

Todo o circuito é alimentado com 5V gerados a partir de um CI 7805. Essa tensão foi escolhida por margem de

segurança com relação à queda e desgaste da tensão da bateria que inicialmente é 9V, mas que vai descarregando após o funcionamento constante.

O protótipo final dos óculos é formado pelo suporte contendo o circuito (já descrito anteriormente), uma bateria de 9v e um motor de vibração (que poderá ser acoplado num dos braços da pessoa com deficiência) e também o óculos que contem o sensor. Abaixo, o primeiro protótipo:

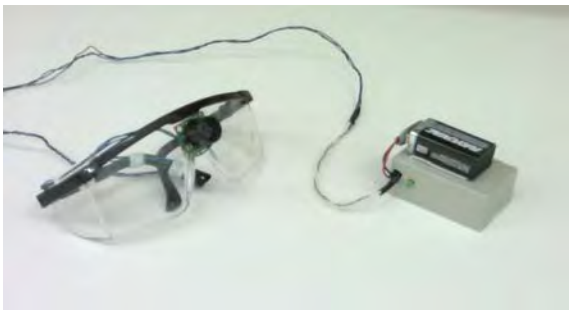


Figura 1: Primeiro protótipo

TRABALHOS EM DESENVOLVIMENTO

No CDTTA também será desenvolvido um dispositivo dotado de sensores (o mesmo dos óculos) acoplado à roupa da pessoa com deficiência. Este dispositivo tem a mesma função dos óculos que é a sinalização da aproximação de objetos e/ou obstáculo, sejam próximos aos braços, tronco ou pernas. Sua finalidade é a substituição da bengala e do cão guia.

Tanto o hardware quanto o software do equipamento (programação em C) serão desenvolvidos no CDTTA, contando com a ajuda do oftalmologista.

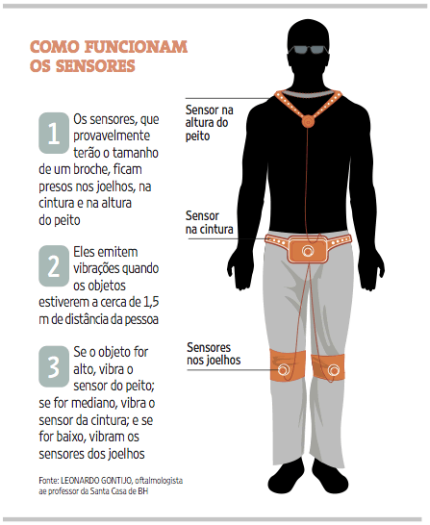


Figura 2: Protótipo idealizado por Leonardo Gontijo

RESULTADOS

Os resultados esperados ao final do projeto são o aperfeiçoamento do equipamento existente, o uso de componentes de baixo custo, interesse das indústrias na produção de larga escala a baixo custo, substituição dos meios tradicionais (bengala, cão guia) por essa nova tecnologia, melhora significativa da qualidade de vida das pessoas com deficiências visuais e incremento do processo de inovação no Estado de Minas Gerais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Fapemig pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

[1] Organização das Nações Unidas – ONU

[2] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE

[3] GABRILLI, M. Manual de Convivência - Pessoas com Deficiência e Mobilidade Reduzida - 2a. Edição, ampliada e revista. Company S.A. Disponível em http://www.ebah.com.br/content/ABAAABXwwAH/manual-convivencia-pessoas-com-eficiencia (acessado em 04/06/2011).

[4] Secretaria de Estado dos Direitos da Pessoa com Deficiência - Governo do Estado de São Paulo.

[5] CARNIER, J.B.S., FERRARI, J.V., AGUIAR, M.G.S., SOUZA, J.M.S. e JÚNIOR, A.A.F. (2008) “Sistema de Orientação para Deficientes Visuais com Sensores Ultra-sônicos., In: *XX Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica do INATEL*.Santa Rita do Sapucaí, p. 1-6.

[6] BÜHLER, G. Protótipo de sonar móvel para robô de combate na modalidade sumô de robô.Trabalho de conclusão de curso. Universidade Freevale. Nova Hamburgo, novembro de 2011.

[7] SILVA, P. V. S., FRESSATTI, W. CADV – Capacete de apoio para deficientes visuais. Universidade Paranaense (UNIPAR) Paranavaí – PR.

[8] SILVA, F. A. O., AOKI, C. S. Desenvolvimento de um robô autônomo que desvia de obstáculos – RADO. Centro Universitário Sant’anna Faculdade de Engenharia da Computação. São Paulo, 2008.

[9] GONZATTO, A., SANTOS, C., MELO, F.C., RODRIGUES, G., Faria, J. R., KONIGAME, E. M. Óculos sonar para deficientes visuais. Universidade Paulista – UNIP.

Cadeira de Rodas Motorizada de Baixo Custo

Filipe Loyola Lopes

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
filipeloyola@geb.inatel.br

José Maria da Silva Souza

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
jmaria@inatel.br

Claudia Cristina Garcez

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
claudia.garcez@inatel.br

Fábio Rodrigues da Silva

ATP – Telecom
Fabio.silva@atptelecom.com.br

Luiz Custódio da Silva

Prodmec Eletromecânica
custodio@prodmec.com.br

***Resumo*—O objetivo desse projeto de pesquisa é desenvolver uma cadeira de rodas motorizada de baixo custo, para auxiliar as pessoas com deficiência física na sua locomoção em pequenos e grandes percursos, colaborando com a sua independência. Para isto, estão sendo desenvolvidos dois protótipos, sendo que um utiliza motores de corrente contínua - DC - e o outro, utiliza motores de corrente contínua sem escovas – BLDC - de cubo de roda. Serão realizados testes comparativos, visando identificar qual das duas tecnologias de motores se enquadra melhor aos requisitos de custo, benefício e segurança, e, assim, chegar a um protótipo final. A equipe interdisciplinar é composta por um estudante de graduação em Engenharia Biomédica, um professor orientador, uma fisioterapeuta, um engenheiro eletrônico e um engenheiro mecânico. Conta, também, com o acompanhamento de pessoas usuárias de cadeira de rodas. Os resultados serão transferidos para a indústria, para que as pessoas com deficiência tenham acesso.**

***Palavras chave*—Pessoa com deficiência, cadeira de rodas motorizada, tecnologia assistiva.**

***Abstract*—The primary aim of this research is to develop a low cost motorized wheelchair to assist people with physical disabilities in their locomotion, even in small or large courses, collaborating with their independence. Two prototypes have been developed; one using direct current – DC - motors and other using brushless DC – BLDC - motors. Comparative tests will be conducted in order to identify which engine technology best fits the requirements of cost, endurance and safety, and thus reach a final prototype. The interdisciplinary team is comprised of a graduating student in Biomedical Engineering, a professor, a physiotherapist, an electronic engineer and a mechanical engineer. Wheelchair users also contribute ideas and share experiences. The results will be transferred to industry.**

***Keywords*—Disabled person, motorized wheelchair, assistive technology.**

Manuscrito recebido em 03 de Março de 2013; revisado em 09 de Abril de 2013.

F. L. Lopes (filipeloyola@geb.inatel.br), J. M. S. Souza (jmaria@inatel.br) e C. C. Garcez (Claudia.garcez@inatel.br) pertencem ao Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel. Av. João de Camargo, 510 - Santa Rita do Sapucaí - MG - Brasil - 37540-000.

I. Introdução

Pessoa com deficiência é conceituada como a pessoa que apresenta, em caráter permanente ou não, anormalidade de sua estrutura ou função anatômica, fisiológica, ou psicológica, que gere incapacidade para o desempenho de atividades [1]. As pessoas com deficiência física, como exemplo, as que possuem sequelas de paraplegia, tetraplegia, hemiplegia, alguns tipos de amputação dos membros inferiores, ou mesmo síndromes, necessitam da cadeira de rodas para a sua locomoção e atuação no seu dia a dia. A cadeira de rodas faz parte do cotidiano dessas pessoas, e para tal, essa tecnologia, chamada assistiva, deve levar em conta atributos como tamanho, peso e movimentação facilitada de modo a atender, ao máximo, a independência do paciente, e permitir o acesso financeiro para todas as camadas sociais [2].

A Cadeira de Rodas Motorizada de Baixo Custo está em fase de desenvolvimento no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva – CDTTA, localizado no Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL, na cidade de Santa Rita do Sapucaí (-MG). O CDTTA é um laboratório de pesquisa voltado para o desenvolvimento e transferência de novas Tecnologias Assistivas para a indústria e possui o apoio do Governo de Minas Gerais através da

Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior de Minas Gerais – SECTES. Tecnologias assistivas são consideradas as tecnologias voltadas às pessoas portadoras de deficiência, conforme a definição do Comitê Brasileiro de Tecnologia Assistiva – CBTA, a seguir.

> *Tecnologia Assistiva - TA é uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social.* [7]

O projeto conta com uma equipe de pesquisa interdisciplinar composta por um aluno de Engenharia Biomédica, um professor orientador, um engenheiro eletrônico, um engenheiro mecânico e uma Fisioterapeuta. Conta também com o apoio de pessoas com lesão medular, que ajudaram nas premissas, dão sugestões, ideias, fazem críticas e acompanham externamente o desenvolvimento do equipamento. A seguir a foto da equipe de apoio:

Fig. 1. Fotografia destacando a equipe de cadeirantes e seus familiares, que contribuirão com o projeto.

O objetivo desse projeto é desenvolver uma cadeira de rodas motorizada, de baixo custo, com a finalidade de facilitar a movimentação em pequenos e grandes percursos por pessoas com deficiência física.

II. METODOLOGIA

Visto que até a data deste artigo, o projeto encontra-se em desenvolvimento, dividiu-se a metodologia em três etapas: As fases já realizadas, as fases que estão em andamento e as fases futuras. A seguir, as etapas mencionadas.

A. As fases já realizadas

Estudo de pré-requisitos de uma cadeira de rodas mecânica e motorizada: A interação com usuários de cadeiras de rodas, intermediada pela fisioterapeuta membro da equipe, permitiu que além do estudo teórico, houvesse um fundamento prático das verdadeiras necessidades dos usuários e de pré-requisitos necessários a uma cadeira de rodas.

Pesquisa de mercado: A pesquisa, que engloba cadeiras manuais (conhecidas também como mecânicas) e motorizadas (que podem ser chamadas também de elétricas), apontou os tipos de cadeiras disponíveis no mercado que melhor atendem as necessidades dos usuários, e seus respectivos preços.

Compra de uma cadeira de rodas mecânica: Foi comprada uma cadeira mecânica, cujo modelo foi escolhido pelos membros do grupo com o auxílio, além da fisioterapeuta, de um usuário de cadeira de rodas, e duas terapeutas ocupacionais. Esta cadeira servirá para testes iniciais e montagem do circuito eletrônico e motores até que seja realizado o protótipo mecânico.

Compra dos motores BLDC (motores de corrente contínua sem escovas): Foi importado um kit que envolve: dois motores BLDC de cubo de roda 24V/180W, bateria de lítio 24V/20A, joystick e driver de potência. Com isso, a tecnologia será estudada com o objetivo de nacionalizá-la e adaptá-la as necessidades do país, uma vez que não é difundida no Brasil. O conhecimento absorvido será aplicado, de modo atingir o objetivo do projeto, conforme já especificado, e torná-lo apto à adaptação futuras de outros tipos de controle (controle pela voz, por exemplo).

B. As fases que estão em andamento

Montagem de protótipo inicial e estudo sobre os motores DC (motores de corrente contínua) e BLDC: Estão sendo estudados motores DC convencionais e motores BLDC conhecidos também por "Brushless-DC Motor" que se caracterizam por um alto rendimento [3]. Os estudos das diferentes tecnologias de motores possibilitarão a comparação para análise de qual se enquadra melhor aos pré-requisitos do projeto. Para o estudo da tecnologia dos motores BLDC de cubo de roda, foi montado um protótipo inicial, utilizando peças importadas e uma cadeira de rodas manual, como pode ser visualizado na foto abaixo:

Fig. 2. Protótipo inicial da cadeira de rodas com motores BLDC de cubo de roda e bateria de lítio, sendo testado pelo aluno Filipe Loyola Lopes.

Execução do projeto mecânico: O desenvolvimento mecânico contempla a estrutura da cadeira de rodas, os acoplamentos mecânicos necessários para receber os motores do tipo DC, bem como a realização de protótipos e melhorias, que se façam necessárias após os testes, para alcançar o bom funcionamento garantindo a qualidade, conforto e segurança do usuário.

Execução do projeto eletrônico: Consiste em estudo da solução eletrônica voltada para as duas tecnologias de motores, DC e BLDC. Nesta solução está incluso a definição do microcontrolador e linguagem de programação, a compra de um kit de desenvolvimento com microcontroladores, definição de componentes, criação de driver de potência para acionamento dos motores, até a montagem dos protótipos eletrônicos. Os sistemas eletrônicos são divididos nos seguintes blocos funcionais: Controle (chaves, botões e Joystick), Feedback Máquina Homem (display e leds), Central (circuito microcontrolado de controle geral do sistema), Segurança (sensores contra sobre-temperatura, sobre-corrente, sobre-tensão, de falha do sistema e ações de segurança) e Driver (interface sistema central e periféricos motores).

O sistema eletrônico deverá garantir comando da direção de movimento e da velocidade. Os movimentos deverão ser suaves, mesmo quando sejam dados comandos bruscos no acionamento do joystick. Deverá ter desligamento automático para casos da ocorrência de falha e não deverá nunca travar o sistema com o motor no modo ligado. Também permitirá a seleção do modo normal ou turbo para quando o usuário necessitar de uma força ou velocidade maior.

C. As fases futuras

Decisão sobre a tecnologia do motor: Serão montados dois protótipos de cadeiras de rodas motorizadas, utilizando os protótipos eletrônicos desenvolvidos, e cadeiras manuais, nas quais serão realizadas as seguintes adaptações: em uma cadeira será adaptado um par de motores DC e na outra um par de motores BLDC. Com esta montagem, e utilizando os estudos anteriores, será escolhido qual dos dois sistemas corresponde melhor às expectativas de funcionalidade e custo, e com isto, definido o tipo de motor que será utilizado para o projeto final.

Fase de testes: Será utilizada a estrutura mecânica desenvolvida, portanto, nesta etapa ocorrerá o acoplamento do protótipo mecânico da estrutura ao protótipo eletrônico. Os testes serão realizados pelo próprio estudante em subidas e descidas de rampas e em todos os tipos de terrenos (irregulares, grama, lisos) onde serão observados parâmetros importantes como velocidade, autonomia da bateria, comportamento do motor, estabilidade da cadeira; e servirá para indicar possíveis melhorias e/ou mudanças, de maneira que seja alcançado o objetivo. Nos testes, haverá o acompanhamento de pessoas com deficiência física (cadeirantes) e também da fisioterapeuta. Importante ressaltar que os cadeirantes irão assistir aos testes e poderão dar opinião sobre o funcionamento, mas não participar deles, até a validação dos resultados.

Como no projeto não terão testes com os pacientes, não necessitará de aprovação do Conselho de Ética em Pesquisa – CEP. As pessoas com lesão medular, que fazem parte da equipe, oferecem opiniões sobre detalhes de uso das suas próprias cadeiras de rodas.

III. DISCUSSÃO

Segundo o Censo 2010, 61,1% da população com deficiência com 15 anos ou mais, não tem instrução ou possui o ensino fundamental incompleto, esse percentual é de 38,2% para as pessoas dessa mesma faixa etária que declararam não ter nenhuma das deficiências investigadas. Esse fato dificulta o acesso dessas pessoas ao mercado de trabalho e resulta na diminuição de suas rendas, sendo que isso é mais evidente nas pessoas com deficiência motora e intelectual, onde se observou que 46,4% dos indivíduos dessa população ganhavam até um salário mínimo ou não tinham rendimento [4].

A população das pessoas com deficiência engloba todas as faixas etárias, porém, há um maior contingente de pessoas com idade de 60 anos ou mais e da população mais jovem, com idade entre 20 e 39 anos, somando um total de 21,8% [5].

A pesquisa de custo realizada para o projeto mostra que as cadeiras de rodas motorizadas disponíveis atualmente no Brasil apresentam custo acima de cinco mil e quinhentos reais, conforme anuncio de preços publicados na Revista Nacional de Reabilitação “Reação” [6].

Identificando a realidade financeira e social da população das pessoas com deficiência física, que necessita de cadeira de rodas para a sua independência e autonomia diária, justifica-se o projeto possuir como objetivo principal o baixo custo, como facilitador de compra para essas pessoas.

IV. CONCLUSÕES

Ao final do projeto “Cadeira de Rodas Motorizada de Baixo Custo”, para se concretizar o objetivo, a tecnologia alcançada será disponibilizada para empresas que se mostrarem interessadas na produção em larga escala. Desta forma, o recurso aplicado renderá frutos à sociedade.

REFERÊNCIAS

[1] Legislação Brasileira sobre Pessoas Portadoras de Deficiência 7ª edição. Acessado em http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/2521/legislacao_portadores_deficiencia_7ed.pdf?sequence=9 . Em 10, dez, 2012.

[2] Bickenbach, J. ; Degener, T. Relatório Mundial Sobre a Deficiência. In: Entendo a Deficiência. Organização Mundial da Saúde, 2011.

[3] Eficiência energética – Made in Germany. Acessado em http://www.efficiency-from-germany.info/EIE/Navigation/die-initiative,did=351274.html. Em 12, dez, 2012.

[4] CENSO 2010. Acessado em http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia. Em 9, dez, 2012.

[5] Schwarz A. e Haber J . População Com Deficiência no Brasil – fatos e percepções. RJ. Febraban, 2006.

[6] CASA ORTOPÉDICA. **Revista Nacional de Reabilitação Reação**, São Paulo, n.88, p. 41-44, out.2012.

[7] Comitê Brasileiro de Tecnologia Assistiva. Acessado em http://www.acessobrasil.org.br/CMS08/seo-conceito-19.htm. Em 01 mar,2013.

Estudo da Hemodiálise

Jacqueline da Rosa Machado
Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL
jacqueliner@gee.inatel.br

Graziela Peçanha Costa da Silva
Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL
graziipec@hotmail.com

Greice Kelle Viegas Saraiva
Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL
greice@inatel.br

***Resumo*— neste artigo irá tratar sobre o funcionamento dos rins, suas funções e principalmente sobre o tratamento especializado (hemodiálises), feito por pessoas que sofrem com problemas renais, onde o tratamento serve como um rim artificial eliminando as toxinas do sangue e controlando o volume do liquido que fica retido no organismo, em alguns casos, abordará também a viabilidade de se ter uma máquina em casa.**

***Palavras chave*— insuficiência renal, eliminação de toxinas, hemodiálise.**

***Abstract*--- this article will treat about the functioning of the kidney, its functions mainly about specialized treatment (hemodialysis), made by people that suffer with kidney problems, where the treatment serves as an artificial kidney eliminating toxins of the blood and controlling the volume of the liquid that is retained in the body, in some cases, also address the feasibility of having a home machine.**

***Keyword*---renal insufficiency, removing toxins, hemodialysis.**

I. INTRODUÇÃO

As principais funções dos rins consistem em livrar o corpo dos produtos de degradação que são ingeridos ou produzidos pelo metabolismo e o controle do volume e da composição dos líquidos corporais. Os Rins também possuem uma parte muito importante chamada néfron que consiste em limpar ou "depurar" o plasma sanguíneo de substâncias indesejadas em sua passagem pelo rim, por isso quando os rins não estão em pleno funcionamento necessita-se de realizar o tratamento de Hemodiálise que consisti em seu principal resultado drenar o sangue e retirar as impurezas que seriam depuradas pelo néfron. Com tudo, a hemodiálise não é utilizada apenas para “limpar” o sangue, mas também para eliminar os líquidos que ficam retidos no organismo pelo mau funcionamento dos rins.

II. O TRATAMENTO E SEUS COMPONENTES

A hemodiálise é um tratamento que consiste na remoção do líquido e substâncias tóxicas do sangue, como se fosse um rim artificial. É o processo de filtragem e depuração de substâncias indesejáveis do sangue como a creatinina e a uréia. Ela age como uma terapia de substituição renal realizada em pacientes portadores de insuficiência renal crônica ou aguda, já que nesses casos o organismo não consegue eliminar tais substâncias devido à falência dos mecanismos excretores renais.

J. R. Machado (jacqueliner@gee.inatel.br), G. P. S da Silva (graziipec@hotmail.com) e G. K. V. Saraiva (greice@inatel.br) pertencem ao Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel. Av. João de Camargo, 510 - Santa Rita do Sapucaí - MG - Brasil - 37540-000.

No tratamento, o sangue é obtido por um acesso vascular, unindo uma veia e uma artéria superficial do braço (cateter venoso central ou fístula artério-venosa) sendo impulsionado por uma bomba até o filtro de diálise, também conhecido como dialisador. [2]

A. Dialisador

Existem dois modelos básicos de dialisadores: placas paralelas e capilares de fibras ocas, onde ocorrem as trocas por difusão e a ultrafiltração do plasma.

Este funciona como um filtro que é constituído por dois compartimentos: um por onde circula o sangue e outro por onde passa o dialisato. Esses compartimentos são separados por uma membrana semipermeável onde o fluxo de sangue e o dialisato são contrários permitindo maximizar a diferença de concentração dos solutos em toda a extensão do filtro.

A capacidade de filtração das membranas de alto fluxo são mais eficientes que as membranas de baixo fluxo por apresentarem poros que são quase três vezes maiores sendo mais semelhante às funções naturais dos rins e permitindo a remoção de maiores quantidades de líquido e toxinas em um curto período de tempo.

A escolha do dialisador é dada pelo peso do paciente, pela tolerância à retirada de volume e pela dose de diálise necessária. Estes são reutilizados sempre pelo mesmo paciente, porém, doentes com HIV+ não são enquadrados na prática de reutilização do dialisador. Passando-se por uma prática segura de reprocessamento, que limpa e esteriliza o mesmo, a fim de evitar riscos de contaminação[5].

B. Dialisato

O dialisato é a solução da diálise que entra em equilíbrio com o sangue durante o processo dialítico. A máquina de hemodiálise mantém controle total sobre ele, como nível de condutividade e temperatura, a fim de evitar possíveis complicações durante o tratamento[5].

C. Qualidade da Água

A água utilizada na preparação da solução para dialise, nos serviços deve ter sua qualidade garantida em todas as etapas do seu tratamento. Ela, independente de sua origem e seu tratamento, deve ser inspecionada pelo técnico responsável por operar o sistema de tratamento de água. Conforme a tabela abaixo (em uma amostra de 500ml):

TABELA I

Características	Parâmetro Aceitável	Frequência de Verificação
Cor transparente	Incolor	Diária
Turvação	Ausente	Diária
Sabor	Insípido	Diária
Odor	Inodoro	Diária
Cloro Residual livre	Maior que 0,5mg/l	Diária
pH	6,0 a 9,5	Diária

As amostras de água para fins de análise físico-química e microbiológica devem ser colhidas nos pontos adjacentes à máquina de hemodiálise e no reuso, devendo ser um dos pontos na parte mais distante da alça de distribuição[4].

D. A Máquina

As máquinas de hemodiálise possuem vários sensores que tornam o procedimento seguro e eficaz. Estão contidas nelas vários componentes como: monitor de pressão, temperatura, condutividade do dialisato, volume de ultrafiltração, detector de ar,etc.

Um computador integrado ao sistema de hemodiálise permite que os dispositivos de distribuição de sangue e líquido de diálise repartam as quantidades adequadas e monitore também todo o tratamento. Diferentes alarmes alertam o enfermeiro, médico ou o paciente da necessidade de checar o sistema, quando algum ajuste é necessário. Assim mesmo para fim de observação, um microprocessador integrado permite registrar e guardar os dados do tratamento[1].

E. Tratamento em Casa

Realizar hemodiálise em casa traria uma maior flexibilidade para adaptar o regime de diálise quanto ao horário e duração das sessões, porém existem grandes desvantagens como: examinar cuidadosamente o meio ambiente no lar do paciente e se existe um espaço adequado para o equipamento de diálise, a pressão da água e sua qualidade devem também estar dentro dos limites adequados, todos os cabos elétricos devem ser revisados, necessidade de acompanhamento de uma pessoa com conhecimentos profissionais no tratamento e vários outros fatores que fazem com que o tratamento em casa não seja tão viável para maioria dos pacientes.

Mesmo que existam dificuldades de se deslocar até o hospital ou clinica para realizar o tratamento, eles têm a certeza que no local adequado e com o acompanhamento de pessoas qualificadas o tratamento será de melhor qualidade e ainda contam com o apoio de outros pacientes que buscam forças uns nos outros para superar as dificuldades[3].

III. MÉTODOS

Realizamos uma pesquisa em um Hospital do sul de Minas Gerais, especializado em tratamentos de terapia renal substitutiva nas modalidades de hemodiálise e diálise peritoneal. Elaboramos um questionário para médicos, enfermeiros, técnicos de manutenção da máquina e pacientes, sendo um questionário específico para cada um.

Para a coleta de dados foi utilizado uma entrevista semiestruturada com perguntas especificas como “quais os cuidados com a fistula antes e depois da hemodiálise?” para os médicos e enfermeiros, “quais os principais problemas que ocorrem na máquina e qual a frequência?” para os técnicos de manutenção e “quais as maiores dificuldades no dia-a-dia gerada pela hemodiálise?” para os pacientes, porém fomos atendidos apenas por pacientes.

A. Resultados

A entrevista com os pacientes mostra que os problemas renais mais comuns são derivados de vários fatores como: fumantes por um longo período, motivos genéticos, diabete, hipertensão arterial, rins policísticos, etc. e todos começam o tratamento pelo cateter e passam por procedimento cirúrgico para confecção de uma fístula arteriovenosa que irá servir como acesso para retirada do sangue na filtração.

Durante a sessão de hemodiálise, que tem em média a duração de 4 horas e freqüência de três vezes por semana, os pacientes contam que podem comer e ler desde que não mexam o braço em que se encontram as agulhas, eles relatam que sentem confiança no operador da máquina e que são melhores atendidos por enfermeiros do que por médicos.

Vale ressaltar que as sessões vão de acordo com as necessidades de cada paciente, podendo assim durar três horas e meia ou até mesmo cinco horas, e/ou variar a freqüência de duas vezes por semana ou até hemodiálise diária em casos selecionados.

Enfim, percebemos que os pacientes que ingressam na terapia renal, no processo de hemodiálise, mesmo confusos com as mudanças e com o sofrimento descobrem na máquina uma companhia na luta pela vida.

IV. CONCLUSÕES

Com base em pesquisas, estudos e entrevistas realizadas com pacientes, percebe-se que o tratamento é muito sofrido e que as maquinas poderiam ser atualizadas, usando a tecnologia atual para facilitar o tratamento, assim atendendo um maior número de pessoas. Seria interessante que os médicos participassem com mais intensidade do tratamento que são realizados na maioria das vezes por enfermeiros e técnicos da área.

REFERÊNCIAS

[1] FREITAS, K. C. L. **Hemodiálise Relação Paciente x Máquina**: São Paulo, 2005.

[2] Smeltzer SC, Bare BG. Brunner & Suddarth: tratado de enfermagem médico-cirúrgica. 8ª ed. Rio de Janeiro (RJ): Guanabara Koogan; 1994.

[3] **Apoio ao paciente em hemodiálise – 15829/ artigo** Disponivel em http://www.artigos.com/artigos/saude/enfermagem/ Acesso em: 28 fev 2013.

[4] BRASIL. Resolução da diretoria colegiada da ANVISA - RDC N°-154. Art 11, inciso IV, decreto 3029, 16 abr 1999. § 1° do regulamento interno, portaria 593, ago 2000.

[5] **Conteúdo-informacoes sobre dialise e hemodialise.php** Disponível em http://www.nefrocor.com.br Acesso em: 28 fev 2013.

e-duca: um sistema tutor inteligente para o ensino de programação

Pablo Henrique Penha Silva
Universidade Federal de Uberlândia – UFU
pablohenrique@si.ufu.br

Eduardo Gonçalves Costa
Universidade Federal de Uberlândia – UFU
eduardogoncalvescosta@comp.ufu.br

Marcos Roberto Moresco
Universidade Federal de Uberlândia – UFU
marcosmoresco@si.ufu.br

Alexsandro Santos Soares
Universidade Federal de Uberlândia – UFU
alex@facom.ufu.br

***Resumo*— O artigo descreve resumidamente a modelagem e funcionamento do sistema tutor inteligente e-duca para o ensino de programação. Este sistema está sendo desenvolvido utilizando a linguagem de programação funcional Clojure e tecnologias baseadas na web.**

***Palavras chave*— Sistema tutor inteligente, e-duca, Clojure.**

***Abstract*—This paper describes in a short way the modeling and internal workings of an intelligent tutoring system, named e-duca, for introductory programming teaching. This system is in a preliminary but working phase and it uses a functional programming language Clojure and associated web technology.**

***Keywords*—Intelligent tutor system, e-duca, Clojure.**

I. INTRODUÇÃO

Na Faculdade de Computação (FACOM) os cursos de Bacharelado em Ciência da Computação (BCC) e Bacharelado em Sistemas de Informação (BSI) enfrentam um problema de reprovações em disciplinas como Introdução à Programação e Estrutura de Dados, duas disciplinas importantes para a compreensão do restante do curso.

As tabelas 1 e 2 mostram algumas estatísticas para as turmas do BSI que cursaram as seguintes disciplinas no ano de 2011:

- Introdução à Programação de Computadores (IPC)
- Programação Funcional (PF)
- Estruturas de Dados 1 (ED1)
- Programação Lógica (PL)
- Estruturas de Dados 2 (ED2)

Nestas tabelas dividiu-se as turmas em duas partes: a turma completa, incluindo os alunos que desistiram da disciplina ou foram reprovados por falta, e a turma sem desistentes, na qual se excluiu os desistentes. Como pode ser observado, nas disciplinas introdutórias à programação, várias reprovações ultrapassaram 50% do total de alunos inicialmente matriculados.

P. H. P. Silva (pablohenrique@si.ufu.br), E. G. Costa (eduardogoncalvescosta@comp.ufu.br), M. R. Moresco (marcosmoresco@si.ufu.br) e A. S. Soares (alex@facom.ufu.br) pertencem à Faculdade de Computação da Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Av. João Naves de Ávila, 2121 – Campus Santa Mônica – Uberlândia – MG – Brasil - 38408-100.

Na tentativa de auxiliar os alunos que enfrentam problemas com a aprendizagem dos conceitos fundamentais de programação, nasceu a ideia de se criar um sistema tutor inteligente com o objetivo de ser um instrumento pedagógico adicional às táticas e estratégias já utilizadas pelo corpo docente de nossa instituição. Este sistema recebeu o nome de e-duca.

TABELA 1 - Reprovações no ano de 2011 primeiro semestre.

	Turma Completa			Turma Sem Desistentes		
	Notas	Faltas	Reprovados	Notas	Faltas	Reprovados
Disciplina	média	média	%	média	média	%
IPC	51,05	5,85	44,87	53,82	4,95	38,46
PF	45,60	8,20	65,38	50,81	2,28	55,13
ED1	38,56	29,26	71,05	52,18	13,00	35,53
PL	27,77	11,97	73,44	32,24	8,85	57,81
ED2	55,56	10,09	45,65	63,67	5,28	30,43

Fonte: Coordenação do Bacharelado em Sistemas de Informação, 2012.

TABELA 2 - Reprovações no ano de 2011 segundo semestre.

	Turma Completa			Turma Sem Desistentes		
	Notas	Faltas	Reprovados	Notas	Faltas	Reprovados
Disciplina	média	média	%	média	média	%
IPC	48,07	11,46	73,24	54,60	5,82	42,25
PF	57,16	4,66	26,76	62,43	1,14	18,31
ED1	39,60	32,06	60,00	60,07	13,38	21,43
PL	40,45	11,31	59,94	51,05	2,87	36,12
ED2	40,80	18,30	60,00	50,00	12,21	32,50

Fonte: Coordenação do Bacharelado em Sistemas de Informação, 2012.

Um Sistema Tutor Inteligente (STI) é um programa de computador que utiliza técnicas de Inteligência Artificial para representar o conhecimento e criar uma interação com o aluno. Este programa tem por finalidade compreender o estudante que o usa e rastrear o seu desempenho. O sistema tenta compreender quais são as táticas de aprendizagem que o estudante utiliza para que realmente assimile o conteúdo sendo apresentado. O STI rastreia o desempenho do estudante para oferecer retornos e comentários personalizados durante a sua utilização.

As seções seguintes descrevem a arquitetura atual do STI, os métodos e ferramentas utilizadas, o estágio atual de desenvolvimento do sistema e as conclusões obtidas até o momento.

II. ARQUITETURA DO SISTEMA

Existem várias formas de se construir um STI e uma delas é usando a arquitetura de quatro módulos [4], usada no sistema e-duca, como exemplificado na Figura 1. Os módulos são:

- Módulo de Comunicação;
- Módulo Estudante;
- Módulo Pedagógico;
- Módulo Domínio.

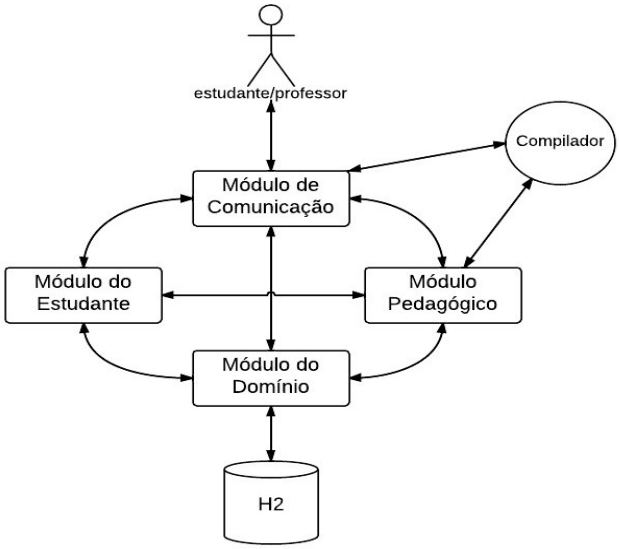


Fig. 1 – Arquitetura do sistema e-duca.

O módulo de comunicação é construído tomando como base as ementas de disciplinas de Estruturas de Dados e de Introdução à Programação de Computadores. Esse módulo é responsável pela interface com o usuário, proporcionando um modo gráfico para a utilização do sistema.

O módulo de comunicação está mais voltado para o conceito de interface humano-computador com o estudante. A questão é definir qual será a melhor metáfora com a qual o estudante terá acesso ao sistema [5]. A complexidade para a implementação deste módulo é bastante variável, podendo ser desde simples janelas de diálogo até linguagem natural e reconhecimento de voz. Outra questão a ser considerada é a aplicação de realidade virtual para permitir uma imersão total do estudante no sistema [4].

A interface deve ser capaz de extrair algumas informações sobre o desempenho do estudante, transferindo-as para os demais módulos, para que sejam realizadas inferências sobre o estado cognitivo do aluno, ajudando este a melhorar a seu desempenho durante a utilização do sistema. Pode-se coletar várias informações como as características da face do aluno, como ele está se posicionando na cadeira, quantas vezes clicou, como está olhando para o software entre outras classificações que podem ser adquiridas do estudante [4]. Aqui também devem ser utilizadas as formas de apresentação do conteúdo de acordo com o estilo de aprendizagem do estudante, ou seja, por meio de vídeos, som, jogo, texto, etc.

O módulo do estudante é responsável pela descrição do aluno, representando suas preferências, nível de conhecimento, objetivos, histórico navegacional, histórico de desempenho e outros aspectos relevantes sobre o aprendiz necessários ao processo de adaptação [4].

A principal razão para construir o módulo do estudante é assegurar que o sistema tenha por princípio o conhecimento sobre cada aluno, para que desta forma, possa responder de forma eficaz com a finalidade de garantir o interesse dos alunos e promover a aprendizagem. Nesse contexto, vale destacar que esse módulo contém a representação do conhecimento e das habilidades cognitivas do aluno em um determinado momento, sendo que a presença desse módulo permite ao sistema tutor adaptar-se a cada estudante, individualizando a instrução.

Na Figura 2 é mostrada uma das telas do e-duca para a exibição de questões de múltiplas escolhas. Já na Figura 3 é mostrado um exemplo de tela para questões abertas, envolvendo a resolução de um problema por via de programa.

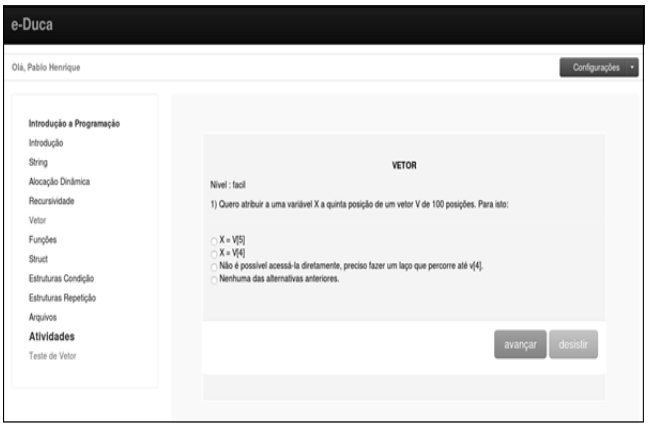


Fig. 2 – Tela de uma questão de múltipla escolha exibida pelo e-duca

O módulo do estudante realiza cálculos de inferência a fim de traçar características a respeito do aprendiz, os quais serão de fundamental importância para o sistema poder comprovar hipóteses sobre o conhecimento do discente, assim como seu estilo cognitivo [6,7,8,9].

Os dados inferidos referem-se ao desempenho do aluno de acordo com os exercícios realizados e o seu nível de conhecimento sobre determinado conteúdo, o qual pode se alterar ao longo do tempo.

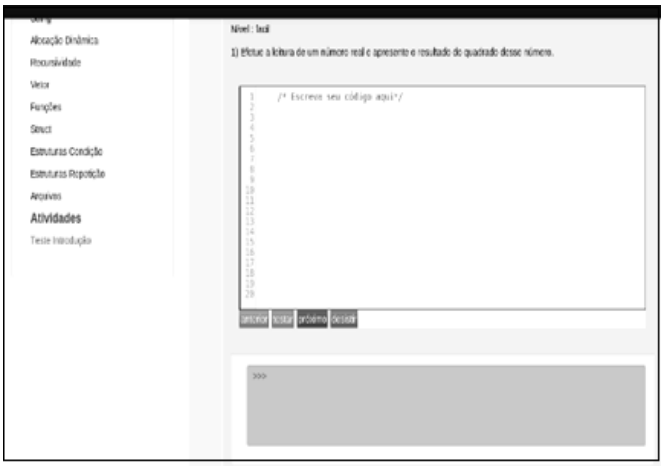


Fig. 3 – Exibição de uma questão aberta de programação pelo e-duca

A partir do módulo do estudante e do conteúdo a ser ensinado, o sistema deve ser capaz de inferir a melhor estratégia de ensino a ser utilizada. Um módulo realista do estudante implica numa atualização dinâmica, à medida que o sistema avalia o desempenho do aprendiz.

O módulo do estudante pode detectar dificuldades de aprendizagem e modificar o ritmo de apresentação e o conteúdo de acordo com os recursos pedagógicos existentes. Ele também monitora os alunos com base em representações tanto no conteúdo e exercícios, quanto nas probabilidades das ações do estudante.

O módulo pedagógico é responsável por conter as técnicas de ensino e a correção de exercícios [4,10,11,12]. De acordo com o progresso do aluno usando o sistema, o módulo pedagógico irá determinar as melhores táticas de ensino, com o propósito de que aluno sinta-se a vontade usando o sistema e também interessado no assunto que está sendo mostrado. Ele também é encarregado de definir e aplicar uma estratégia pedagógica de ensino, ou seja, decidir e guiar o processo de ensino-aprendizagem.

O módulo pedagógico também contém os objetivos a serem alcançados e os planos utilizados para alcançá-los. Ele é responsável pelas tarefas de selecionar problemas, monitorar e criticar o desempenho, prover assistência quando requerido, selecionar material instrucional a ser apresentado ao estudante e integrar conhecimento acerca do método de ensino e do domínio a ser ensinado.

A seguir são listadas algumas responsabilidades do módulo pedagógico:

- Contextualizar o aluno: manter o aluno informado sobre as atividades que está sendo mostrada;
- Motivar e manter a atenção dos alunos: estímulos e propostas que ajudem a manter o interesse do aluno durante todo o processo de ensino;
- Guiar a atuação do aluno: fornecer dicas e conselhos de modo a prevenir erros constantes que poderiam desestimular o aluno na resolução dos exercícios.
- Apresentar o conhecimento do domínio: proporcionar uma formação tanto a nível teórico, como prático do domínio de aplicação do sistema, aplicando conceitos, mostrando operações e propondo exercícios práticos;
- Avaliar o conhecimento adquirido: comprovar o conhecimento adquirido através de teste e exercícios práticos;
- Tratamento de erros: completar o conhecimento considerado deficiente.

De acordo com [4] existem várias estratégias de aprendizado que podem ser usadas nos STI's. Podem ser separadas em três categorias e suas referentes áreas:

- Ensino clássico: baseado na resolução de exercícios e gerenciamento de erro, no diálogo professor/aluno ou na aprendizagem colaborativa;
- Ensino informado pela teoria de aprendizagem: baseado na aprendizagem socrática, na teoria de aprendizagem cognitiva, na teoria construtivista ou na interação social;
- Ensino facilitado pela tecnologia: baseado em agentes pedagógicos animados e na realidade virtual.

O módulo do domínio é responsável por representar um especialista por meio de regras e fatos em um sistema tutor inteligente [4]. Este módulo – representação de um especialista – detém todos os dados do sistema, que é de-onde todos os outros módulos buscam recursos para efetuar alguma tarefa, seja encontrar as preferências de um usuário quanto salvar todos os exercícios resolvidos por este.

Todos os módulos são dependentes e apresentam funcionalidades especializadas para as suas finalidades. As dependências entre os módulos propostos anteriormente são:

- Módulo pedagógico: depende das informações contidas dentro do módulo domínio tais como os exercícios existentes, e do módulo do estudante para saber, por exemplo, qual disciplina o aluno está cursando e extrair estatísticas sobre este;
- Módulo do estudante: possui dependência do módulo do domínio, por exemplo, para armazenar estatísticas sobre o usuário;
- Módulo de comunicação: depende do módulo do domínio (para buscar informações sobre a disciplina estudada) e do módulo do estudante (para saber quais exercícios o estudante já fez);
- Módulo do domínio: é a base para os outros módulos. Este módulo armazena informações e as estruturas, através de arquivos XML. É a infraestrutura base do sistema.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

O e-duca utiliza várias ferramentas computacionais em seu desenvolvimento. Todas as aplicações no lado do servidor são construídas usando a linguagem de programação Clojure.

Clojure é uma linguagem de programação funcional que foi construída sobre a máquina virtual Java (JVM). Foi desenvolvida para ser uma linguagem de propósitos gerais, combinando a interatividade e acessibilidade das linguagens de script com a robustez e eficiência da infraestrutura da programação *multithreads*. Clojure é uma linguagem compilada e compila diretamente para os bytecodes da JVM.

Ainda assim ela permanence completamente dinâmica e interativa.

Clojure é um dialeto da linguagem de programação Lisp e compartilha com esta a filosofia de código como dado e um sistema de macros. É predominantemente uma linguagem de programação funcional e entre suas características principais está um conjunto rico de estruturas de dados imutáveis e persistentes. Como Clojure foi desenvolvido sobre a JVM, tem-se uma alta compatibilidade entre as duas linguagens que serviram de base para Clojure: Lisp e Java.

No exemplo mostrado na Figura 4 pode-se notar o uso do Clojure na definição de uma função chamada *aloMundo* que não recebe parâmetros e que usa a função Java *println* (ou *System.out.println())* para escrever na tela a mensagem "Alô, mundo!".

```
(defn aloMundo []
  (println "Alô, mundo!")
)

$ (aloMundo)
"Alô, mundo!"
  nil
```

Fig. 4 – A função *aloMundo* em Clojure

O Noir é um micro-*framework* que possibilita o desenvolvimento rápido de websites usando a linguagem Clojure. Este *framework* foi escrito em Clojure e Javascript e é usado para geração de toda a interface com usuário baseada em HTML5.

Como um exemplo de utilização do Noir, na Figura 5 é mostrado o código para definir uma página de boas-vindas.

```
(defpage "/welcome" [ ]
  (common/layout
    [:body
      [:h1 "Alô mundo"]]))
```

Fig. 5 – Definindo uma página HTML usando o Noir.

IV. DESENVOLVIMENTO

O projeto do qual o e-duca faz parte tem como finalidades específicas:

- Criar um sistema que se adapte ao usuário;
- Obter dados sensíveis do aluno e escolher a melhor estratégia e tática de ensino para ele;
- Ser flexível para suportar qualquer tipo de disciplina, não sendo, necessariamente do curso de computação;
- Ser robusto o suficiente para suportar e gerenciar a aprendizagem de vários alunos em várias disciplinas simultaneamente.

As disciplinas que estão sendo desenvolvidas estão focadas no ensino de todo o conteúdo relacionado às disciplinas de Introdução à Programação e Estrutura de Dados, pois estas disciplinas são lecionadas por vários professores em várias universidades. O e-duca visa suprir dificuldades pós-aula que um aluno possa vir a ter nas disciplinas mencionadas anteriormente.

O e-duca possui vários de seus objetivos concluídos, porém, ainda possui partes incompletas. Em um estágio avançado de desenvolvimento, destaca-se módulo do domínio, completo e estruturado para suprir o objetivo de armazenar múltiplas disciplinas, assim como suprir as necessidades dos outros módulos na questão de interfaceamento (API).

Além disso, o domínio também está preparado para armazenar particularidades dos outros módulos e disponibilizá-las quando for necessário. Como um exemplo, o domínio terá controle total de armazenamento do banco de dados para guardar as redes bayesianas geradas pelo módulo do estudante, advindas da interação do aluno com o sistema.

O módulo de comunicação conta com uma interface gráfica funcional baseada na web, com suporte a tratamento de erros capaz de suportar usuários iniciantes. Sua comunicação com o domínio está sendo concluída, possuindo partes carregadas dinamicamente de acordo com a disciplina estudada e com as informações do usuário vinda do módulo estudante.

É importante ressaltar que o módulo de comunicação possui um gerenciador de conteúdo em estágio avançado de desenvolvimento para uso dos docentes que desejarem usar o e-duca, facilitando a inserção de novos exercícios e o acompanhamento do desempenho dos estudantes por meio de uma interface gráfica especializada.

O módulo de comunicação foi construído usando Noir-Clojure no lado do servidor, e Javascript e o HTML 5 no lado do cliente. Ele suporta múltiplos usuários simultaneamente, todos gerenciados pelo servidor de aplicações.

O módulo do estudante é modelado por meio de redes bayesianas construídas pela biblioteca Ebayes[1] que, através de uma estratégia de modelagem baseada em [13,14,15] consegue traçar dados sobre o estudante, como por exemplo, inferir se ele realmente aprendeu uma disciplina ou qual é seu estilo cognitivo.

O módulo pedagógico ainda se encontra em fase de modelagem, limitando-se atualmente à proposição e correção de exercícios de múltipla escolha.

Para a geração de exercícios e pontuação do aluno, precisa-se de informações vindas do módulo de comunicação para informar qual é a disciplina que o aluno estará cursando; também se necessita do módulo estudante para nos guiar e identificar como pontuar o aluno em um determinado exercício. Também precisa-se de regras que serão usadas na correção dos exercícios. Essas regras serão modeladas usando lógica difusa [17], via a ferramenta chamada jFuzzyLogic[2], escrita em Java. A jFuzzyLogic está sendo integrada ao restante do sistema que está escrito em Clojure[3].

Para auxiliar a correção de exercícios usa-se um compilador que está sendo construído especialmente para o e-duca. Este compilador tem por finalidade deixar as mensagens de erros mais compreensíveis, evitando que o programador iniciante fique em dúvida em relação ao que deve ser feito para corrigir o erro indicado.

O compilador educacional está sendo escrito para a linguagem ANSI C 2011 e encontra-se com as fases de análise

[1] Disponível em: http://www.cs.cmu.edu/~javabayes/EBayes
[2] Disponível em: http://jfuzzylogic.sourceforge.net/
[3] Disponível em: http://clojure.org

léxica e sintática prontas, e iniciando a fase de análise semântica. Todo ele está escrito em Javascript usando a ferramenta PEGjs, criada para a geração de analisadores sintáticos baseado nas gramáticas de expressões de análise[4].

V. Conclusão

O e-duca está em fase de desenvolvimento, porém, conseguiu-se alcançar vários dos seus objetivos iniciais. O leitor interessado poderá encontrar todo o código fonte a partir do endereço https://github.com/pablohenrique/ILS.git

Como trabalhos futuros, espera-se que em breve tenha-se um sistema tutor funcional para os alunos de disciplinas dos cursos de computação, a fim de que, com o seu uso, seja possível analisar a eficiência e eficácia deste sistema.

VI. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Pró-Reitoria de graduação da Universidade Federal de Uberlândia e ao Programa de Ensino Tutorial (PET) do curso de Ciência da Computação pelas bolsas concedidas, que tornaram possível a execução deste projeto.

Referências

[1] A. Caravantes and R. Galán, “Generic Educational Knowledge Representation for Adaptive and Cognitive Systems”, 2011.
[2] I. M. A. Ávila, “Gestão de conteúdos em um ambiente de ensino de línguas baseado em Sistema Tutor Inteligente com agentes-lexemas e semantização de imagens”, 2010.
[3] C.M.R. Elena, “Creación de una Base de Conocimiento para un Sistema de Enseñanza para el Lenguaje Java Básico”, Maestría en Ciencias de la Computación, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autonoma Metropolitana, Azcapotzalco, Mexico, 2006.
[4] B.P. Woolf, *Building Interactive Tutors*. Burlington, MA: Elsevier, 2009.
[5] A. Dix, *Human-Computer Interaction.* Third edition, 2012.
[6] A. P. Ayala, “Un Modelo del Estudiante Basado en Mapas Cognitivos”, 2008.
[7] E. P. Neto, Ralph Barros Marinho, “Uma Proposta do modelo cognitivo do aluno no ambiente virtual de aprendizagem de lógica - O HALYEN”, 2007.
[8] A. R. Pimentel, “Medidas Cognitivas para o Ensino de Conceitos Visuais com Sistemas Tutores Inteligentes”, 1997.
[9] M. C. dos Reis, “Um Modulo de Identificacao On-Line do Modelo do Aluno Baseado nos Estilos Cognitivos de Aprendizagem”, 2006.
[10] S. B. H. Sarma, “Intelligent Tutoring Systems Using Reinforcement Learning”, 2007.
[11] C. R. Huapaya, F. A. Lizarralde, G. M. Arona, “Propuesta de un Modelo Pedagógico en un Sistema Tutorial Inteligente”, 2008.
[12] R. M. E. M. da Costa, V. M. B. Werneck, “Sistemas Tutoriais - Aplicação das Tecnologias de Hipermídia e de Inteligência Artificial em Educação”, 1997.
[13] J. Kasurinen, U. Nikula, “Estimating Programming Knowledge with Bayesian Knowledge Tracing”, 2009.
[14] S. F. Lima, S. M. D. Stump , “How to obtain knowledge evidences in a student model based on Bayesian Network”, 2010.
[15] P. García, A. Amandi, S. Schiaffino, M. Campo, “Using Bayesian Networks to Detect Students Learning Styles in a Web-based education system”, 2005.
[16] C. Asanome, “Sistemas Tutoriais Inteligentes: um estudo”, 1991.
[17] G. Goel, S. Lallé, V. Luengo, “Fuzzy Logic Representation for Student Modelling”, 2011.

[4] Livre tradução para a sentença em inglês *Parsing Expression Grammar*.

Desenvolvimento de um Sistema Operacional Linux para fins Acadêmicos e Científicos

Ramon da Silva Pereira
Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
ramon0ramon@gmail.com

Wercely Duarte de Sousa
Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
wercelyduarte@hotmail.com

Carlos Henrique Feichas
Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
carlos.feichas@inatel.br

***Resumo* — Este artigo apresenta os desafios na construção de um sistema operacional livre utilizando o LFS.**

***Abstract* — This paper presents the challenges in building a free operating system using the LFS.**

***Palavras chave* — Linux, LFS, Pacotes Linux, Software Livre, Sistema Operacional, Desenvolvimento em Linux.**

I. INTRODUÇÃO

O presente documento é uma síntese dos conhecimentos adquiridos durante o processo de Iniciação Científica onde foi desenvolvido um SO (Sistema Operacional) Linux para fins acadêmicos e científicos seguindo a referência LFS (*Linux From Scratch*), bem como os resultados obtidos ao longo do processo.

II. OBJETIVO

O Linux é um sistema operacional de código aberto distribuído gratuitamente pela internet, o que permite a qualquer pessoa visualizar como o sistema funciona, corrigir algum problema, e até fazer alguma sugestão de melhoria. Tais características motivam o seu rápido crescimento, aumento da compatibilidade de periféricos e sua estabilidade [1].

Este software básico, por ser de código aberto, permite aos programadores adaptá-los a suas necessidades, não ficando assim, restritos apenas aos desenvolvidos por grandes empresas ou comunidades.

A idéia do trabalho é desenvolver uma distribuição Linux para fins acadêmico-científicos. Tal sistema dispõe de aplicativos, API's (*Application Programming Interface*), e outras ferramentas utilizadas para este fim.

III. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

O processo de desenvolvimento foi dividido em etapas cujas atividades e resultados estão descritos a seguir:

A. Planejamento

Nesta etapa os integrantes realizaram um profundo estudo sobre o SO Linux, arquitetura, sistemas de arquivo, pacotes importantes, comandos e scripts, diferença entre suas distribuições (Gnome, KDE, Mandriva) e outros sistemas distintos (Windows, Machintoch).

B. Preparação do Ambiente Anfitrião

No processo de criação de um SO Linux seguindo a referência *LFS*, é necessário possuir uma de suas distribuições instalada para servir de sistema anfitrião, além de um espaço em disco para alocação do novo sistema. Neste projeto foi escolhido o *Ubuntu* como sistema base (anfitrião).

Os integrantes optaram por utilizar uma máquina virtual devido a sua portabilidade, além de evitar danos aos dados já existentes no computador utilizado. A máquina virtual escolhida foi Virtual Box por ser um aplicativo grátis, de interface simples, intuitiva, possuir vários recursos, além de muitos usuários que escrevem em fóruns suas experiências.

Na preparação do ambiente, foi criada uma partição de 20 GB de espaço na máquina virtual (espaço considerado suficiente, já que existem distribuições que ocupam espaço muito menor), onde metade foi utilizada para instalação do sistema base e a outra parte para o sistema hospedeiro. Também foi destinada a máquina virtual metade do processamento e memória RAM do computador. Isso é necessário para reduzir o tempo de compilação dos pacotes úteis na construção do novo sistema.

C. Instalação de arquivos

O Sistema Operacional é o conjunto de programas que fazem a interface do usuário e seus programas com o computador. Ele é responsável pelo gerenciamento de recursos e periféricos (como memória, discos, arquivos, impressoras, CD-ROM's, etc.), interpretação de mensagens e a execução de programas [1]. Estes programas estão contidos em pacotes.

Para a construção do Linux (seguindo *LFS*) são necessários aproximadamente 80 pacotes, que ocupam 148MB de disco. A tabela 1 possui alguns dos pacotes utilizados:

TABELA I
PRINCIPAIS PACOTES UTILIZADOS.

NOME DO PACOTE	VERSÃO	CONTEÚDO
Binutils	2.22	Contém um vinculador, um *assembler* e outras ferramentas que trabalham com arquivos objetos.
Glibc	2.22	Contém a biblioteca C principal.
Flex	2.5.35	Utilizado para gerar programas que reconhecem padrões em textos.
Gcc	4.6.2	Contém os compiladores C/C++.
Make	3.82	Possui programas para compilar pacotes.
Linux	3.2.5	Contém o kernel ("núcleo") do Linux.
Vim	7.3	Editor de texto.
Ncourses	5.9	Contém bibliotecas para manipulação de caracteres no terminal.
Tar	1.26	Programa que armazena e extrai arquivos de um pacote.
Bash	4.2	Interpretador de comandos.
Coreutils	8.15	Contém programas para ajuste de características básicas do sistema.
Sed	4.2.1	Contém um editor de *Stream* (fluxo de dados).
Grub	1.99	Programa multi-carregador de SO.

O processo de instalação de pacotes é dividido em três etapas: descompactação, compilação e instalação. A primeira etapa é realizada no sistema anfitrião, deve-se mover os arquivos descompactados para o sistema hospedeiro via terminal e em seguida, realizar as duas etapas seguintes. É um processo cuidadoso, pois a maioria dos pacotes possui dependências com outros. Uma vez errado o processo de compilação, todo o processo deve ser refeito.

Seguindo a referência *LFS* o primeiro pacote a ser instalado é Binutils, este possui o *assembler* e o vinculador dinâmico que é utilizado pelo *GCC* e *Glibc*, o segundo é o *GCC* que contém os compiladores *C/C++* e o último pacote é o Vim (editor de texto).

D.Tornando o Sistema Inicializável

Após realizar a instalação dos pacotes, o sistema em criação deve ser configurado para ser inicializável. Isto é feito criando o arquivo *FSTAB*, configurando um novo *KERNEL* e instalando o *GRUB*.

O arquivo *FSTAB* determina onde os sistemas de arquivos devem ser montados. A figura 1 mostra este arquivo no sistema criado neste projeto.

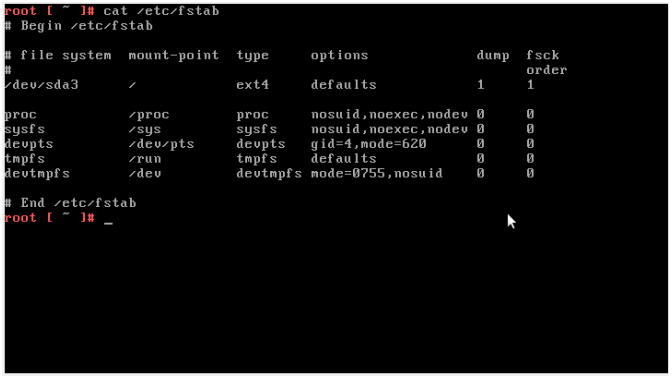


Fig. 1. Arquivo FSTAB.

A configuração do Kernel possibilita adaptá-lo ao hardware de cada usuário (por exemplo: caso o fabricante seja HP, há módulos para HP, caso DELL, também há módulos). É necessário realizar a configuração para que o novo SO seja adaptado conforme a necessidade. Como o sistema proposto é de uso geral (independente do fabricante do hardware) , não houve modificação. A figura 2 mostra a tela de configuração do kernel.

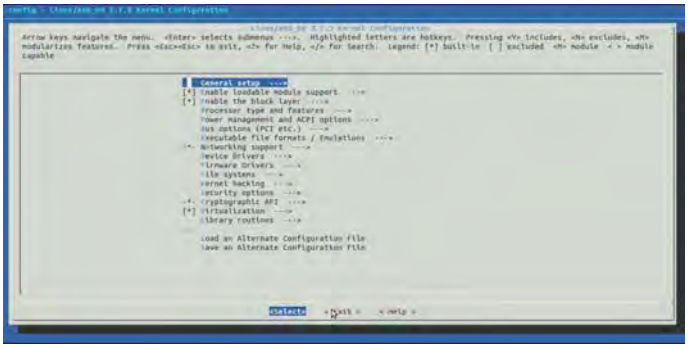


Fig. 2. Tela de configuração do KERNEL.

O *GRUB* (*Grand Unified Bootloader*) é um programa que permite ao usuário escolher através de um menu qual SO será carregado. Uma vez instalado, deve-se criar um arquivo chamado menu.lst no diretório que é responsável pela lista de exibição de sistemas operacionais instalados. A figura 3 mostra o código do "menu.lst" e a figura 4 mostra a tela de exibição do mesmo.

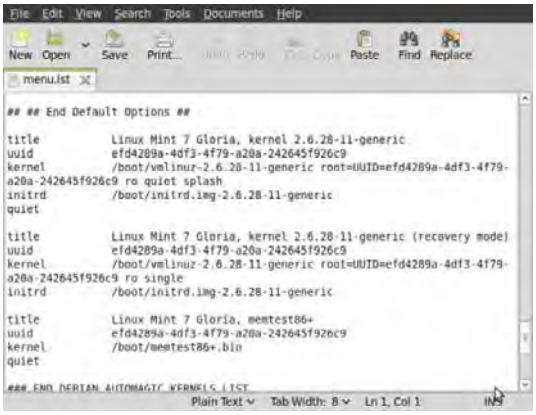


Fig. 3. Exemplo de arquivo menu.lst.

Fig. 4. Menu de escolha do sistema a ser carregado.

Com todos os pacotes instalados e configurados o novo sistema está pronto para ser carregado. As figura 5 e 6 mostra a primeira tela do sistema criado e uma listagem do diretório raiz deste sistema.

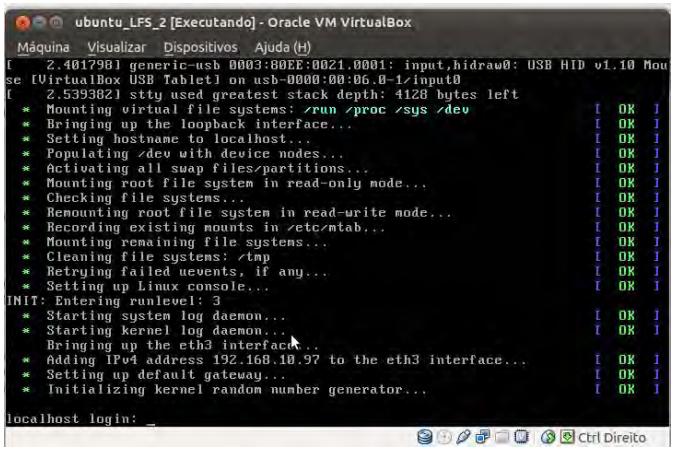


Fig. 5. Tela de Login do novo SO (tela inicial).

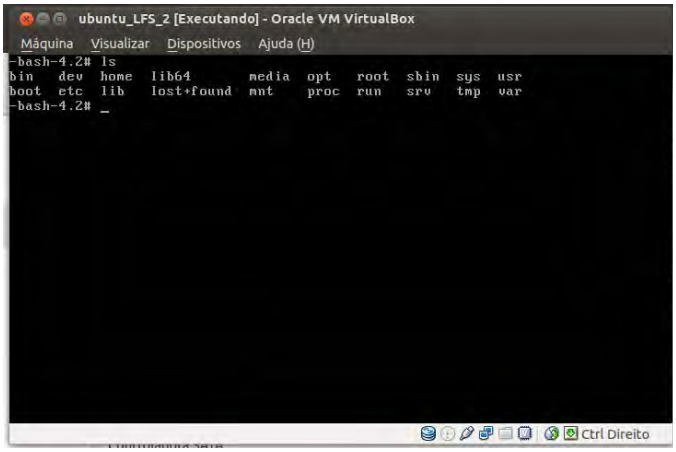


Fig. 6. Diretório raiz (/) do novo SO..

E. Instalando Pacotes de Rede e Segurança

A referência LFS possui uma continuação, o BLFS (*Beyond Linux From Scratch*), cujo o foco é instalar pacotes de segurança, configurar funções de hardware, funções de usuários, instalar interface gráfica e outros aplicativos.

O primeiro conjunto de pacotes indicado pelo BLFS é utilizado para instalação e configuração dos dispositivos removíveis de mídia como pen-drives, CDs, disquetes e USB. Nesta fase ocorreram os piores problemas encontrados ao longo do projeto. O primeiro deles aconteceu devido a uma incompatibilidade entre a máquina virtual e o sistema construído, o que ocasionou no não funcionamento dos dispositivos de mídia. Isto causou um atraso no projeto, pois não era possível instalar novos pacotes por não conseguir conectar a internet e nem através de periféricos.

A solução encontrada para o problema foi realizada em duas etapas: A primeira foi criar um de arquivo de configuração de rede *ETHERNET*. O que não era a solução completa, já que o sistema não possuía o *apt-get*, *wget* e o *kpkg* (programas essenciais para o download de pacotes). A segunda etapa foi criar um servidor FTP (*File Transfer Protocol*), onde foram colocados os pacotes a serem baixados, e em seguida transferidos ao Linux via rede "cabeada".

Os primeiros pacotes instalados foram os pacotes de controle de usuário e segurança (pacote de criptografia de senhas, listas de controle de acesso, entre outros). Seguindo de arquivos com scripts para compressão de manuais de informações do sistema.

TABELA II
PRINCIPAIS PACOTES INSTALADOS DO BLFS.

PACOTE	VERSÃO	CONTEÚDO
Wget	1.14	Programa para instalação de pacotes não interativo.
ConsoleKit	0.4.6	Possui configurações de usuários
Iptables	1.4.17	Principal ferramenta de Firewall do Linux.

Nss	3.14.1	Programa para serviço de segurança em aplicações cliente-servidor.
Stunnel	4.54	Permite realização de tunelamento sobre a rede PPP.
Sudo	1.8.6p3	Permite a alguns usuários executar alguns ou todos os comandos como super usuário.
Apr	1.4.6	Suporte para Apache WEB Service.
Glib	2.34.3	Prove a utilização algumas funcionalidades do sistema como thread, carregamento dinâmico e sistema objeto.
Links	2.7	Navegador de internet em modo texto

Ao concluir estas instalações, o sistema passou a ter um novo layout, com textos coloridos, separando diretórios, de arquivos e link's. A interface passou a ser relativamente mais intuitiva (para usuários familiarizados com sistemas modo texto), já que possuía uma gama maior de comandos e inclusive um navegador web em modo texto, o "Links". A figura 7 exibe o sistema após a instalação destes pacotes.

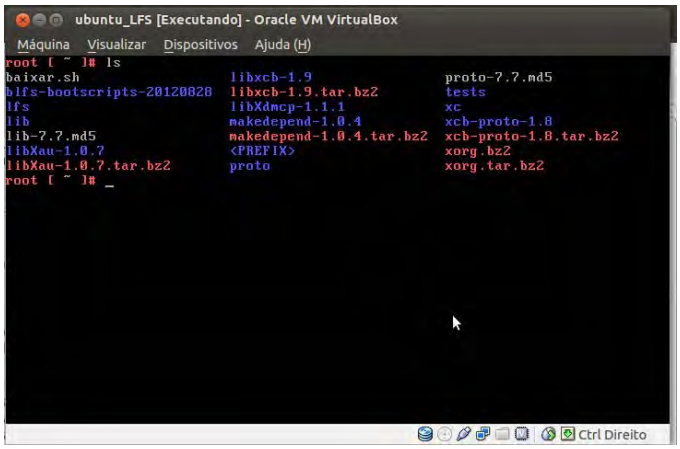


Fig. 7. Sistema com o novo layout.

F. Instalando a Interface Gráfica

A Interface Gráfica é considerada um dos principais requisitos de um sistema operacional. A interface GNOME, utilizada no Ubuntu, é a mais utilizada entre os usuários de sistemas livres [2]. Por este motivo, neste projetos foi a interface escolhida.

Para instalação da interface gráfica é necessário atribuir ao sistema uma série de pacotes como XOrg, XOrg Libraries, UtilMacros e Xcb-proto. Nesta fase ocorreu o segundo e o maior problema encontrado ao longo do projeto. Durante a instalação do pacote MakeDepend ocorria um erro que informava a não instalação de um pacote necessário, o XPROTO. Porém, este pacote é instalado ao atribuir o Xcb-proto, que já havia sido atribuído ao sistema antes.

Após muitas tentativas para encontrar a solução e o prazo de finalização do projeto se esgotando, o integrantes decidiram utilizar um sistema de customização para completar o trabalho já que não havia mais tempo suficiente para mais tentativas de solução, utilizou-se uma versão do *Ubuntu* e um software de customização de SO, para desta forma, a idéia final do projeto pudesse ser apresentada.

Para diferenciar o sistema criado dos demais já existentes, os integrantes modificaram, também, a tela de carregamento do sistema além do layout do GRUB. A figura 8 é uma demonstração de uma das alterações que podem ser feitos na tela de GRUB.

Fig. 8. Adicionado a tela de GRUB uma imagem diferente da padrão.

G. Instalação dos Softwares de Desenvolvimento

Os programas julgados pelos integrantes e por alguns professores da instituição de ensino como os mais úteis para fins acadêmicos e científicos, compõe o sistema criado. A obtenção e instalação destes programas se deram através do pacote APT. O APT (chamado por alguns de apt-get) é uma avançada ferramenta de download e instalação de programas.

A tabela 3 é composta por uma lista de programas para estes fins, instalados no sistema.

TABELA III
PRINCIPAIS SOFTWARES DE FINS ACADÊMICOS/CIENTÍFICOS INSTALADOS

PACOTE	CONTEÚDO
Eclipse	Ambiente de desenvolvimento de aplicativos em diversas linguagens.
Sci-Lab	Software científico para computação numérica, baseado no Matlab

Filezilla	Cliente FTP, SFTP e FTPS muito utilizado por desenvolvedores WEB no processo de *deploy* de aplicativos.
Qt Creator	Ambiente de desenvolvimento multi-plataforma.
Selenium IDE	Plugin para automatização de teste testes.
VirtualBox	Maquina Virtual.
Dia	Editor de diagramas, utilizado na criação de desenhos técnicos
DDD	Programa de depuração de arquivos em C/C++.
MySql WokBench	Sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD).
Tomcat	Servidor WEB Java, container de servlets.
Eagle	Programa de montagem de esquema elétrico.
GCC/G++	Conjunto de compiladores de Linguagens de programação.
WireShark	Analisador de tráfico de rede.
Bison e Flex	Utilizado na construção de linguagens de programação e compiladores.

III. CONCLUSÃO

Construir um sistema operacional não é uma tarefa simples, pois o mesmo utiliza uma grande quantidade de arquivos e necessita de muito cuidado na instalação deles, além de necessitar de muito tempo de construção. Porém é um processo de muito aprendizado. É interessante poder olhar para um sistema e poder entender o que ocorre nas camadas mais internas, além da que o usuário comum pode ver, em outras palavras enxergar o que ocorre "por baixo dos panos", quais arquivos são responsáveis por determinados eventos no sistema.

Este processo foi tão motivador que inspirou os integrantes a continuá-lo no Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

IV. REFERÊNCIA

[1] - M. S. Gleydson, 05/12/2010. *Guia Foca GNU/Linux*, versão 4.22, 2010. Disponível: http://www.guiafoca.org/?page_id=238.

[2] Beekmans. Gerard. 2012. Linux From Scratch, versão 7.1. 2012. Disponível: http://www.vivaolinux.com.br/linux/

[*] Bernardes, Luan. Oliveira, Janiel. Etapas de Desenvolvimento de Sistemas. 2011. Disponível: http:// http://portalsis.wordpress.com/category/artigos-cientifico/

Uma Ferramenta Baseada em Jogos para Apoio ao Ensino de Algoritmos

Rosimara Beatriz Arci Salgado[1]
Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
rosimara@inatel.br

Carlos Alberto Ynogutti
Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
ynoguti@inatel.br

Jonas Vilasbôas Moreira
Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
jonas@inatel.br

Caroline Tenório Ribeiro[2]
Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
caroltr.srs@gmail.com

Leandro M. Borelli Magalhães
Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
leandrombm@gmail.com

***Resumo*—Este artigo contém informações sobre a ferramenta "Piratas do Futuro", que foi desenvolvida com base em jogos do gênero RPG (*Role Playing Game*) a fim de auxiliar o processo de ensino-aprendizagem em algoritmos e lógicas de programação.**

***Palavras chave*—RPG, algoritmos, ferramenta educacional, lógica de programação.**

I. INTRODUÇÃO

O presente artigo tem a finalidade de apresentar o aperfeiçoamento da ferramenta "Piratas do Futuro", desenvolvida no ano de 2011 pelo Eng. Jonas Vilasbôas Moreira, na época aluno do curso de Engenharia da Computação do Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel.

No âmbito técnico, serão expostas as novas funcionalidades e o novo *layout* do jogo. Do ponto de vista pedagógico, a metodologia adotada e seus benefícios para o processo de ensino-aprendizagem em algoritmos.

Para estes objetivos, o artigo foi estruturado da seguinte forma: na seção II é mostrada a importância dos jogos para a educação, a descrição de um jogo do gênero RPG (*Role Playing Game*) e sua relação com o ensino de algoritmos. Na seção III é apresentada a ferramenta "Piratas do Futuro", suas melhorias, características técnicas e funcionamento. Na seção IV estão as conclusões e para finalizar, a lista de referências.

[1] R. B. A. Salgado (rosimara@inatel.br); J. V. Moreira (jonas@inatel.br) e C. A. Ynogutti (ynogutti@inatel.br) pertencem ao Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel. Av. João de Camargo, 510 – Santa Rita do Sapucaí – MG – Brasil – 37540-000.

[2] C. T. Ribeiro (caroltr.srs@gmail.com) e L. M. B. Magalhães (leandrombm@gmail.com) são discentes do Curso de Engenharia da Computação do Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel, vinculados ao Programa de Iniciação Científica da FAPEMIG, período de 01/03/2012 a 01/02/2013.

II. O RPG NO ENSINO DE ALGORITMOS

A. A Importância dos jogos para a educação

As Tecnologias da Informação e da Comunicação (TICs) já fazem parte do cotidiano das pessoas que nasceram e cresceram em um mundo cada vez mais digitalizado, em rede e interativo. A esses nativos digitais se une ainda um crescente contingente de pessoas que desejou e soube se adaptar à evolução tecnológica e desta se apropriar. Há ainda muitos excluídos digitais, mas espera-se que políticas públicas adequadas e ações da própria sociedade venham a reduzir substancialmente esse problema no futuro próximo. O fato é que a nossa sociedade está conectada tecnologicamente e digitalmente, interagindo em ambientes reais e/ou virtuais quase que sem diferenciá-los e utilizando aparatos tecnológicos como se fossem extensões do corpo e da mente. Isso indica que a realidade escolar não pode ser diferente da realidade cultural dos alunos. Os nativos digitais dão como certo o uso de tecnologia e muitas escolas e professores imigrantes digitais certamente precisarão se adaptar a essa realidade. Esse distanciamento da realidade do estudante torna a vivência educacional pouco significativa e, portanto, menos interessante e motivadora.

Portanto, "a presença dos jogos eletrônicos na sociedade contemporânea vem-se constituindo em um fenômeno cultural que exige um olhar diferente na comunicação, na psicologia e na educação, na medida em que essas novas mídias podem atuar como elementos mediadores do processo de construção de conceitos distintos. Novas mídias aqui compreendidas, na perspectiva de L. Manovich [1], como "objetos culturais que usam a tecnologia computacional digital para distribuição e exposição. Portanto, a Internet, os sites, a multimídia de computadores, os jogos e os efeitos especiais gerados por computadores enquadram-se todos nas novas mídias".

O propósito de toda instituição de ensino é preparar o cidadão para atuar na sociedade, estimulando-o a pensar,

buscar e investigar através de desafios que incitam à pesquisa e à realização de situações-problema por uma abordagem construcionista, termo cunhado por S. Papert [2] através dos princípios do construtivismo de Jean Piaget, onde o aluno constrói o seu próprio aprendizado por intermédio de alguma ferramenta, tal como o computador.

Na concepção piagetiana, os jogos consistem numa assimilação funcional, num exercício das ações individuais já aprendidas, gerando, ainda, um sentimento de prazer pela ação lúdica em si e pelo domínio sobre as ações. Portanto, os jogos podem ter dupla função: consolidar os conhecimentos adquiridos e dar prazer ou equilíbrio emocional à criança [3].

Conforme Almeida [4], é preciso criar um ambiente que favoreça a aprendizagem significativa ao aluno, "desperte a disposição para aprender [5], disponibilize informações pertinentes de maneira organizada e, no momento apropriado, promova a interiorização de conceitos construídos".

Segundo J. Piaget, "O principal objetivo da educação é criar homens que sejam capazes de fazer novas coisas e não de simplesmente repetir o que outras gerações fizeram, homens que sejam criativos, inventores e descobridores; o segundo objetivo da educação é formar mentes que possam ser críticas, que possam analisar e não aceitar tudo que lhes é oferecido" [6].

A partir desse cenário, foi desenvolvido o projeto "Piratas do Futuro", baseado em jogos do gênero RPG, que consiste em uma ferramenta para auxiliar o ensino de algoritmos.

B. Caracterização de um jogo RPG

O RPG é um tipo de jogo onde cada jogador interpreta um personagem e, coletivamente, vivem uma história fantástica e diferente do nosso mundo real. O RPG de mesa e o RPG *Online* são os tipos mais conhecidos, e dos quais foi fundamentado este projeto.

No RPG de mesa, o condutor da história é chamado de mestre. É ele quem cria a história dos jogadores e ambienta estes no jogo. Ele conduz o grupo de acordo com esta história e regras do sistema escolhido, propondo um objetivo e desafios a serem explorados por cada personagem. Existem livros em que a história pode ser baseada, e dados multifacetados que auxiliam nas decisões tomadas por cada personagem.

O RPG *Online* segue o mesmo princípio do RPG de mesa, porém não existe um mestre. A história é criada de forma que um número muito grande de jogadores possa jogar e ter o mesmo tipo de interação em tempo real. O mundo virtual do jogo fica armazenado em um servidor, e para ter acesso, é necessário apenas criar uma conta.

C. Jogos online e o ensino de Algoritmos

A disciplina de Algoritmos é uma das mais importantes em cursos da área de computação, pois ela é a base de qualquer linguagem de programação, como Java, C/C++, dentre outras.

Um dos grandes desafios para o educador de algoritmos/programação é fazer com que o aluno se interesse em resolver os problemas propostos. A forma com que eles são expostos, como uma lista de problemas aleatórios do dia-a-dia, muitas vezes desmotiva e torna a matéria cansativa.

Dessa forma, através do estudo feito para a elaboração deste artigo, observou-se que a ideia de que jogos têm como único objetivo o entretenimento, vem sendo descartada. Existe uma série de pesquisas sobre o tema que os defendem como importante meio de desenvolvimento intelectual. Podemos usar como exemplo, os artigos e reportagens tomados como referência neste mesmo documento.

Sendo o RPG *Online* um tipo de jogo com grande aceitação por jovens e adultos, ele se tornou uma ferramenta interessante para a criação deste projeto. Algumas características educacionais podem ser apontadas no RPG quando se pensa nesta ferramenta. São elas: a socialização, a colaboração, a interatividade, a cooperação, e de forma não diretamente ligada a algoritmos, mas também muito importante em qualquer disciplina de qualquer curso de graduação, o hábito de leitura [7]. Este último é observado na necessidade de ler com atenção cada desafio proposto, para a correta interpretação e solução do mesmo.

Ainda, segundo C. E. Rapckiewicz, G. Falkembach, L. Seixas, N. S. Rosa, V. V. da Cunha e M. Klemann, "os jogos podem ser ferramentas eficientes, pois eles divertem enquanto motivam, facilitam o aprendizado e aumentam a capacidade de retenção do que é ensinado, exercitando as funções mentais e intelectuais do jogador" [8].

Para S. Johnson [9], a série de eventos gerados ao jogar traça uma narrativa que despertará no jogador o prazer de acompanhar o desenrolar da história construída pelos desafios propostos. De fato, aprende-se "fuçando", sem a necessidade de manuais. Essa investigação realizada pelo jogador para descobrir a lógica presente no jogo, a complexidade de seu sistema, muitas vezes ocorre de forma intuitiva. E é isso que o atrai: o desafio de desvendar esse novo objeto de investigação.

Ao resgatar as ideias de Gee [10], que aponta que a interação com os jogos permite aos jogadores:

- Aprender a experimentar (ver e atuar sobre) o mundo de uma maneira nova.
- Obter o potencial para unir-se e colaborar com um novo grupo de afinidades.
- Desenvolver recursos para uma aprendizagem futura e para a resolução de problemas nos âmbitos semióticos que estão relacionados ao jogo.
- Aprender a pensar sobre os âmbitos semióticos como espaços de desenho que implicam e manipulam pessoas de certa maneira e as ajudam a criar, por sua vez, certas relações na sociedade entre pessoas e grupo de pessoas, algumas das quais têm importantes implicações para a justiça social.

Assim, podemos afirmar que o contato com os jogos possibilita aos jovens habilidades fundamentais para o sucesso do processo de ensino-aprendizagem na medida em que proporcionam habilidades e competências para que se mantenham "vivos" na sociedade e no mundo do trabalho.

Portanto, utilizar um jogo para o ensino de algoritmos é uma solução para que o estudante passe a ter mais envolvimento com os problemas, pois cada um destes

constituirá a história de seu personagem. O interesse pelos desafios será maior, e assim o aluno se dedicará para ser o melhor da turma.

III. A Ferramenta Piratas do Futuro

A. Descrição da ferramenta

O Projeto "Piratas do Futuro" tem como objetivo despertar o interesse do aluno no ensino de algoritmos através de um jogo do gênero RPG, visando tornar agradável a tarefa de se sentar em uma cadeira para desenvolver o código de um algoritmo.

Por trás de todo bom jogo, existe uma história envolvida. No caso de "Piratas do Futuro" não é diferente. A história se passa no planeta Terra, versão pós-apocalíptica, onde a luta pela sobrevivência e recursos naturais é a única coisa que importa. A água tomou conta da maioria da superfície do planeta, e o pouco que restou de terra dos continentes foi dominado pelas corporações mais ricas que dividem os territórios com os rebeldes.

Ao criar um personagem, o aluno é inserido neste contexto. A partir de então, cada um começará a desenvolver seu próprio enredo de acordo com as atividades escolhidas dentro do jogo.

As atividades começam em um nível mais fácil e pode até chegar aos mais difíceis, conforme a evolução do próprio personagem. O jogador conseguirá resolver os primeiros desafios sem grandes dificuldades, e passará a se interessar pelo "atalho dos níveis", e sem perceber, passará a tentar também resolver os problemas mais complicados.

O trabalho do professor também é diferenciado. Ele deve desenvolver um problema que se encaixe na história corrente do jogo de uma maneira coerente com o personagem do aluno para resolver determinada situação-problema. Além da recompensa por vencer os desafios, o aluno deve ter a sensação que seu personagem influencia aquele mundo de alguma maneira (item essencial em um jogo de RPG de mesa). Portanto, o aluno deve fazer as tarefas, sejam elas missões ou desafios para de certa forma "garantir seu lugar" nesta sociedade virtual.

B. Aperfeiçoamentos realizados no projeto

Através de um cronograma detalhado, foram especificadas as tarefas de programação e *design* gráfico a serem realizadas durante o período de um ano.

Para a área de programação, foram feitas as seguintes atividades:

- Estudo das linguagens adotadas: HTML (*HiperText Mark-up Language*), CSS (*Cascading Style Sheets*), PHP (*Hypertext Preprocessor*) e *JavaScript*;
- Refinamento do código para o melhor entendimento da ferramenta (identação e padronização de variáveis);
- Desenvolvimento das salas de aula e histórico das atividades dos alunos;
- Concretização da ideia do *Survey* (disponibilizar ao final de cada atividade, uma pergunta de âmbito educacional e técnico sobre o projeto, com o objetivo de se ter o *feedback* do uso da ferramenta);
- Aplicação do novo *layout* às páginas (visão do aluno e visão do professor);
- Aperfeiçoamento do código que verifica os algoritmos submetidos pelos alunos.

Para a área de *design* gráfico, foram feitas as seguintes atividades:

- Estudo de identidade visual aplicado para o projeto;
- Desenvolvimento de um logotipo;
- Criação de um novo *layout* para o jogo (visão do professor e visão do aluno);
- Desenvolvimento das imagens para o banco de imagens (armaduras e armas);
- Desenvolvimento de novos mapas;
- Criação de um *trailer* para a apresentação da ferramenta.

C. Características técnicas do jogo

a. Linguagens utilizadas para o desenvolvimento

O projeto foi desenvolvido em PHP, uma linguagem de programação interpretada, livre e muito utilizada no desenvolvimento de páginas *web*. Sua utilização no projeto se deu devido a sua fácil conexão com banco de dados (Mysql). O *JavaScript* também teve participação devido as suas características *client-side*, o que significa que os *scripts* são interpretados pelo navegador do cliente, ou seja, sua execução ocorre no computador do usuário, e não no servidor.

Para a estruturação do conteúdo do *site* foi utilizado o HTML, já bastante conhecido para estes fins, enquanto a definição do estilo dos elementos das páginas foi feito através do CSS.

Como servidor, o projeto necessita de uma máquina com o sistema operacional *Linux*, já que foi utilizado um recurso PHP que executa códigos *Shell*. Os testes foram realizados em uma distribuição *Linux Ubuntu*.

b. Design Gráfico

O *design* de um jogo é algo fundamental, pois ele tem o objetivo de chamar a atenção de seu público-alvo, transmitindo a ideia de como é o ambiente em que se passa a história.

Na criação do logotipo da ferramenta, conforme ilustra a Figura 1, foi preservado o símbolo padrão de um pirata, no caso uma caveira, dando alguns toques de algo futurista, como um raio e as estrelas metálicas.

Fig. 1. Logotipo desenhado para o jogo.

Para a criação do *site* e das imagens do jogo, foram utilizados traços para dar uma visão de um mundo fantástico, ou seja, se encaixar com a ideia de um mundo pós-apocalíptico. Portanto, o *design* das páginas internas e externa do jogo foi criado e implementado seguindo a mesma identidade das mais de 30 imagens produzidas, entre acessórios, armaduras, armas brancas e de fogo, objetos estes feitos à mão para posteriormente serem vetorizados e inseridos no banco de imagens do jogo. As Figuras 2, 3 e 4 representam parte dos desenhos criados.

TABELA I
EXEMPLO DE IMAGENS CRIADAS PARA O BANCO DO JOGO

Fig. 2. Acessórios	Fig. 3. Arma de fogo	Fig. 4. Arma branca

D. *Funcionamento*

Seguem abaixo dois perfis da ferramenta: um na visão do aluno e o outro, na visão do professor.

a. *Visão do aluno*

O aluno terá um grupo grande de atividades disponíveis. Para demonstração, utilizaremos uma rodada completa, ou seja, todas as ações que um jogador pode executar até que sua energia se esgote.

Após se cadastrar e fazer a primeira visita, a tela inicial com as boas vindas é apresentada. Esta tela será sempre a primeira após o *login*, e mostrará dicas para os usuários.

Caso o usuário seja novo, este deverá seguir para a aba *Status*, onde se encontra os passos para o cadastro de seu personagem. Conforme ilustra a Figura 5, deverá ser escolhido um nome, distribuir os pontos de atributo (que servem de base para os testes realizados pela *engine* do jogo quando um aluno realiza alguma missão ou combate na arena), escolher a habilidade e, por último, a escolha do item inicial.

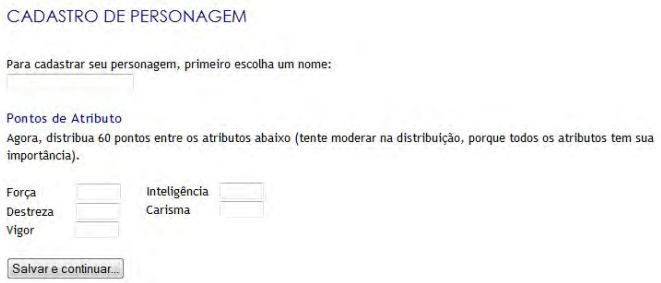


Fig. 5. Primeira tela para o cadastro do personagem.

Os itens são elementos clássicos em um jogo do gênero RPG. Eles podem ser coletados no decorrer do jogo e alteram as fichas do personagem de alguma maneira, por exemplo, aumentando o valor de algum atributo ou pontos de vida. São os itens que fazem a diferença de um personagem para o outro.

O primeiro passo após a criação do personagem é equipar o item escolhido, assim como mostra a Figura 6. Para isto, ele deve seguir para o "inventário", e pressionar o botão equipar.

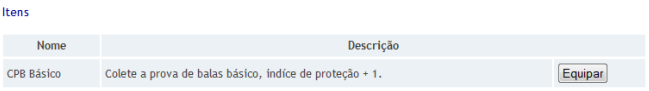


Fig. 6. Item contido no inventário. No exemplo, é possível equipá-lo.

A partir deste momento, o jogador já tem um personagem e pode começar a jogar.

O aluno possui três atividades principais que fornecem experiência e outras bonificações como equipamentos, *battle points* e moedas piratas. São elas: Desafios, Missões e Luta.

A mais interessante do ponto de vista educacional são os Desafios. São eles os problemas criados pelo professor e que devem ser solucionados pelos alunos na forma de um código de algoritmo. Eles fornecem mais experiência que as outras atividades, com o objetivo de estimular a preferência dos alunos por esta ação.

Nessa página, o aluno deve escolher um dos problemas cadastrados, preparar a solução e submetê-la em C++. O código é então compilado, testado e, em seguida, retornado se está correto ou não.

A Figura 7 apresenta um exemplo de desafio.

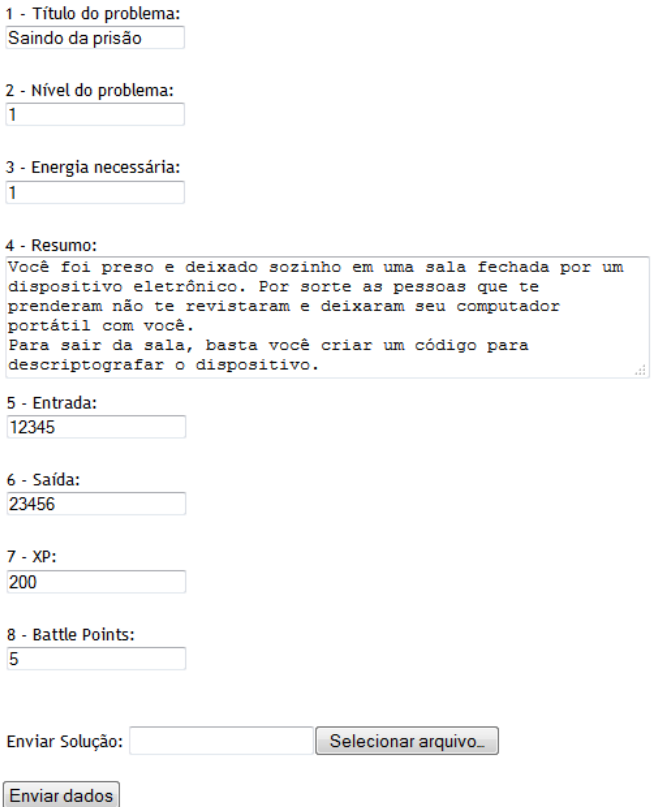


Fig. 7. Exemplo de um desafio.

Além dos desafios, os alunos também têm a opção de fazer as missões. As missões são partes complementares da história que são facilmente realizadas pelos personagens. Seu pré-requisito é apenas a quantidade de energia especificada em cada uma.

Para terminar uma rodada, o aluno pode esgotar seus pontos de energia na Arena. A Figura 8 mostra a tela da Arena. Nesta área é exibida a lista de todos os personagens. É possível visualizar a quantidade de experiência, vida e energia de cada um ao clicar em seu nome. Todos podem lutar contra todos, sendo que apenas o aluno desafiante tem conhecimento do oponente. Este, não chega a saber, que seu personagem participou da luta. É feito apenas uma cópia de seus atributos para simular o embate.

Fig. 8. Tela da Arena listando todos os jogadores para a escolha do oponente.

Além das atividades que requerem energia, o jogador também possui áreas importantes para a história e crescimento do personagem. A "loja" é onde acontece a compra ou venda de itens. É possível o enriquecimento, no caso da venda, ou o melhoramento de seus atributos, no caso de compra. Por último existe o "mapa". Nessa página se encontra a localização do personagem, podendo este viajar para outros mapas quando quiser.

Após estas ações, o aluno deve esperar a recuperação de energia. Assim, ele pode repetir estes passos, ou aderir a uma nova estratégia.

b. Visão do Professor

A visão do professor tem como objetivo principal o cadastro de desafios e missões, e o acompanhamento de seus alunos.

O professor deve seguir até a aba "Desafios" e escolher qual atividade deseja cadastrar. As missões requerem um título, nível a que ela se encaixa, energia necessária, descrição, experiência e localização. No caso de desafios, acrescenta-se a esta lista: entrada, saída e *battle points*. Também é possível a listagem e edição de missões e desafios já cadastrados.

Conforme ilustra a Figura 9, na aba "Turmas" são visualizadas todas as turmas que o professor leciona.

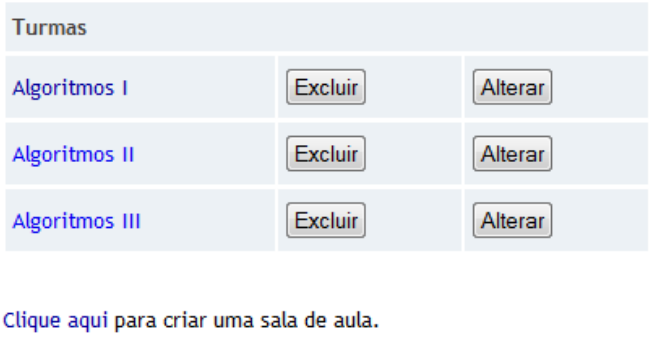


Fig. 9. É possível visualizar as turmas ministradas pelo professor, com a opção de excluí-la ou editá-la.

Ao selecionar uma, os alunos nela cadastrados são listados, tendo acesso a todas as ações de cada um dentro do jogo, para que o professor tenha conhecimento da atividade em que cada aluno passa mais tempo.

IV. CONCLUSÕES

Ao final deste trabalho, conclui-se que o jogo "Piratas do Futuro" apresenta uma abordagem motivadora para apoiar o ensino de algoritmos, porém este não deve ser considerado pela sua natureza de operação, um substituto do professor. O jogo é apenas uma ferramenta de apoio, um facilitador para as ações educacionais do educador. Portanto é um "meio" favorecedor e fortalecedor para o processo de ensino-aprendizagem em algoritmos. O condutor principal, inclusive no jogo, continua sendo o educador, capaz de mediar o processo, estimulando o aluno "aprender a aprender".

Como projeto de Iniciação Científica, obteve-se o êxito em todas as tarefas programadas, de forma que novas atividades e recursos serão realizados em 2013 com o objetivo de:

- Criar novas imagens e alimentar o banco de figuras;
- Desenvolver a funcionalidade avatar;
- Criar um sistema de pré-requisitos para as missões e para os desafios;
- Melhorar a visão do professor;

- Agregar o recurso fórum ou *chat* para maior interação entre os participantes.
- Adotar a ferramenta “Piratas do Futuro” como apoio às atividades da disciplina “Algoritmos III” do curso de Engenharia da Computação do Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel. O objetivo é realizar a manutenção e a fomentação da ferramenta com desafios inerentes à disciplina de forma significativa e contextualizada para o aluno a fim de se obter os resultados educacionais e técnicos pretendidos.

Estas são as formas de sustentar esta pesquisa científica com o propósito de exaltar a importância do uso de jogos do gênero RPG como recurso educacional de apoio para o processo de ensino-aprendizagem em algoritmos.

REFERÊNCIAS

[1] L. Manovich. “Novas Mídias como Tecnologias e idéia: dez definições”. In: LEAO, L (org.) *O chip e o caleidoscópio: reflexões sobre as novas mídias.* São Paulo: Senac, 2005, p. 23-50.

[2] S. Papert. “LOGO”: computadores e educação. São Paulo: Brasiliense, 1985.

[3] C. D. Pizzo e A. Zanatta. “O RPG como técnica na construção de software educacional”: A Revolução Farroupilha, Simpósio Brasileiro de Informática na Educação 2001, disponível na WWW em <www.inf.ufes.br/~sbie2001/figuras/artigos/a012/a012.htm>, acesso em 12/06/2003.

[4] M. E. B. Almeida. “O computador na escola”: contextualizando a formação de professores. 2000. Tese (Doutorado em Educação) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2000.

[5] J. I. Pozo, (org) “A solução de problemas”: aprender a resolver, resolver para aprender. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

[6] J. Piaget. “Psicologia e Pedagogia”. Tradução: Dirceu Lindoro e Rosa M. R. da Silva. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1970. p. 28.

[7] S. S. X. Cabalero, A. E. R. Matta “O jogo RPG digital e a educação: possibilidade de aplicação no ensino presencial e na EAD.”.

[8] C. E. Rapckiewicz, G. Falkembach, L. Seixas, N. S. Rosa, V. V. da Cunha and M. Klemann “Estratégias Pedagógicas no Ensino de Algoritmos e Programação associados ao uso de jogos educacionais (artigo não publicado),” unpublished.

[9] S. Johson. *Surpreendente: a televisão e o videogame nos tornam mais inteligentes*. Rio de Janeiro: Campus, 2005.

[10] J. P. Gee. *Lo que nos enseñan los videojuegos sobre el aprendizaje y el alfabetismo*. Málaga: Aljibe, 2004.

Aprendendo e Ensinando a Linguagem de Programação Java utilizando o Robocode

Vilmondes Ribeiro Silva

Curso de Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações (UFU)
Caboco1000@hotmail.com
Patos de Minas – MG – Brasil

Laurence Rodrigues do Amaral

Faculdade de Computação (FACOM)
Universidade Federal do Uberlândia (UFU)
laurence@facom.ufu.br
Patos de Minas – MG – Brasil

***Resumo*— Atualmente a computação está cada dia mais presente no dia-a-dia de cada um. Esta utilização crescente fez com que a demanda por profissionais de computação aumentasse em progressão geométrica. Infelizmente no Brasil, o primeiro contato com algoritmos e linguagens de programação se dá na universidade, e somente nos cursos relativos à área de Ciências Exatas. Desta forma, a estimulação do raciocínio lógico-matemático se dá de forma tardia, contribuindo para os altos índices de evasão escolar e consequentemente, na diminuição dos profissionais inseridos no mercado de trabalho. Desta forma, este trabalho tem por objetivo utilizar o ambiente Robocode para ensino de algoritmos e linguagens de programação, utilizando uma metodologia de ensino diferente da metodologia vastamente utilizada pelos docentes da área de computação. Acreditamos que esta metodologia de ensino estimulará o senso investigativo dos alunos envolvidos, promovendo assim, o raciocínio lógico-matemático dos envolvidos de forma rápida e divertida.**

Palavras-Chave: Java, Robocode, Ensino, Aprendizado.

***Abstract*— Currently computing is increasingly present in the day-to-day each. This increased use has caused the demand for computing professionals increased in geometric progression. Unfortunately in Brazil, the first contact with algorithms and programming languages is given at the university, and only in courses related to the field of Exact Sciences. Thus, stimulation of logical and mathematical thinking occurs so late, contributing to high school dropout rates and consequently reduce the professionals entered the labor market. Thus, this paper aims to use the Robocode environment for teaching programming languages and algorithms, using a different methodology of teaching methodology widely used by teachers in the area of computing. We believe this methodology of teaching investigative stimulates the sense of the students involved, thus promoting the logical and mathematical thinking of those involved in a fast and fun.**

Keywords: Java, Robocode, Teaching, Learning.

I. Introdução e Justificativa (fundamentação teórica)

É inegável dizer que atualmente a computação está cada dia mais presente no dia-a-dia de cada um. Acesso a bancos, e-mail, interatividade através de internet, telefonia e televisão são exemplos da vasta malha de informações atualmente existente. Esta utilização crescente fez com que a demanda por profissionais de computação aumentasse em progressão geométrica [1].

Infelizmente no Brasil, o primeiro contato com algoritmos e linguagens de programação se dá apenas na universidade, e somente nos cursos relativos à área de Ciências Exatas e Engenharias, principalmente na área de Ciência da Computação. Desta forma, a estimulação do raciocínio lógico-matemático se dá de forma tardia, contribuindo para os altos índices de evasão escolar.

Desta forma torna-se extremamente interessante, a fim de suprir esta estimulação tardia, que atividades de desenvolvimento de algoritmos e conhecimento de linguagens de programação se desse de forma mais precoce na vida dos estudantes. Acreditamos que esta situação, possa ajudar a diminuir os níveis de evasão escolar destas áreas, contribuindo para a formação de profissionais mais preparados e capacitados.

Um ambiente que vêm ganhando espaço nesta estimulação às atividades de aprendizado de algoritmos e linguagens de programação é o Robocode. Ele é um jogo educativo de programação, onde o objetivo é desenvolver um tanque de guerra robô para a batalha contra outros tanques desenvolvidos em Java ou .NET. A ideia básica é utilizar as classes bases disponíveis pelo ambiente para criar seu próprio robô e colocá-lo em batalha com robôs criados por outros desenvolvedores.

Este ambiente tem por principal característica o fácil entendimento, sendo uma maneira divertida de se aprender a programar. Robocode vem com seu próprio instalador, o built-in robô editor e o compilador Java, e só exige que a Java Virtual Machine (JVM) esteja instalada no computador.

II. Objetivos

Este trabalho tem por objetivo utilizar o ambiente Robocode para ensino de algoritmos e linguagens de programação. Acreditamos que esta metodologia de ensino estimulará o senso investigativo dos alunos envolvidos, promovendo um contato mais precoce com a linguagem de programação Java, promovendo assim, o raciocínio lógico-matemático dos envolvidos de forma rápida e divertida.

Além de aprender algoritmos e a linguagem de

programação Java através do ambiente Robocode, o bolsista envolvido participará de atividades que trabalharão seu senso de liderança, desenvolvendo precocemente habilidades importantíssimas para seu desenvolvimento pessoal e profissional. Além disso, este projeto prima pela ampla divulgação científica do conhecimento construído, disponibilizando-o para toda a sociedade, através de palestras, mini-cursos, artigos técnicos e científicos. Serão ministrados mini-cursos em várias escolas públicas e privadas, utilizando laboratórios de informática presentes nas mesmas, além da organização e participação a eventos e exposições, tais como o "Robocode Liga Liag" organizado pelo "LIAG/Unicamp".

Além destes objetivos supracitados, objetivamos com este projeto de pesquisa solidificar, no campus Patos de Minas da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), atividades de pesquisa, atividades estas primordiais na busca pelo fortalecimento da tríade ensino-pesquisa-extensão dentro das instituições de ensino superior.

III. Atividades realizadas e a serem realizadas

A As atividades que serão desenvolvidas neste projeto são divididas em quatro etapas. Na primeira etapa ocorrerá um treinamento abrangendo as tecnologias abordadas, treinamento este já ministrado. Na segunda etapa, realizada após o término da primeira, ocorrerá o planejamento e a realização de palestras e mini-cursos em diversas escolas públicas e privadas, visando à disseminação dos conhecimentos obtidos nos treinamentos realizados na etapa 1. Ao final da segunda etapa, realizaremos numa terceira etapa, a organização de um evento aberto a toda sociedade, estimulando a competição e promovendo a interação entre os participantes. Na quarta etapa, iremos compilar todos os dados obtidos no projeto e construir um artigo científico.

Um ponto importantíssimo a ser elucidado refere-se à estrutura hierárquica a qual o projeto está estruturado. A Figura 1 ilustra a estrutura hierárquica do projeto, sendo esta formada por três pilares: coordenador, bolsista PIBIC e bolsistas e voluntários PIBIC-JR.

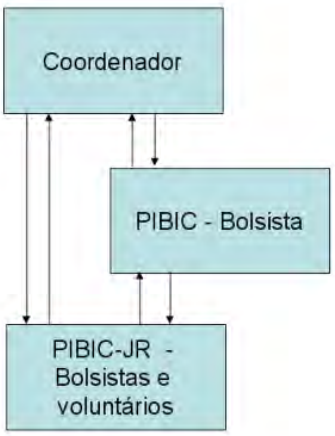


Figura 1. Estrutura hierárquica dos envolvidos no projeto

Cabe ao bolsista PIBIC, acompanhar, orientar e trabalhar para que todos os pertencentes do PIBIC-JR consigam atingir os objetivos propostos no trabalho, isto é, consigam aprender algoritmos e a linguagem de programação Java, além de aprenderem a organizar um evento científico e construírem trabalhos científicos. Estas atividades além de contribuírem para o desenvolvimento técnico do bolsista PIBIC, as mesmas também trabalharão o senso de liderança do envolvido, trazendo enormes benefícios para o bolsista.

Referências

[1] M. R. C. RUBINI, Metodologia para Ensino de Linguagem Java Utilizando o Robocode, Monografia de Especialização, Universidade Estadual de Londrina, 2004.

[2] N. WIRTH, Algoritmos e Estruturas de Dados, LTC Informática-Programação, 1989.

[3] R. P. SANTOS and. , H. A. X. COSTA Análise de Metodologias e Ambientes de Ensino para Algoritmos, Estruturas de Dados e Programação aos iniciantes em Computação e Informática. INFOCOMP – JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE, Lavras/MG – Brasil, v. 5, n. 1, p. 41-50, 2006.

The Freescale Cup Racing Car

Aline Cássia Bernardo
Inst. Nac. de Telecomunicações – Inatel
alineb@gee.inatel.br

Audrei Silva
Inst. Nac. de Telecomunicações – Inatel
audrey_cdp@hotmail.com

Luan Magalhães de Souza
Inst. Nac. de Telecomunicações – Inatel
luanm@gee.inatel.br

Evandro Luis Brandão
Inst. Nac. de Telecomunicações – Inatel
evandro@inatel.br

***Resumo* – O presente artigo tem por objetivo enumerar os resultados obtidos a respeito do desenvolvimento do projeto "The Freescale Cup Racing Car", para a competição nacional da Freescale.**

***Palavras chaves* – Robótica, Microcontroladores, Competição "The Freescale Cup Racing Car".**

I. INTRODUÇÃO

"The Freescale Cup Racing Car" é uma competição global onde estudantes utilizam de conhecimentos de software para fazer um carrinho percorrer uma pista em velocidade [1]. O carrinho deverá percorrer está pista no menor tempo possível e sem descarrilar.

O carrinho é um composto por um chassi, motores DC para movimentá-lo, um servo (que o direciona – esquerda direita), placas de circuito impresso que comportam o microcontrolador e uma câmera.

A pista de velocidade é um circuito branco com uma faixa preta ao centro da mesma, esta pista pode apresentar aclives e declives curvas com inúmeras angulações e obstáculos como lombadas e bifurcações.

II. CODEWARRIOR

CodeWarrior é um completo Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) que fornece uma estrutura altamente visual e automatizado para acelerar o desenvolvimento de aplicações incorporadas mais complexas.

III. SISTEMA EMBARCADO

Um sistema embarcado é um sistema de computador projetado para funções específicas de controle dentro de um sistema maior.

Sistemas embutidos contêm núcleos de processamento que são ou microcontroladores ou processadores de sinais digitais (DSP). A principal característica, no entanto, está a ser dedicado a lidar com uma tarefa particular.

IV. DESCRIÇÃO DE FUNÇÕES

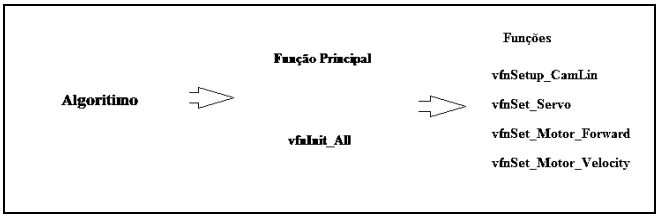


Figura 1-Diagrama de funções

vfnSetup_CamLin – Essa função interpreta o sinal captado pela câmera, através da reflexão ou não da luz na pista e defini contadores de clocks a partir de pulsos, define também canais de PWM para cada um.

vfnSet_Servo - Define o servo motor para uma posição em relação aos valores máximos e mínimos estabelecidos, podendo rotacionar o motor de 0º a 180º que vão direcionar as rodas para direita, esquerda e linha reta.

vfnSet_Motor_Forward- Envia impulsos para a Ponte H para o motor ser polarizado normal (para a frente) ou invertido, dependendo da função, e para o motor parar, as saídas IN1 e IN2 devem ser ligadas a 5V .

vfnSet_Motor_Velocity – Define a velocidade desejada para o motor através do aumento do sinal de PWM, se a velocidade medida for considerada lenta ou diminuindo o sinal de PWM, se a velocidade medida for considerada rápida. Ele funciona com um algoritmo proporcional integral.

vfnInit_All - Chama todas as funções neste arquivo. Esta é a única função de Setup.c necessário para ser chamado no arquivo principal.

V. MOTOR DC

Os motores de corrente contínua (CC) ou motores DC (*Direct Current*), como também são chamados, são dispositivos que operam aproveitando as forças de atração e repulsão geradas por eletroímãs e imãs permanentes.

Ao passar correntes elétricas por suas bobinas próximas, os campos magnéticos criados poderão fazer com que surjam forças de atração ou repulsão [2].

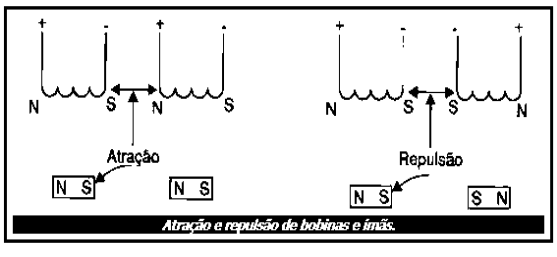


Figura 2-Atração e repulsão de bobinas

Partindo então da posição inicial, em que os polos da bobina móvel (rotor), ao ser percorrido por uma corrente,

estão alinhados com o imã permanente temos a manifestação de uma força de repulsão. Esta força de repulsão faz o conjunto móvel mudar de posição [3].

A tendência do motor é dar meia volta para seu polo Norte se aproxime do polo Sul do imã permanente. Da mesma forma, seu polo Sul se aproximará do polo Norte pelo qual será atraído.

No entanto, no eixo do rotor, por onde passa a corrente que circula pela bobina, existe um comutador. A finalidade deste comutador é inverter o sentido da circulação da corrente na bobina, fazendo com que os polos mudem [4].

O resultado disso será uma transformação da força de atração em repulsão, o que fará com que o rotor continue seu movimento, passando "direto" pela posição que seria de equilíbrio. Sua nova posição de equilíbrio seria obtida com mais volta, de modo que os polos do rotor se defrontassem com os de nome oposto do imã fixa. Mais meia volta, e quando isso poderia ocorrer, a nova posição faz com que o comutador entre em ação e temos nova comutação da corrente. Com isso os polos se invertem [5].

O resultado disso é que o rotor não para, pois deve continuar em busca de sua posição de equilíbrio.

Evidentemente isso nunca vai acontecer, e enquanto houver corrente circulando pela bobina o rotor não vai parar. A velocidade de rotação deste tipo de motor não depende de nada a não ser da força que o rotor tenha de fazer para girar. Desta forma, os pequenos motores de corrente contínua têm uma velocidade muito maior quando giram livremente do que quando girar fazendo algum tipo de esforço (movimento alguma coisa). Igualmente, a corrente exigida pelo motor depende da oposição que o rotor encontra para sua movimentação. Fazendo mais força, o consumo aumento sensivelmente [6].

VI. PONTE H

Ponte H é um circuito eletrônico que permite que um micro controlador controle um motor DC, o micro controlador por sí não consegue "dar" a corrente necessária para o funcionamento do motor, e ainda torna possível que o motor rode tanto para um sentido quanto o outro. Estes circuitos são geralmente utilizados em robótica e estão disponíveis em circuitos prontos ou podem ser construídos por componentes [7].

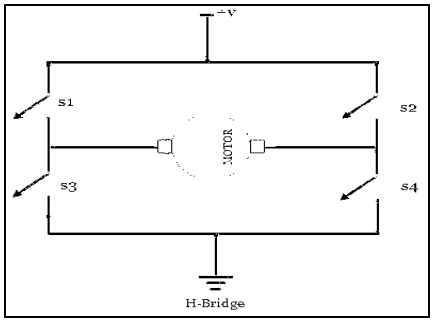


Figura 3-Funcionamento Básico Ponte H

VII. CONTROLE DO SERVO MOTOR

Servo motor é uma máquina, mecânica ou eletromecânica, que apresenta movimento proporcional a um comando, em vez de girar ou se mover livremente sem um controle mais efetivo de posição como a maioria dos motores.

São dispositivos de malha fechada, ou seja, recebem um sinal de controle, verificam a posição atual e atuam no sistema indo para a posição desejada.

Em contraste com os motores contínuos que giram indefinidamente, o eixo do servo motores possui a liberdade de apenas cerca de 180º graus, mas são precisos quanto a posição [8].

É constituído de três partes: sistema atuador, sensor e circuito de controle.

O sistema atuador é constituído por um motor elétrico, embora também possa encontrar servos com motores de corrente alternada, a maioria utiliza motores de corrente contínua. Também está presente um conjunto de engrenagens que forma uma caixa de redução com uma relação bem longa o que ajuda a amplificar o torque.

O tamanho, torque e velocidade do motor, material das engrenagens, liberdade de giro do eixo e consumo são características-chave para especificação do servo motor.

O sensor normalmente é um potenciômetro solidário ao eixo do servo. O valor de sua resistência elétrica indica a posição angular em que se encontra o eixo. A qualidade desses vai interferir na precisão, estabilidade e vida útil do servo motor.

O circuito de controle é formado por componentes eletrônicos discretos ou circuitos integrados e geralmente é composto por um oscilador e um controlador PID (controle proporcional integrativo e derivativo) que recebe um sinal do sensor (posição do eixo) e o sinal de controle e aciona o motor no sentido necessário para posicionar o eixo na posição desejada.

Servos possuem três fios de interface, dois para alimentação e um para o sinal de controle. O sinal de controle utiliza o protocolo PPM (modulação por posição do pulso) que possui três características básicas: largura mínima, largura máxima e taxa de repetição (frequência).

A largura do pulso de controle determinará a posição do eixo:

- largura máxima equivale ao deslocamento do eixo em + 90º da posição central;

- largura mínima equivale ao deslocamento do eixo em -90º;

- demais larguras determinam a posição proporcionalmente. O pulso de controle pode ser visto na ilustração sobre sinais de controle de servo motor.

Em geral, a taxa de repetição é 50 Hz e a largura do pulso do sinal de controle varia de 1 a 2ms. Porém um servo motor pode funcionar a 60Hz também [9].

VIII. CONTROLE DE VELOCIDADE DO MOTOR DC

Para controlar a velocidade do motor de corrente contínua, um algoritmo em linguagem C foi criado.

Ele usa uma variável que controla a velocidade e é aumentado ou diminuído, se não estiver a rodar a uma pré-selecionada velocidade.

Para fazer esta aplicação, algum hardware é necessário para medir a velocidade do motor. Ele pode ser feito com um LED infravermelho e um sensor opto-eletrônico, com um sensor de efeito Hall e ímãs, ou muitas outras formas. Um trem de impulsos quadrados é obtida como a saída do sensor desta implementação. Isto é chamado "velocímetro". Uma vez que o "velocímetro" é implementado, o software é desenvolvido para traduzir a saída em velocidade medida. O driver para medir essa entrada de velocidade usa SAIC (Single Action Input Capture - funcionalidade e MIOS; para calcular o período, e este utiliza um contador de módulo (MCB) no MPC5604B - também pode usar algumas outras funcionalidades e MIOS; como IPWM (Entrada de medição de largura de pulso)).

Uma vez que o período é obtido, a velocidade medida é igual à circunferência da roda do carro dividido pelo tempo de uma volta completa.

No entanto, devido ao tempo disponível e que foram incapazes de completar a rotação do motor conjunto via PWM.

IX. CÂMERA RCA

A câmera é um sensor de imagem e uma lente e funciona da seguinte forma; a lente nela contida recebe a luz que se reflete do ambiente, esta luz penetra a lente chegando ao sensor. Este sensor é composto por uma matriz capacitiva que varia sua capacitância conforme feita a variação da luz.

A câmera RCA fornece em sua saída 30 quadros por segundo, 60 imagens. Nesta câmera a velocidade e facilidade de processamento são consideráveis.

As câmeras RCA apresentam uma vista panorâmica, isto faz com que uma curva possa ser detectada de forma precoce. O usuário não necessita se preocupar com a iluminação visto que um ganho automático, compensação e auto contraste serão habilitados.

X. CONCLUSÃO

O presente artigo apresentou o resultado obtido após um ano de pesquisas e desenvolvimento dedicados a elaboração do protótipo para a competição The Freescale Cup Racing Car Brazil.

Nosso trabalhou iniciou-se a partir de um estudo mais detalhado sobre o Kit da Freescale, o MPC5604B, que é a plataforma de desenvolvimento utilizada na competição. Ela nos permitiu as mais diversas possibilidades de emulações, e uma ampla gama de periféricos que poderiam ser utilizados para melhorar o desempenho do nosso protótipo.

Com nossa participação na competição no ano passado, tivemos o privilégio de acompanhar de perto o trabalho das demais equipes que vieram de todo o Brasil para o evento.

XI. REFERÊNCIAS

[1]http://www.freescale.com/webapp/sps/site/overview.jsp?code=UNIV_SMARTCAR_HM

[2] http://www.sabereletronica.com.br/secoes/leitura/1742

[3] http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/3414-art476a

[4] http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/3414-art476a

[5] http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/3414-art476a

[6] http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/3414-art476a

[7] http://pt.wikipedia.org/wiki/Ponte_H

[8] http://pt.wikipedia.org/wiki/Servomotor

[9] http://pt.wikipedia.org/wiki/Servomotor

Características dos sons das vogais do português falado no Brasil

Benjamin Pereira dos Santos Siqueira

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
benjamin_bps@hotmail.com

Joyce Alvarenga de Faria

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
joyce_alvar@hotmail.com

Priscila Lemos Kallás

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
priscilal@gee.inatel.br

Prof. Msc. Daniela Barude Fernandes

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
daniela.fernandes@inatel.br

***Resumo*—Neste trabalho é proposto a caracterização dos sons das vogais do português falado no Brasil, definindo as regiões das frequências de ressonância de cada vogal através de gráficos e tabelas. E também, comparar os dados obtidos com tabelas referenciais das médias das formantes F1 e F2 das vogais. Além disso, este trabalho é a base de um projeto maior, que pretende construir um software para auxílio da melhoria da fala de deficientes auditivos.**

***Abstract*— This paper proposes the characterization of the vowel sounds of Portuguese spoken in Brazil, defining regions of resonance frequencies of each vowel through graphs and tables. Also, compare the data with the referential tables medias of formants F1 and F2 of vowels. Furthermore, this work is the basis of a bigger project that aims to build a software to aid the improvement of speech of hearing impaired.**

***Palavras chave*—Vogais, formantes, sons, características**

I. Introdução

Desde os primórdios da civilização, o homem utiliza diversos meios de comunicação para desenvolver a sua capacidade intelectual e o seu meio social. A fala é a principal ferramenta para o convívio entre as pessoas, pois com ela é possível expressar os sentimentos e ideias, além de possibilitar a troca de informações.

A deficiência auditiva prejudica o aprendizado e a comunicação oral, pois impossibilita o deficiente de entender e controlar a própria voz. Um bebê, durante os primeiros meses de vida, produz sons instintivamente, porém se for surdo essa capacidade se perderá com o tempo e ele se tornará silencioso. Assim, é imprescindível que este aprenda a linguagem oral para que a sua interação com a sociedade não se torne limitada com o passar dos anos. [1]

B. P. S. Siqueira (benjamin_bps@hotmail.com), J. A. de Faria (joyce_alvar@hotmail.com), P. L. Kallás (priscilal@gee.inatel.br) e D. B. Fernandes (daniela.fernandes@inatel.br) pertencem ao Instituto Nacional de - MG - Brasil - 37540-000.

A aquisição da língua oral, embora reconhecidamente difícil e demorada, é recomendada por quase todos os estudiosos, de quase todas as metodologias propostas para a educação de deficientes auditivos. [1]

Desta forma, o objetivo deste trabalho é fazer o estudo das características das vogais do português falado no Brasil, construindo os gráficos das regiões das frequências de ressonância (ou formantes) de cada vogal. Através desses gráficos, é possível reconhecer se um deficiente auditivo pronuncia uma vogal de forma correta, pois extraindo as formantes do som da vogal produzido por ele é possível identificar se essas formantes estão dentro do gráfico da região da vogal falada.

Além disso, futuramente essa ideia poderá ser implementada em um ambiente lúdico para que as pessoas com esse tipo de deficiência melhorem a sua fala. Este ambiente consistirá em um jogo onde os usuários receberão realimentação visual sobre os sons que estão emitindo, ganhando mais pontos (ou outra forma de reforço) à medida que vão pronunciando os sons de forma mais próxima à de uma pessoa com fala normal.

II. O processo da produção da fala

A produção da fala ocorre através do aparelho fonador humano, representado na figura 1 [2]. Os sons que são produzidos podem ser classificados em sonoros ou surdos e em orais ou nasais. Os sons sonoros ocorrem quando o fluxo de ar sai dos pulmões e atinge a traqueia até alcançar a laringe, produzindo uma vibração nas cordas vocais. Diferente dos sons sonoros, os sons surdos não provocam vibrações, pois quando o fluxo de ar atinge a traqueia as cordas vocais estão relaxadas. Na produção de sons orais o véu palatino está levantado e o fluxo de ar é radiado pela boca e na produção de sons nasais o véu palatino está abaixado e a cavidade oral

fechada (lábios, dentes, palato), assim, o fluxo de ar é radiado pelas narinas. [2]

As vogais possuem o som contínuo e o trato vocal supraglótico sem bloqueio na passagem do ar. As características do som de cada segmento vocálico dependem da formação das cavidades supraglóticas que geram as frequências de ressonância no trato vocal que são denominadas formantes. A frequência da primeira formante (F1) e da segunda formante (F2) são essenciais para determinar a característica de uma vogal. Na produção das vogais há movimentos nos articuladores e os estudos de Lindblom e Sudbergn mostram que a formante F1 está interligada com a mandíbula e a formante F2 está relacionada com a língua. Entretanto, a faringe influencia em todas as formantes. [3]

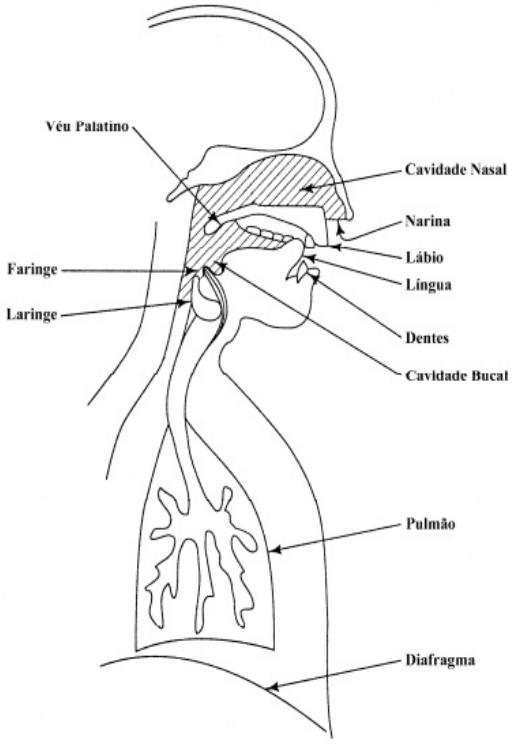


Figura 1 – Aparelho Fonador Humano [2]

III. FORMANTES E GRÁFICOS DAS REGIÕES DAS VOGAIS

Para mapear a região de uma vogal é necessário apenas utilizar as formantes F1 e F2, pois elas contêm a identidade fonética da vogal. Foram utilizadas como referência para este trabalho, a tabela I que representa a F1 e F2 das vogais do português falado no Brasil e também a tabela II que apresenta apenas as médias das formantes das mulheres.

TABELA I – F1 E F2 DAS VOGAIS DO PORTUGUÊS FALADO NO BRASIL [1]

		Anteriores			Medial	Posteriores		
Grupos	Formantes	/i/	/e/	/ɛ/	/a/	/ɔ/	/o/	/u/
Homens	F_1	398	563	699	807	715	558	400
	F_2	2456	2339	2045	1440	1201	1122	1182
Mulheres	F_1	425	628	769	956	803	595	462
	F_2	2984	2712	2480	1634	1317	1250	1290
Crianças	F_1	465	698	902	1086	913	682	505
	F_2	3176	2825	2606	1721	1371	1295	1350

TABELA II – AS MÉDIAS DAS FORMANTES DAS SETE VOGAIS DO PORTUGUÊS BRASILEIRO DE TRÊS GRUPOS DE MULHERES [4]

F1 /Vogais	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Normalidade (Monteiro, 1995)
F_1 /a/	862,13	787,79	868,75	925
F_1 /e/	445,77	441,97	486,36	450
F_1 /é/	641,82	594,33	635,723	640
F_1 /i/	356,98	357,05	410,98	369
F_1 /o/	465,70	459,07	483,45	505
F_1 /ó/	690,42	628,06	644,94	721
F_1 /u/	406,04	400,78	421,17	429
F2 /Vogais	**Grupo 1**	**Grupo 2**	**Grupo 3**	**Normalidade (Monteiro, 1995)**
F_2 /a/	1512,28	1358,43	1893,28	1767
F_2 /e/	1794,75	1813,14	1707,70	1912
F_2 /é/	1733,61	1793,61	1620,70	2062
F_2 /i/	2169,77	2097,78	1935,56	2269
F_2 /o/	991,56	959,85	954,19	1176
F_2 /ó/	1139,37	1060,47	1073,20	1321
F_2 /u/	860,63	934,37	866,36	1436

Foi feito um banco de dados com gravações de voz de cinco amostras de cada vogal de dez mulheres e dez homens para criar as regiões das vogais. Utilizando o software MATLAB, foi possível extrair as formantes das gravações através de um algoritmo com o modelamento LPC (Linear Predictive Coding). O algoritmo extrai as formantes das gravações a cada vinte milissegundos e armazena esses valores em uma matriz que é usada para gerar os gráficos das regiões de cada vogal. As figuras abaixo apresentam as regiões de cada vogal.

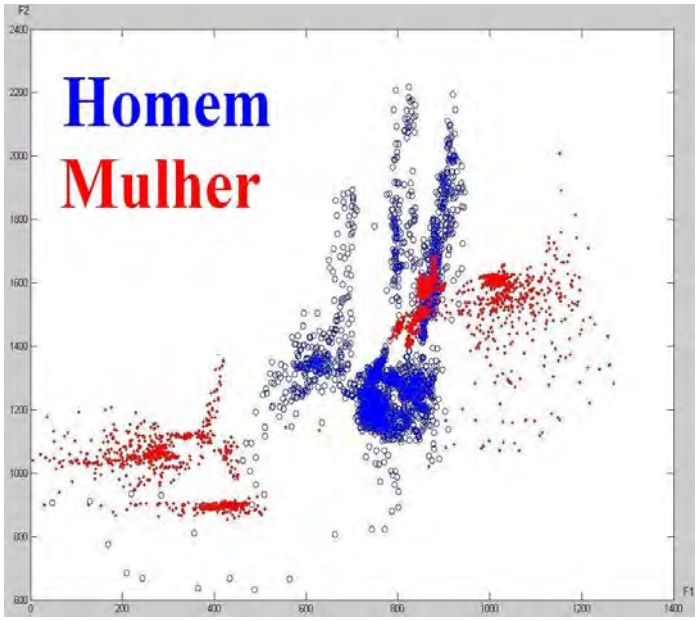


Figura 2 – Região da Vogal /a/

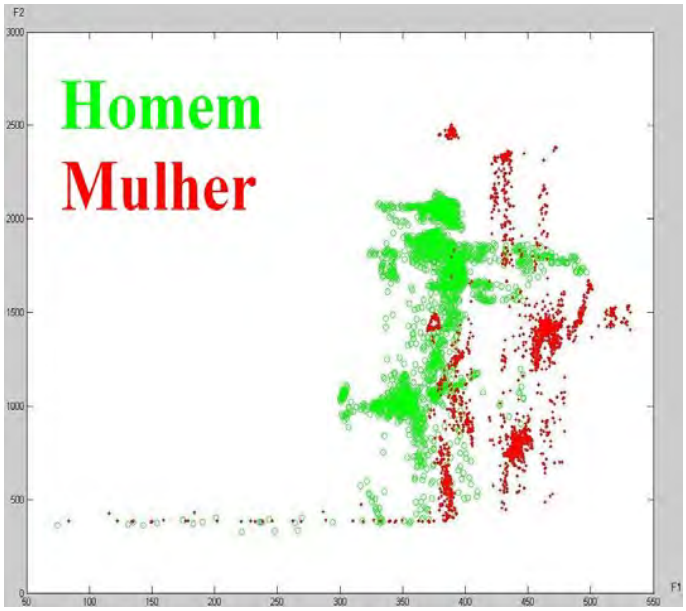


Figura 3 – Região da Vogal /e/ (ê)

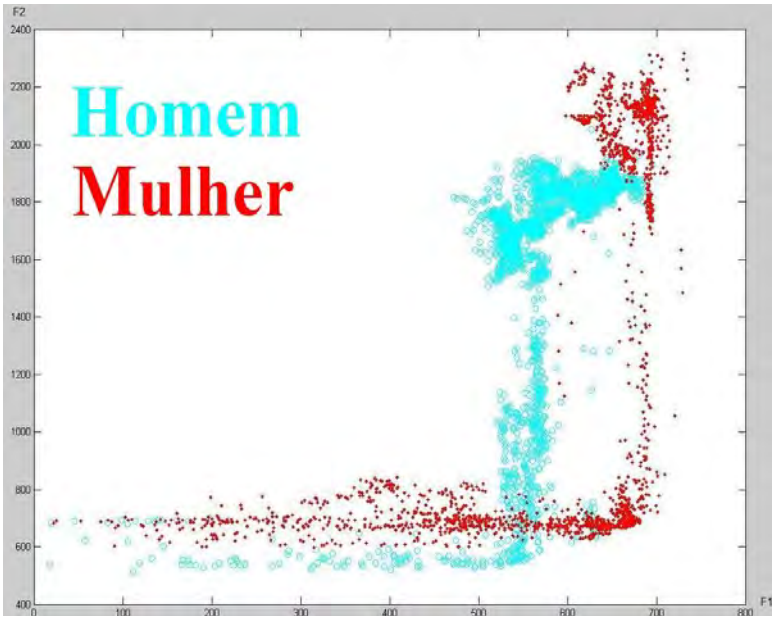


Figura 4 – Região da Vogal /ɛ/ (é)

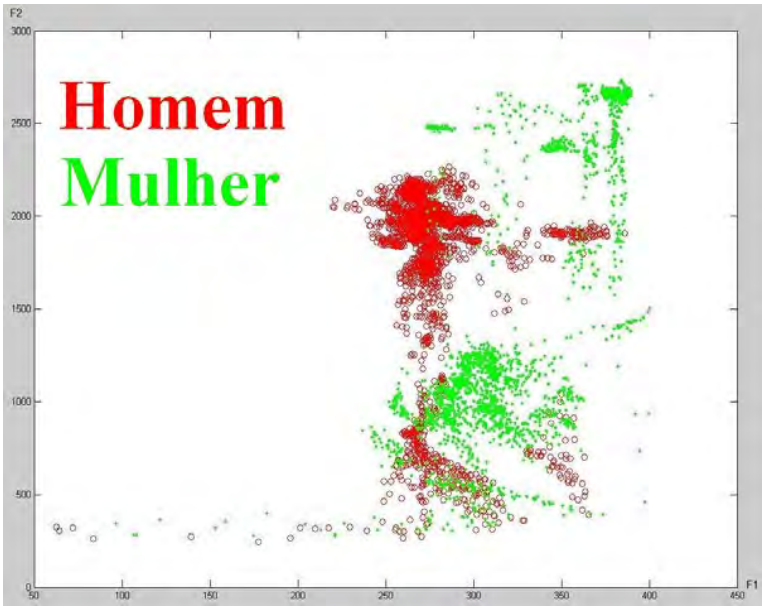


Figura 5 – Região da Vogal /i/

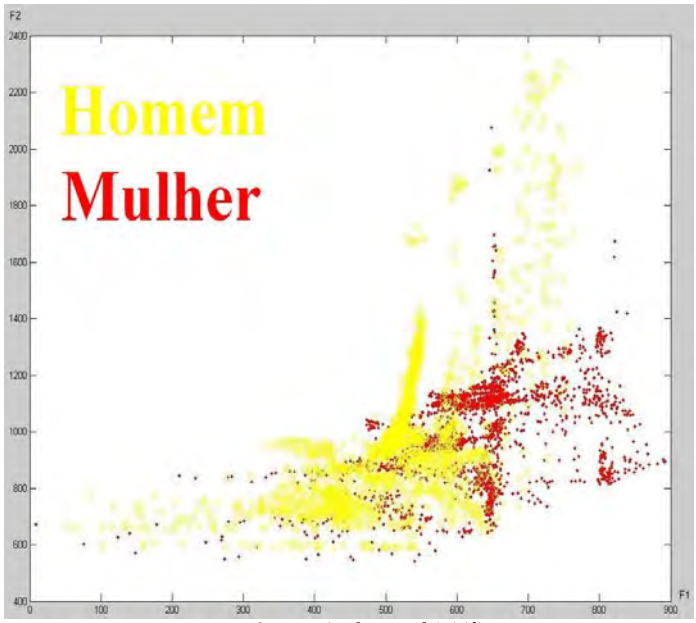


Figura 6 – Região da Vogal /o/ (ó)

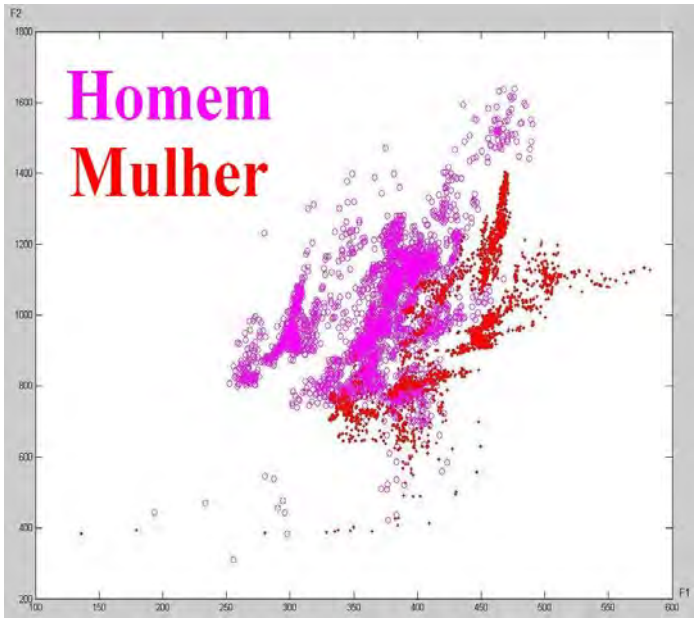


Figura 7 – Região da Vogal / / (ô)

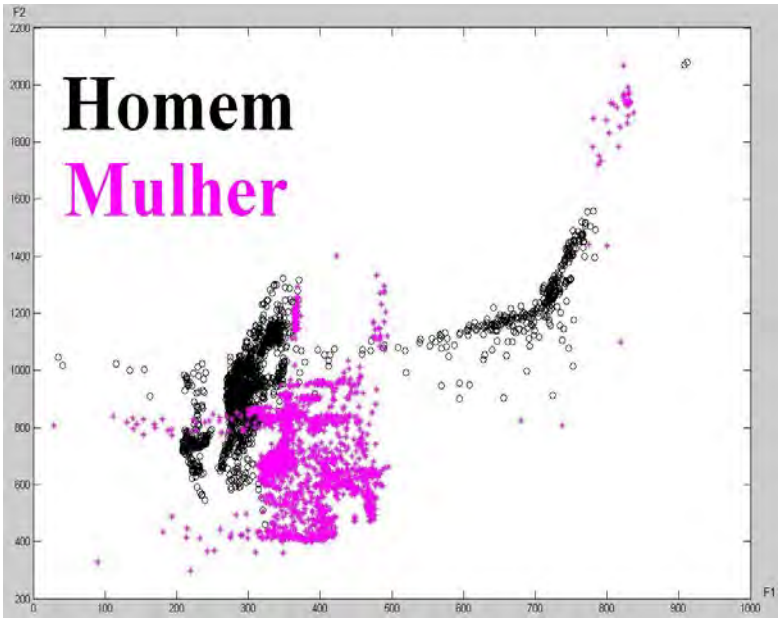


Figura 8 – Região da Vogal /u/

Utilizando os dados dos gráficos das regiões vocálicas foi possível construir a tabela III que foi utilizada para comparar com os dados da tabela I e II.

TABELA III – MÉDIA DAS FORMANTES DAS VOGAIS DO PORTUGUÊS FALADO NO BRASIL

Grupo	Formante	i	e	ɛ	a		o	u
Mulher	F1	318,2	402,8	577,4	727,7	648,9	440,69	421,05
	F2	1299,3	1244,0	1438,5	1399,2	1010,8	991,76	848,37
Homem	F1	279,8	369,3	572,0	767,3	510,68	342,7	343,65
	F2	1658,0	1405,1	1525,1	1422,0	959,23	976,2	960,4

Ao Comparar as tabelas foi observado que apenas os dados da tabela II se aproximam dos dados obtidos da tabela III. Atribuímos as diferenças dos valores médios das formantes em cada tabela à diferença de timbre das vozes (mulheres com vozes mais graves e homens com vozes mais agudas), o posicionamento da língua e a variação de sotaque.

IV. CONCLUSÕES

Durante o desenvolvimento do trabalho, foi possível observar as diferentes características dos sons vocálicos de cada pessoa. E assim, ao observar os gráficos e as tabelas desenvolvidas, conclui-se que é viável a implementação de um jogo que auxilie o deficiente auditivo a falar de forma correta.

Pessoas surdas em geral têm dificuldades para falar devido à falta da realimentação acústica. Futuramente, propõe-se a substituição da realimentação acústica por uma forma visual significativa, para auxílio à melhoria da fala destas pessoas. O objetivo final é a criação de um jogo onde o treinamento ocorra de forma lúdica.

REFERÊNCIAS

[1] Araújo, A. M. de L., *Jogos Computacionais Fonoarticulatórios para Crianças com Deficiência Auditiva*. Tese de Doutorado. Unicamp, Campinas, 2000.

[2] Vogais e o aparelho fonador: Como são feitos os sons da fala [Internet] : Uol Educação, 2006. Disponível em : <http://educacao.uol.com.br/disciplinas/portugues/vogais-e-o-aparelho-fonador-como-sao-feitos-os-sons-da-dala.htm>. Acesso em :18 fev. 2013, 16:00.

[3] Gregio, F. N., Configuração do Trato Vocal Supraglótico na Produção das Vogais do Português Brasileiro: Dados de Imagens de Ressonância Magnética. Dissertação de Mestrado. PUC. , São Paulo, 2006.

[4] Teles, V. de C. e Rosinha, A. C. U. , Análise Acústica dos Formantes e das Medidas de Perturbação do Sinal Sonoro em Mulheres Sem Queixas Vocais, Não Fumantes e Não Etilista. Artigo de Doutorado. Instituto do Câncer Arnaldo Vieira de Carvalho, São Paulo, 2008.

Estudo e desenvolvimento de um sistema para caracterização de motores de corrente contínua para aplicação em veículos elétricos

Letícia Oliveira de Deus

Universidade Federal de São Carlos – UFSCar
leticiaodeus@gmail.com

Carlos Alberto De Francisco

Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
cfrancisco@ufscar.br

***Resumo*—Com a crescente procura por veículos menos poluentes, e o avanço da tecnologia, o veículo elétrico pode ser o futuro dos meios de transportes. Para projetar o sistema de controle desse é necessário conhecer os parâmetros elétricos, mecânicos e eletromecânicos do motor. Esse artigo mostra a implementação de um procedimento automatizado para determinação dos parâmetros desejado proposto por Basílio e Moreira [1]. Obtendo-se dessa forma os requisitos físicos e computacionais para a realização futura do experimento.**

***Abstract*— In the last few years the demand for green vehicles and the advancement of the electric vehicle technology opens a promising future for the electric transportation. To project the control system of the electric motor is required to know the electrical, mechanical and electromechanical parameters of the motor. This paper shows the implementation of an automated procedure for the determination of desired parameters proposed by Basílio and Moreira [1]. Thus we obtained the physical and computational requirements for the future realization of the experiment.**

***Palavras chave*— Electric Vehicle, Electric motor, Motor elétrico, Parâmetros do motor, Procedimento automatizado, Veículo elétrico.**

I. Introdução

O veículo elétrico, criado na década de 1830, alcançou o seu auge no final do século 19 com o uso das baterias recarregáveis. Embora, tenha sido substituído pelo motor a combustão, uma vez que esse possui uma autonomia muito maior, o veículo elétrico possui um papel significativo para o desenvolvimento de novas tecnologias na história do automóvel.

Com o surgimento de inovações nessa área foi possível, por exemplo, diminuir significativamente o peso dos veículos que era uma das limitações da fabricação. Diversos veículos elétricos estão sendo produzidos aproveitando-se desse avanço tecnológico que vêm surgindo desde o século 19.

Dentre os diversos motores comumente utilizados em veículos elétricos, o motor a ser utilizado nesse projeto de pesquisa é o de corrente contínua com escova, porque este possui um custo menor, uma maior disponibilidade e facilidade de acionamento.

Sendo o mais simples dos motores elétricos é fácil compreender o funcionamento do motor de corrente contínua, basta entender o motor simplificado contendo apenas uma bobina, como mostra a Figura 1.

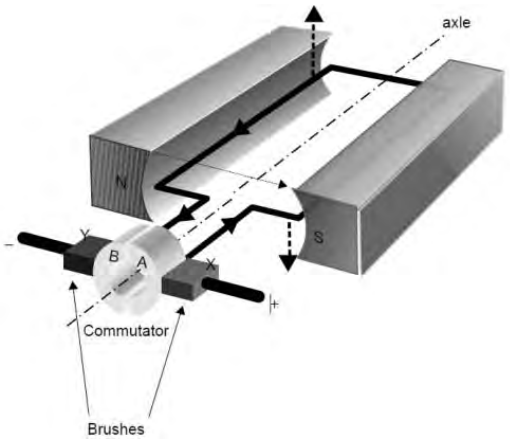


Fig. 1. Diagrama para explicar a operação de um motor de corrente contínua e imã permanente e escovas. [2]

Então, obedecendo a lei básica do eletromagnetismo a corrente que passa no fio próximo ao imã causa uma força geradora. A corrente flui através da escova X, pela metade do anel do comutador A, em volta da bobina, e para fora através da outra metade do anel do comutador B e a escova Y (XABY). Como pode ser observado no diagrama, de um lado a força é direcionada para cima, e de outro, a força é para baixo, porque a corrente está fluindo de volta para as escovas e o comutador. As duas forças juntas fazem com que a bobina gire.

Manuscrito recebido em 02 de março de 2013; revisado em 08 de abril de 2013.

L. O. Deus (leticiaodeus@gmail.com) e C. A. Francisco (cfrancisco@ufscar.br) pertencem a Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. Rodovia Washington Luís, km 235 - SP-310 – São Carlos- SP - Brasil - 13565-905.

O comutador gira solidário com a bobina e, uma vez que os fios estão livres do imã, o impulso faz com que eles voltem a se alinhar, então as metades dos anéis do comutador ligam-se novamente com as escovas. Quando isso acontece, a corrente está fluindo na mesma direção em relação aos imãs e, portanto, as forças estão na mesma direção, continuando a girar o motor como antes. No entanto, a corrente agora estará fluindo através da escova X, a metade B do anel, em volta da bobina para A e para fora através de Y, de modo que a corrente estará fluindo na direção oposta através da bobina (XBAY)[2].

Agora o motor real é muito mais refinado. É acrescentado um pedaço de ferro no interior do fio da bobina rotativa, por exemplo, muitas vezes chamado de armadura, dessa forma o campo magnético dos imãs não irá se enfraquecer uma vez que não atravessa um longo percurso de ar.

É utilizado também um número maior de bobinas, de maneira que o fio fica mais perto dos imãs na maior parte do tempo, ou seja, o comutador não consiste apenas de duas metades de anéis, como o apresentado acima, mas de vários segmentos, sendo dois segmentos de cada bobina. As bobinas por sua vez são constituídas de vários enrolamentos, de modo que o torque é ampliado. E também, costuma-se utilizar mais de um par de imãs, para aumentar ainda mais a força de rotação.

Uma vez compreendido o funcionamento do motor de corrente contínua real, podemos representa-lo como na Figura 2, onde R_a e L_a representam a resistência e indutância do circuito de armadura, J e f denotam o momento de inércia da carga e o coeficiente de atrito viscoso, $v_a(t)$ e $i_a(t)$ são a tensão e a corrente de armadura, $e(t)$ é a força contra-eletromotriz e $\omega(t)$ representa a velocidade angular do motor.

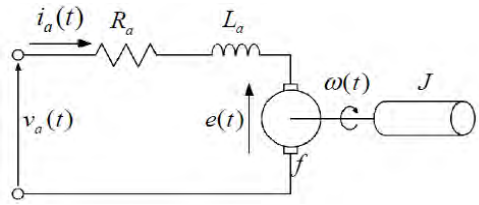


Fig. 2. Circuito equivalente de um motor CC controlado pela armadura [3].

É possível projetar o sistema de controle para o motor por meio da modelagem e a descrição dos parâmetros elétricos e mecânico do mesmo, obtidas através da análise desse circuito acima e experimentos.

Então, uma maneira de analisar esse problema é considerar o modelo por variáveis de estado e o projeto de controladores utilizando realimentação de estados, sendo necessário um sistema de segunda ordem para modelamento do motor. Assim, a determinação de parâmetros elétricos (resistência e indutância de armadura), mecânicos (momento de inércia e coeficiente de atrito viscoso) e eletromecânicos (constantes de força contra-eletromotriz e de torque) é o ponto chave em questão. Uma nova maneira de determinar esses parâmetros é proposta por Basílio e Moreira [1], sendo esse um método automatizado, simples e com boa precisão dos resultados.

II. Objetivos

Esse trabalho tem como objetivo principal implementar um sistema automatizado para obter os parâmetros elétricos, mecânicos e eletromecânicos de um motor elétrico de corrente contínua por meio do método proposto por Basílio e Moreira [1].

Uma vez que a caracterização de motores de corrente contínua é uma etapa fundamental para o projeto de controladores eletrônicos, o sistema a ser desenvolvido contribuirá com o desenvolvimento de sistemas de controle a serem aplicados na montagem e no projeto de um veículo elétrico. Pretende-se utilizar esse método para modelar um motor DC, na Figura 3 de quatro cavalos com aplicação na montagem de um veículo monoposto elétrico. A montagem deste veículo monoposto viabilizará pesquisas futuras na área de veículos elétricos.

Fig. 3. Motor 4HP. [4]

III. Metodologia

O sistema de caracterização a ser desenvolvido será constituído por um computador dotado de uma placa de aquisição de dados e conectado a um acionador, que por sua vez liga-se a um motor com um tacômetro acoplado. A placa de aquisição irá fornecer o sinal para o controle do motor e receber o sinal do tacômetro, a tensão na armadura e a tensão em um resistor colocado em série com o motor, para determinar a corrente. O setup experimental é esquematizado na Figura 4.

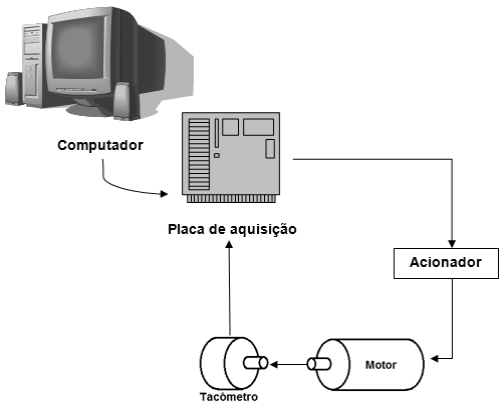


Fig. 4. Esquema do experimento para modelagem do motor.

Para isso foi montado o acionador, para um motor de baixa potência, de maneira que a placa de aquisição estivesse eletricamente isolada do motor. E também uma placa com um buffer e circuitos diferenciais para proteger o sinal de entrada da placa, foi necessário o circuito diferencial para que a tensão de entrada na placa de aquisição estivesse dentro do aceitável da mesma (mais ou menos 10V) e a tensão no resistor seja maior, esse esquema se encontra na Figura 5. O tacômetro a ser utilizado foi caracterizado, ou seja, determinou-se o ganho desse (K_t) que será utilizado posteriormente para determinação dos parâmetros.

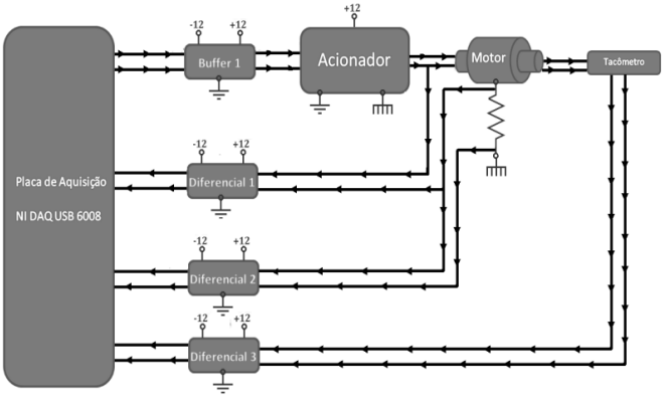


Fig. 5. Esquema da montagem para realização do experimento.

Para interpretar os dados adquiridos pela placa de aquisição será utilizado o Labview, então foi necessário fazer um programa para o controle do motor, uma vez que esse deve ser ligado e desligado de maneira aleatória [1], e o tratamento do sinal de resposta.

IV. RESULTADOS

Para a construção do acionador foi utilizado o CI 4N25 e o MOSFET IRF9540, conforme o circuito da Figura 6, então é possível observar na Figura 7 que conforme tensão de entrada no circuito, canal 1, varia entre zero e 5V o motor, canal 2, é ligado e desligado.

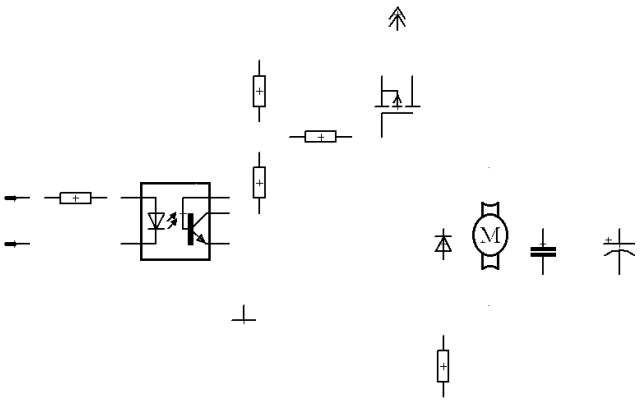


Fig. 6. Circuito Acionador.

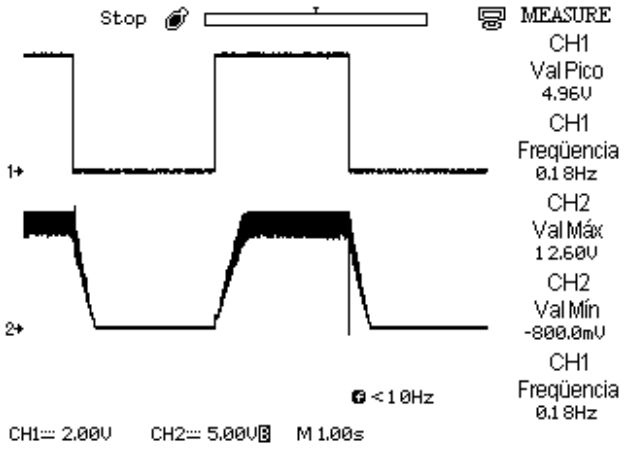


Fig. 7. Responda do circuito acionador, onde o canal 1 mostra tensão de entrada e o canal 2 a tensão na armadura do motor.

Para o circuito diferencial e o buffer foi utilizado o amplificador LF351, de maneira que a proporção dos diferenciais (1, 2 e 3) são, respectivamente, 0,5, 10 e 1.

Já o ganho do tacômetro (K_t) pode ser determinado experimentalmente como o coeficiente angular da reta do gráfico, Figura 8, da relação entre a tensão de entrada e o rotação do motor. Dessa forma, o ganho do tacômetro é de $0{,}7706\frac{mV}{\frac{rad}{s}}$.

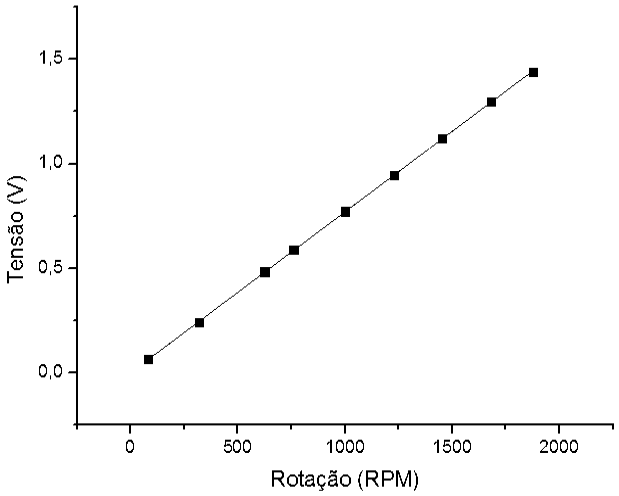


Fig. 8. Gráfico de tensão de entrada (V) versus rotação.

Agora, para realizar o controle do motor foi utilizado o programa da Figura 9, sendo que esse gera números aleatórios, se o número for menor ou igual a 0,5 a saída assumirá o valor de 5 Volts e se for maior de zero. O bloco do "DAQ Assistent2" serve apenas para fazer a leitura do sinal e assim plotar o gráfico sendo possível assim comparar os resultados, durante o experimento esse bloco será substituído pelo

programa de leitura. Na Figura 10 tem-se o gráfico gerado em uma das simulações.

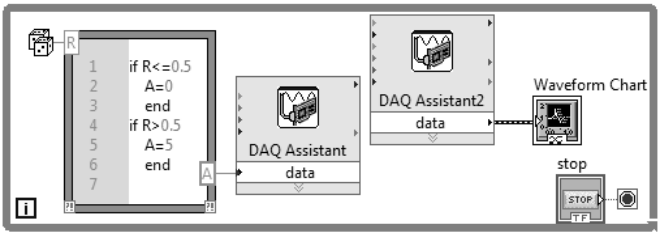


Fig. 9. Programa para realizar o controle do motor.

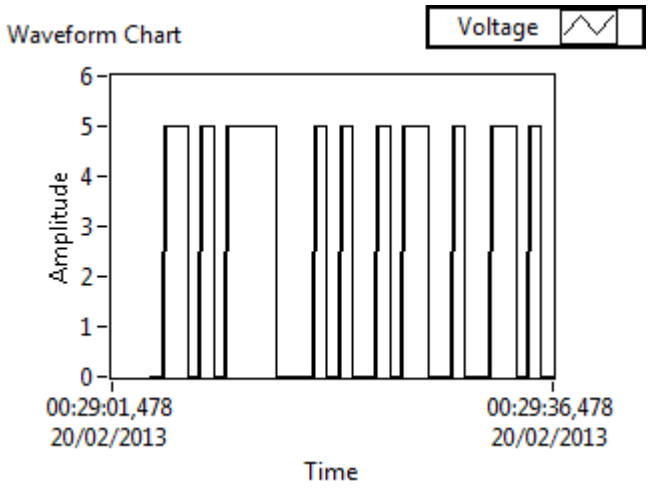


Fig. 10. Sinal gerado pelo programa.

Agora, para o programa de leitura foi utilizado um programa constituído de duas etapas. A primeira, Figura 11, irá fazer a aquisição dos dados e gerar uma planilha no Excel para cada sinal de entrada, esse programa foi feito para dois sinais. Também, foi colocado um critério de parada de maneira que após um determinado número de interações, nesse caso 10, o programa parasse sozinho.

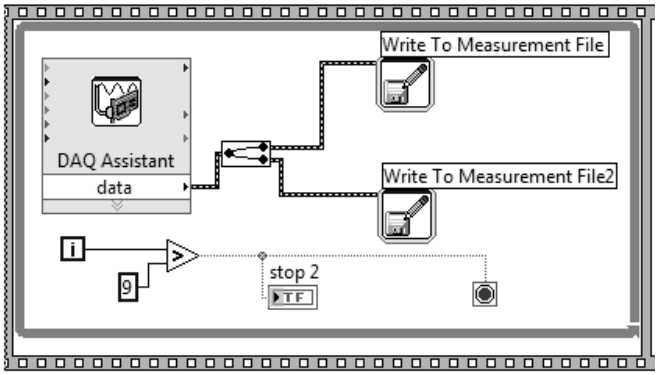


Fig. 11. Primeira etapa do programa de leitura do sinal.

Já na segunda etapa foi feito o tratamento desse sinal adquirido, como na Figura 12. Primeiramente é feita a leitura do arquivo do Excel gerado na etapa anterior e gerar um novo sinal onde cada ponto irá assumir o valor da média dos 5 pontos a partir dele, diminuindo dessa forma o ruído do sinal como podemos ver na Figura 13 e na Figura 14 com um sinal simulado. Nessa janela de comando da Figura 11, é possível multiplicar o sinal por qualquer valor para compensar o ganho do circuito diferencial.

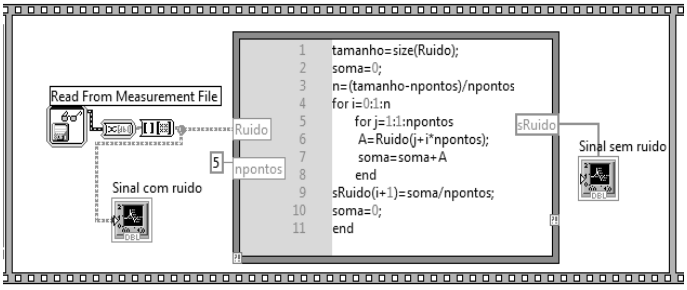


Fig. 12. Segunda etapa do programa de leitura do sinal.

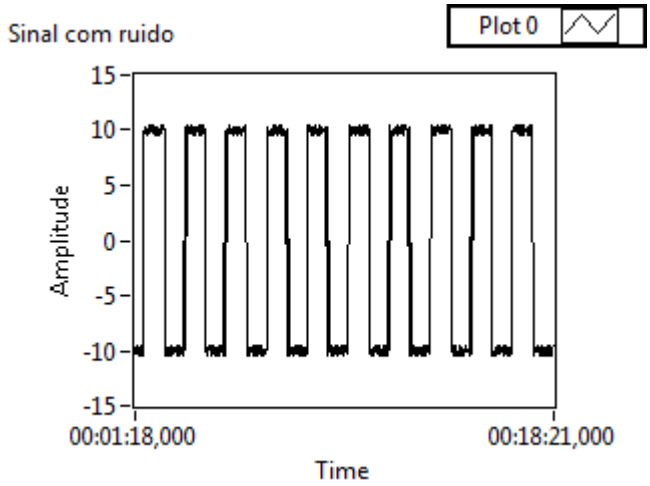


Fig. 13. Sinal de entrada simulado com ruído.

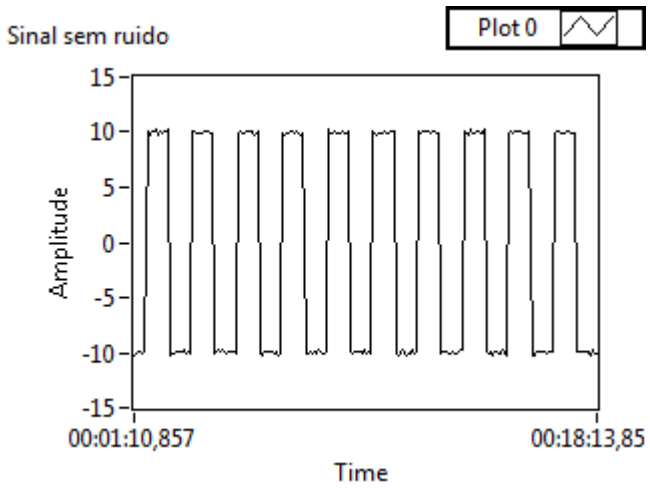


Fig. 14. Sinal de entrada simulado sem ruído.

Então basta unir os blocos por uma estrutura de sequência como na Figura 15 para realizar o tratamento de cada sinal de entrada. Na Figura 16, encontra-se o layout do programa para duas ondas, em termos práticos não é necessário plotar o sinal

com ruído.

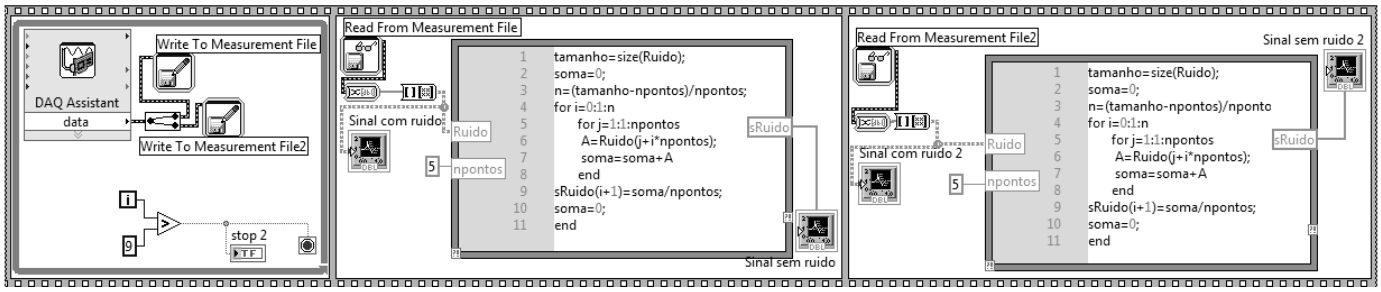


Fig. 15. Programa de leitura completo para dois sinais de entrada.

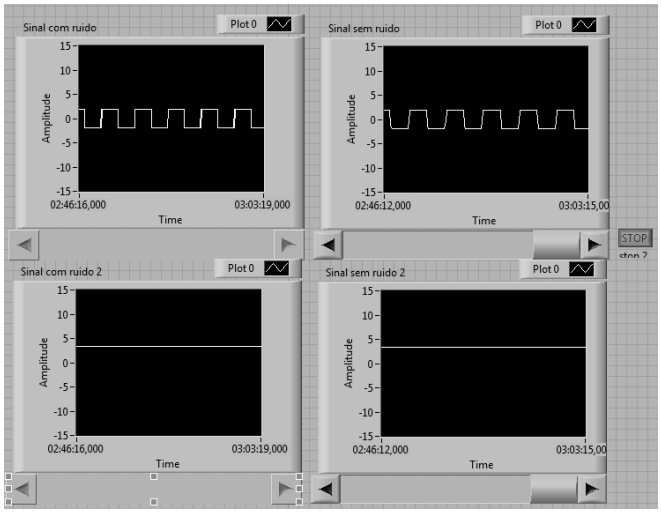


Fig. 16. Layout do programa.

V. CONCLUSÕES

Desta forma, conclui-se que o programa de controle do motor e de leitura do sinal atendem os requisitos necessários para a realização do método proposto por [1]. Então, uma vez que os programas, o acionador e a placa de proteção, buffer e diferenciais, então funcionando corretamente basta aplicar o método automatizado para tirar os parâmetros do motor de baixa potência.

VI. TRABALHOS FUTUROS

Vale lembrar que será necessário unir os programas de controle e leitura do sinal e adaptar o segundo para fazer a aquisição de três sinais e compensar a proporção do diferencial. Sendo possível realizar o modelamento do motor.

Posteriormente, será construído um circuito acionador de alta potência que será utilizado na caracterização de um motor de 4 HP. Este motor funciona com 24 [V] e pode consumir até 140 [A] de corrente logo carece de um circuito diferente. Então, para ambos os motores será realizado o procedimento de caracterização descrito em [1].

Também, será aferido as medidas realizadas pelo método proposto. Os parâmetros elétricos podem ser medidos manualmente por meio de ensaios clássicos [5]. Assim como os parâmetros mecânicos que também podem ser medidos por ensaios manuais [5].

REFERÊNCIAS

[1] Basilio, J. C. Moreira, M. V. “Experimentos para estimação dos parâmetros de motores de corrente contínua.” In: *Cobenge*. 2001. pp. 02.

[2] Larminie, J. Lowry, J. “Electric Vehicle Technology Explained”. John Wiley & Sons, Ltd 2003.

[3] Basilio, J. C. “A laboratory for a first course in control systems” International Journal of Electrical Engineering Education 39/1. pp.56

[4] Sekaimon. *4 HP 24 Volt DC Reversible Electric Motor*. Disponível: http://www.sekaimon.com/i230599575961

[5] Fitzgerald, A. E., Umans, S.D., Kingsley Jr, C. “Máquinas elétricas”. Editora: Bookman, 6ª edição, 2006.

Laboratorio de Automação, uma solução virtual utilizando Controladores Lógicos Programáveis

Willian J. R. de Melo
Instituto de Estudos Superiores da Amazônia- IESAM-
willian_jrmelo@hotmail.com

Djalma F. e Farias
Instituto de Estudos Superiores da Amazônia- IESAM
djfarias20@hotmail.com

Wellington J. F. de Lima
Instituto de Estudos Superiores da Amazônia- IESAM-
wellington.jose.lima@gmail.com

Epaminondas Cantal
Instituto de Estudos Superiores da Amazônia- IESAM
epaminondas@prof.iesam-pa.edu.br

Leonardo Otávio
Instituto de Estudos Superiores da Amazônia-
IESAM. leotavio7@hotmail.com

Luciana de Azevedo Vieira
Instituto de Estudos Superiores da Amazônia- IESAM
lvieira@prof.iesam-pa.edu.br

***Resumo*— Este trabalho tem como objetivo realizar simulações através de um ambiente virtual (supervisório) para a aplicação de automação, onde será possível simular vários processos em diferentes cenários da indústria, possibilitando testar, alterar e visualizá-lo no ambiente virtual. Foram desenvolvidos dois sistemas supervisórios: o primeiro tratou-se de um dispositivo de Termoformagem, onde através dele é possível que haja o acompanhamento de todo o processo, desde o aquecimento da chapa até a formação final do molde. E o segundo de um dispositivo de furação de peças, onde também torna-se possível o acompanhamento de todo o processo através do supervisório, mesmo o operador estando distante do espaço físico. Para a construção do ambiente, foram utilizados os softwares da empresa Rockwell. O RSView (demo) é utilizado para realizar os desenhos referente aos processos, que se comunicará com os softwares RSlinks Classic Lite, RSLogix Micro Starter Lite e RSlogix Emule 500.**

Palavras-chave— Simulações, supervisório, automação, softwares

***Abstract* - This work aims to perform simulations using a virtual environment (supervisory) for the application of automation, where you can simulate various processes in different industry scenarios, enabling test, change and view it in the virtual environment. Two systems were developed supervision fittings: one of a treated Thermoforming device, through which it is possible to have all the tracking process, from heating the sheet until the final formation of the mold. And a second drilling device parts, where it also becomes possible to monitor the whole process by the supervisory, even if the operator being distant from physical space. To construct the environment, we used the software company Rockwell. RSView (demo) is used to make the drawings related to the processes, which communicate with software RSlinks Classic Lite, RSLogix Micro Starter Lite and RSlogix Emule 500.**

Keywords — Simulations, supervisory, automation, software

I - INTRODUÇÃO

Com o segmento de automação industrial crescendo cada vez mais e com o mercado cada vez mais competitivo, exige-se que as empresas façam uso das melhores técnicas e práticas na otimização de seus investimentos. Somando-se a crescente demanda da sociedade por novidades, produtos diferenciados, com alta qualidade e preços baixos, o que acaba levando as empresas a modernizarem seus métodos produtivos [1]. Hoje, os sistemas produtivos que priorizam o volume de produção, com baixo custo e pequena variedade, estão enfrentando o desafio de flexibilizar sua produção e diversificar seus produtos, principalmente sem originar acréscimos significativos nos custos. Até pouco tempo quando se automatizava um processo, a única forma de se verificar a real viabilidade e eficiência do mesmo era com a implementação e testes realizados já na prática, ou seja, causando uma série de custos extras devido aos diversos problemas surgidos, problemas esses não identificados ainda na parte de criação do projeto.

Nas instituições de ensino, os investimentos voltados à construção de protótipos que representem os trabalhos de conclusão de cursos, muitas vezes geram investimentos que dificultam sua implementação. Dentro deste cenário, propõe-se desenvolver alternativas que possibilite realizar os testes dos projetos de automação, em ambientes que permitam simular as ideias dos alunos e professores e que, por outro lado, também favoreçam estudos de ferramentas bastante difundidas no mercado. No curso de Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal Fluminense (IFF) foi realizado uma apresentação aos alunos sobre o “Desenvolvimento de Simulador Industrial para Processamento de Gás Natural” [2], nesse processo foram utilizadas ferramentas já conhecidas pelos estudantes de Engenharia. O MatLab/Simulink e o SCADAInTouch®(WindowMaker, WindowView). Durante a apresentação pode-se perceber o grande interesse dos alunos em relação ao assunto abordado através de várias perguntas e considerações realizadas por eles. Em seguida foram distribuídos formulários

sobre os níveis de concordância e discordância relacionados ao simulador, e os resultados foram ótimos, mostrando que a aplicação desse tipo de sistema é de grande importância na vida acadêmica. O Gráfico 1 abaixo representa em números o resultado da pesquisa realizada:

Gráfico 1. (GLÓRIA, L. S. Desenvolvimento de Simulador Industrial para Processamento de Gás Natural – VIII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2011)

A simulação pode ser definida como sendo "o desenvolvimento de um modelo lógico que reproduz a realidade, a fim de avaliar o comportamento e desempenho de sistemas sob as mais variadas condições". Lembra ainda que um modelo cuidadosamente concebido pode eliminar grande parte da complexidade inicialmente imaginada, deixando apenas características que o analista considere como importantes [5]. De forma direta, a utilização de simulação computacional proporciona muitas vantagens para o desenvolvimento de projetos, algumas delas são:

- aplicação de problemas mal definidos;
- elaboração de modelos mais realistas, em função da liberdade para sua construção;
- agilidade na busca por soluções;
- maior flexibilidade na solução de problemas de diversos tipos;
- diagnóstico de problemas;
- facilidade do entendimento do comportamento do sistema real;
- visualização de diferentes planos, através de recursos de animação;
- redução de custos, riscos e prazos, assim como melhoria da qualidade do projeto;
- possibilidade de treinamento dos usuários do sistema, sem a necessidade do acesso ao processo real.

A simulação também apresenta algumas desvantagens, as quais acabam implicando no comprometimento da qualidade dos resultados obtidos, em função do custo-benefício para a obtenção de um modelo válido. Entretanto, a grande variedade de soluções de simulação disponíveis no mercado tem contribuído para minimizar os custos [3].

II- ESTUDOS DE CASOS DE ALGUNS SIMULADORES ENCONTRADOS NO MERCADO.

A – Estudo de casos 1:

O sistema de simulação UNISIM é desenvolvido pela HoneyWell e é bem semelhante ao HYSYS da Aspen Tech. Tem como principal área de atuação simulações de plantas químicas e refinarias de óleo. Inclui ferramentas para estimação de propriedades físicas, equilíbrio de fase (líquido-vapor), balanços de massas e calor, e simulação de vários tipos de equipamentos, possibilita criar plantas químicas tanto de modelos estáticos quanto de modelos dinâmicos, pois possui uma biblioteca com propriedades químicas das substâncias mais conhecidas [4]. A Figura 1 apresenta um simulador.

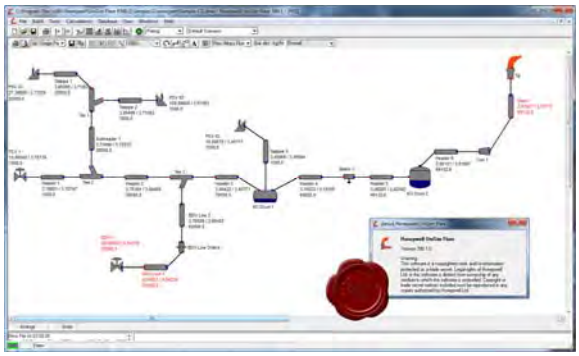


Fig. 1. Simulador UNISIM

B – Estudo de casos 2:

Existem também alguns simuladores do tipo FREE, onde o software está ligado a liberdade de executar, acessar o código-fonte, assim como alterá-lo sem que seja necessário um pagamento pela utilização do mesmo, como exemplo tem-se o software EMSO. Este simulador pode ser instalado tanto no Windows quanto no Linux, e possibilita a simulação por meio do uso de ícones das operações e por equações, e tem sua programação realizada em C++. A Figura 2 mostra a tela do Simulador EMSO [4].

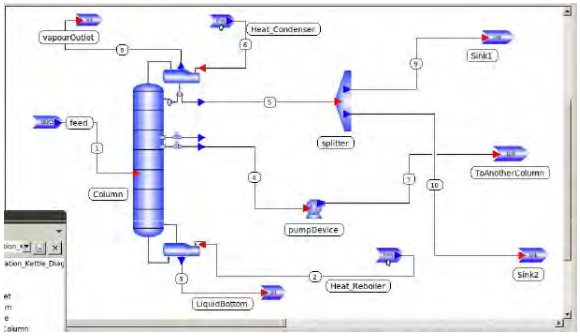


Fig. 2. Simulador ENSO

Além dos casos descritos anteriormente, existem também outros exemplos de simuladores utilizados, como o MatLab/Simulink e o SCADAInTouch®(WindowMaker ; WindowView), o OLE Automation e Hysys, dentre outros.

III - DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA ADOTADA PARA A CRIAÇÃO DAS SIMULAÇÕES.

Para o desenvolvimento da parte prática do trabalho, sendo os softwares e a programação, foram buscadas informações junto a seu fabricante. Sendo estas informações disponíveis em manuais, tutoriais, apostilas de cursos das ferramentas e vídeos relacionados. Foram escolhidos os softwares da Rockwell para o desenvolvimento do supervisório.

A – Recursos utilizados

Foram utilizados os seguintes softwares da Rockwell:

O RSLogix 500 é utilizado para desenvolver a programação na linguagem Ladder, que será enviada para o CLP. A Figura 3 apresenta a tela inicial do programa.

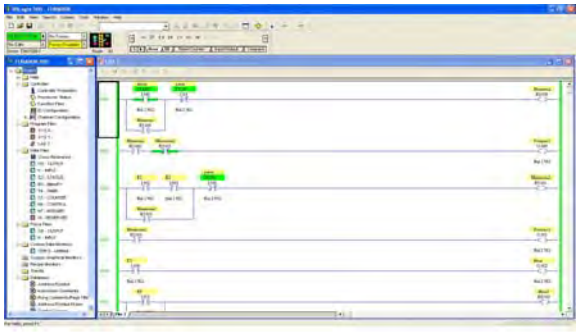


Fig. 3. RSLogix 500

O RSLogix EMULATE 500 é utilizado para criar um CLP virtual, que irá controlar todo o processo de acordo com a programação criada no RSLogix 500. A Figura 4 apresenta a tela do programa.

Fig. 4. RSLogix EMULATE 500

O RSLinx Classic cria a comunicação entre o CLP e o Supervisório, comunicando as entradas e saídas do sistema. A Figura 5 apresenta a tela do RSLinx Classic.

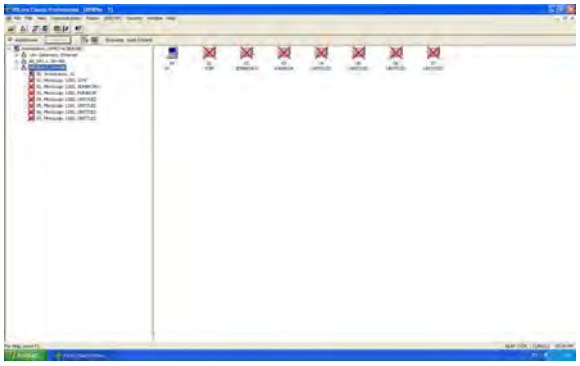


Fig. 5. RSLinx Classic

O RSView32 é utilizado para a criação do supervisório. Neste software são criados projetos que simulam a realidade industrial, conforme mostra a Figura 6.

Fig. 6. RSView32

B- Descrição do passo a passo de criação dos estudos de casos.

Primeiramente é realizado um estudo descritivo de todo o processo. Em geral, desenvolvi-se uma descrição textual do processo e, baseado neste primeiro estudo, é criado o diagrama funcional do mesmo. Em seguida projeta-se no software RSView32 um desenho fiel deste processo, baseado nas ferramentas desenvolvidas inicialmente. A partir do diagrama funcional, cria-se uma programação em Ladder de acordo com o projeto no software RSLogix 500, que pode ser gravado em um CLP virtual através do software RSLogix EMULATE 500, ou em um CLP real como os da família Micrologix. Por fim é criado a comunicação entre o CLP e o supervisório através do software RSLinx Classic. A seguir será apresentada a aplicação da metodologia em 2 estudos de casos.

IV - Apresentação dos estudos de casos desenvolvidos.

Foram realizados 2 projetos:

A- Demonstração do estudo de casos 1

Projeto de um dispositivo para Termoformagem, no qual uma peça plástica é aquecida por raios infravermelhos, em seguida a mesma é transportada por um pistão até a prensa, onde será moldada de acordo com o formato desejado. A Figura 7 detalha este processo através do seu Diagrama Funcional.

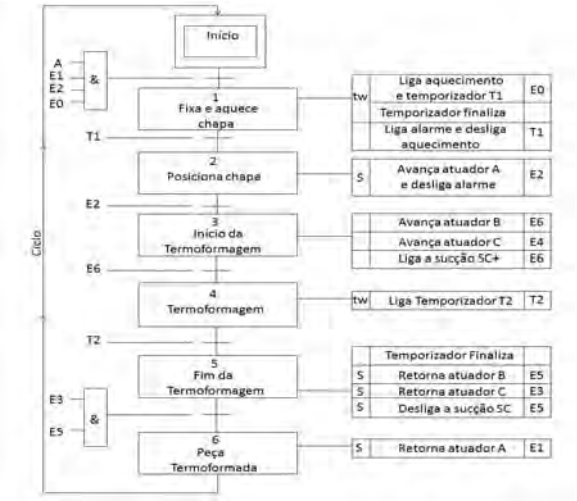


Fig. 7. Diagrama funcional do projeto de Termoformagem

A.1- Testes

Passo 1 (Fixa e aquece a chapa. Vide Figura 7):

A chapa plástica é afixada manualmente a uma moldura posicionada entre os refletores infravermelhos. Um botão manual E0 dispara o processo, ativando os refletores infravermelhos que vão aquecer a chapa até a temperatura de termoformagem, esta etapa é temporizada e finalizada quando o temporizador T1 concluir sua contagem. (Vide Figuras 8, 9)

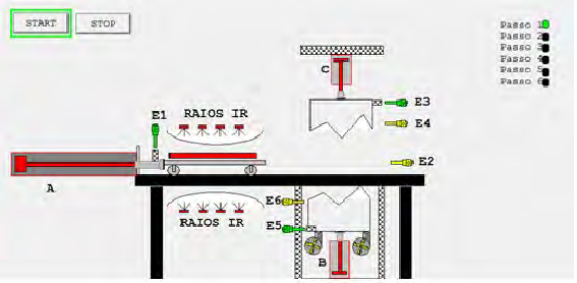


Fig. 8. Dispositivo para Termoformagem

Programação em Ladder Passo 1:

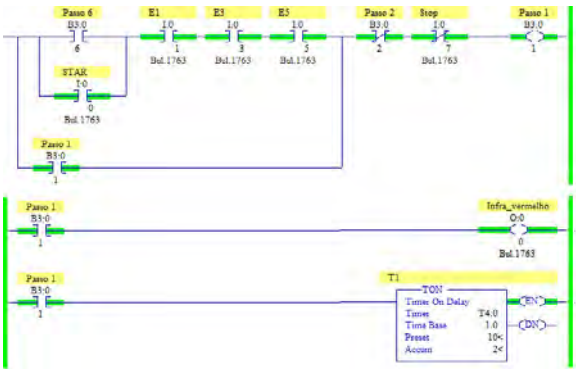


Fig. 9. Programação em Ladder Passo 1

Passo 2 (Posiciona chapa. Vide Figura 7):

Ao atingir a temperatura de termoformagem, os refletores são desligados e o atuador A é ativado. (Vide Figuras 10, 11)

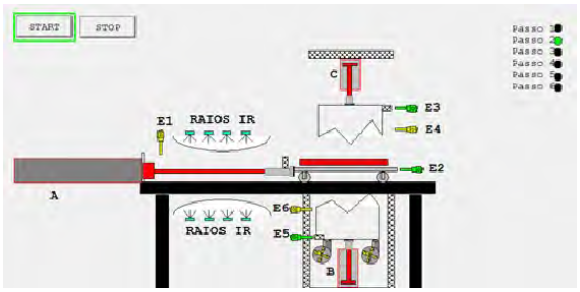


Fig. 10. Dispositivo para Termoformagem

Programação em Ladder Passo 2:

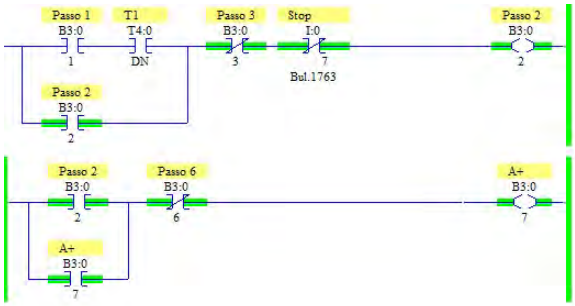


Fig. 11. Programação em Ladder Passo 2

Passo 3 (Início da Termorformagem. Vide Figura 7):

Ao final de seu curso (E2 ativado), então é liberada a subida do plugue macho e a descida do plugue fêmea, onde acontece o fechamento do molde (encontro dos plugues). (Vide Figuras 12, 13)

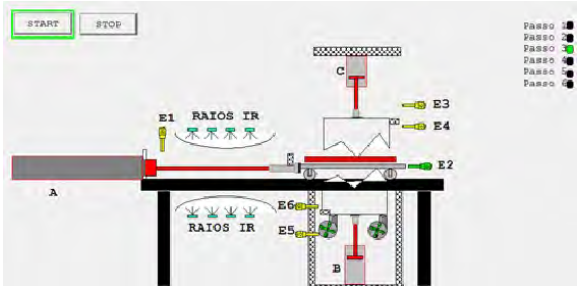


Fig. 12. Dispositivo para Termoformagem

Programação em Ladder Passo 3:

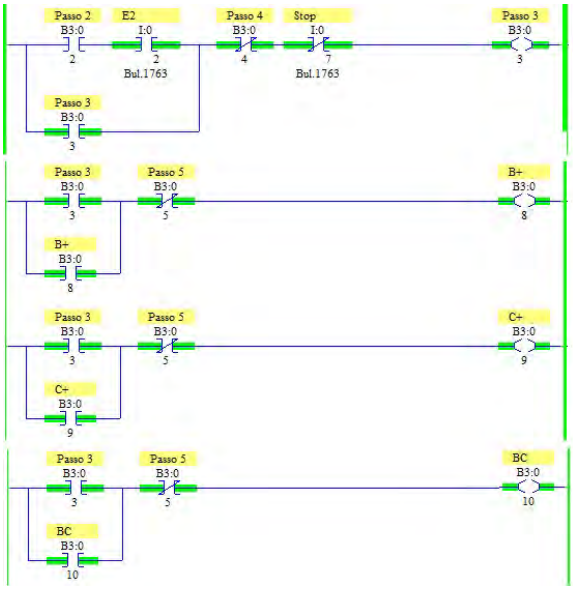


Fig. 13. Programação em Ladder Passo 3

Passo 4 (Termoformagem. Vide Figura 7):

Os sensores E4 e E6 acionam simultaneamente um temporizador T2 que temporiza a duração de fechamento dos plugues, bem como uma bomba de sucção instalada no plugue fêmea cuja função é succionar a chapa, por meio dos canais de sucção, obtendo assim uniformidade na moldagem. (Vide Figuras 14, 15)

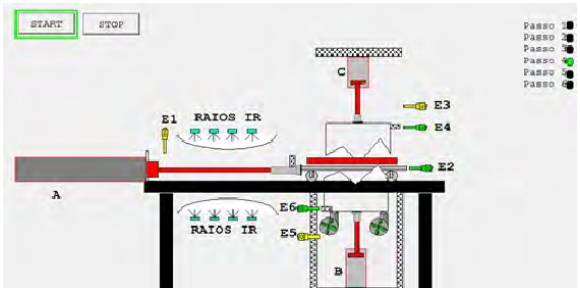


Fig. 14. Dispositivo para Termoformagem

Programação em Ladder Passo 4:

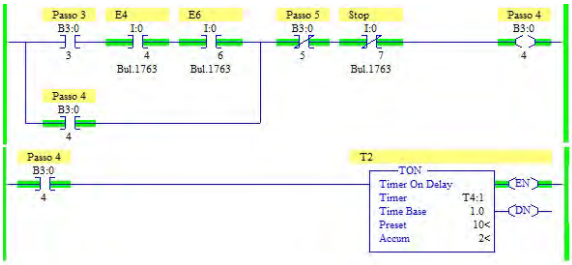


Fig. 15. Programação em Ladder Passo 4

Passo 5 (Fim da Termoformagem. Vide Figura 7):

Os atuadores B e C retornam, e as bombas de sucção são desligadas, voltando ao estado inicial. (Vide Figuras 16, 17)

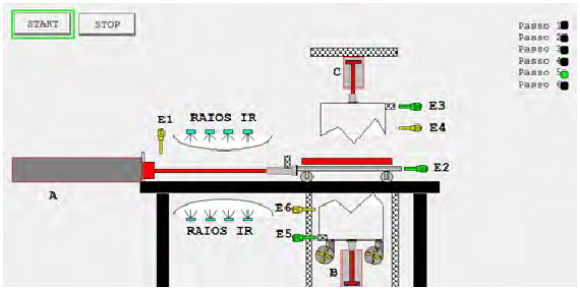


Fig. 16. Dispositivo para Termoformagem

Programação em Ladder Passo 5:

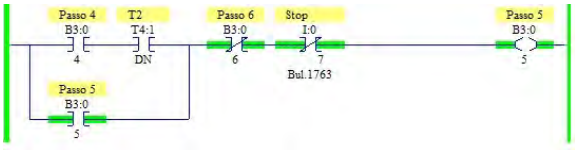


Fig. 17. Programação em Ladder Passo 5

Passo 6 (Peça Termoformada. Vide Figura 7):

O atuador A retorna, ficando o processo pronto para o próximo ciclo. (Vide Figuras 18, 19)

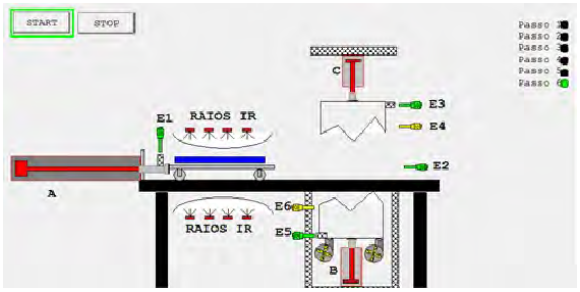


Fig. 18. Dispositivo para Termoformagem

Programação em Ladder Passo 6:

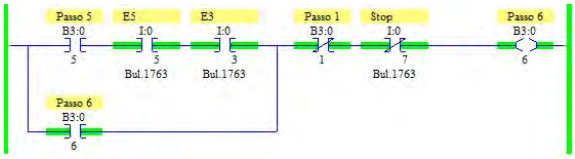


Fig. 19. Programação em Ladder Passo 6

B- Demonstração do estudo de casos 2

Projeto de um dispositivo de furar peças, onde uma peça é empurrada por um pistão até a posição em que será furada. Depois de furada, o pistão empurra novamente a caixa para a

estocagem. A Figura 20 mostra o Diagrama Funcional deste processo, que será descrito nos passos a seguir.

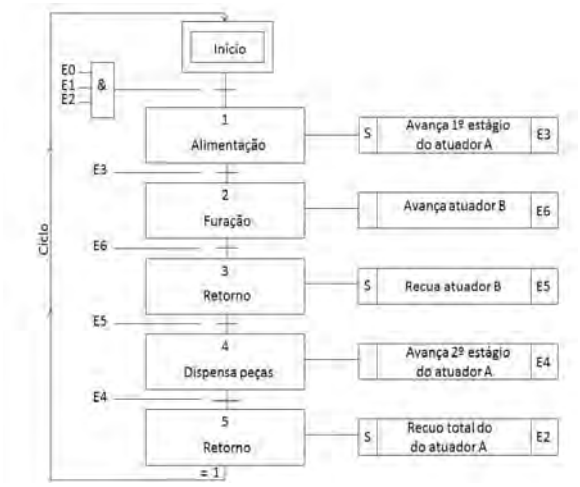


Fig. 20. Diagrama Funcional do comando sequencial para furação de peças

B.1- Testes
Passo 1 (Alimentação. Vide Figura 20):

O dispositivo é acionado por um botão do tipo impulso e a partida só ocorrerá se o sensor E1 acusar a existência da peça. (Vide Figuras 21, 22)

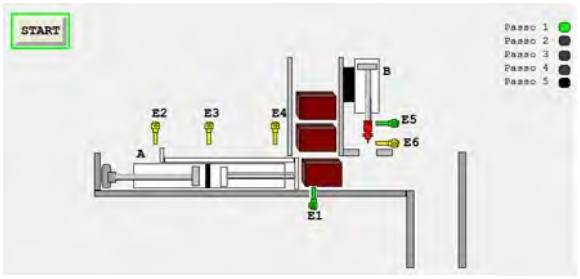


Fig. 21. Dispositivo de furação de peças

Programação em Ladder Passo 1:

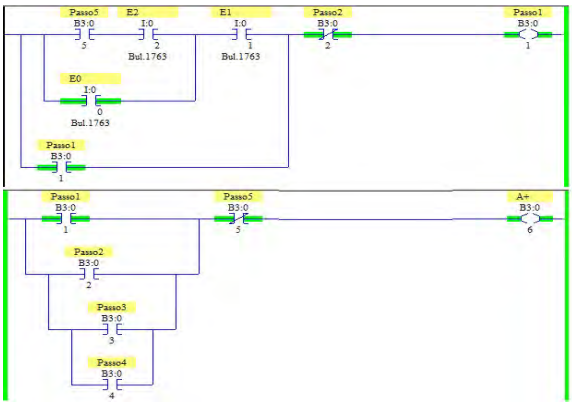


Fig. 22. Programação em Ladder Passo 1

Passo 2 (Furação. Vide Figura 20):

O sensor E3 detecta a presença da peça na posição ideal aciona o atuador B para que possa ser realizado o processo de furação. (Vide Figuras 23, 24)

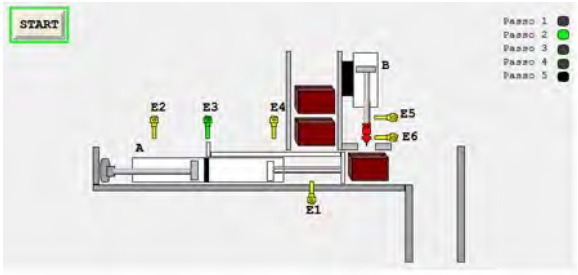


Fig. 23. Dispositivo de furação de peças

Programação em Ladder Passo 2:

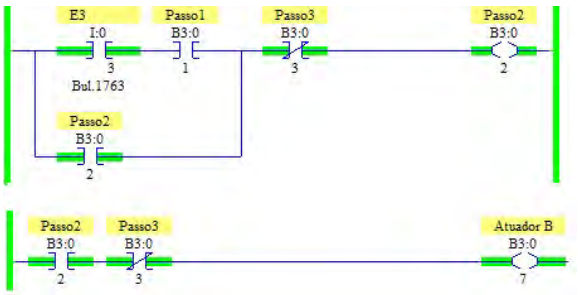


Figura 24. Programação em Ladder Passo 2

Passo 3 (Retorno Atuador B. Vide Figura 20):

O atuador B retorna para que a peça possa ser descarregada. (Vide Figuras 25, 26)

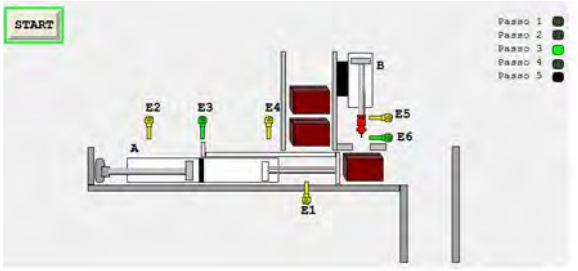


Fig. 25. Dispositivo de furação de peças

Programação em Ladder Passo 3:

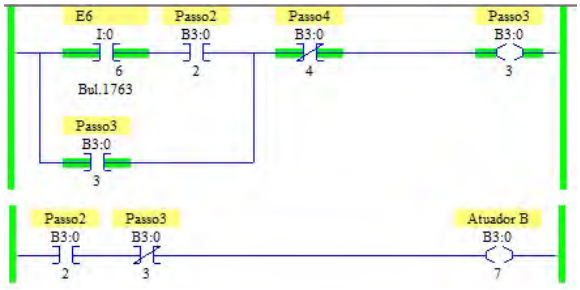


Fig. 26. Programação em Ladder Passo 3

Passo 4 (Dispensa Peças. Vide Figura 20):

O atuador A avança seu segundo estágio, dispensando a peça. (Vide figuras 27, 28)

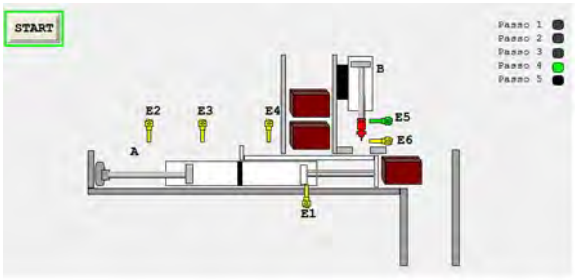


Fig. 27. Dispositivo de furação de peças

Programação em Ladder Passo 4:

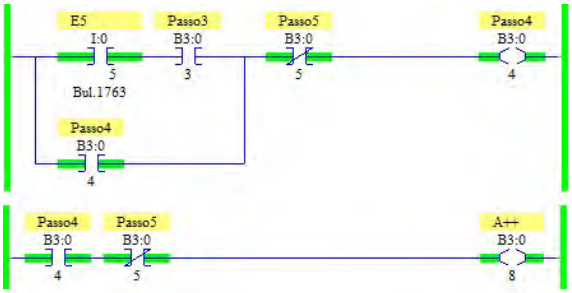


Fig. 28. Programação em Ladder Passo 4

Passo 5 (Retorno. Vide Figura 20):

O atuador A retorna. (Vide Figuras 29, 30)

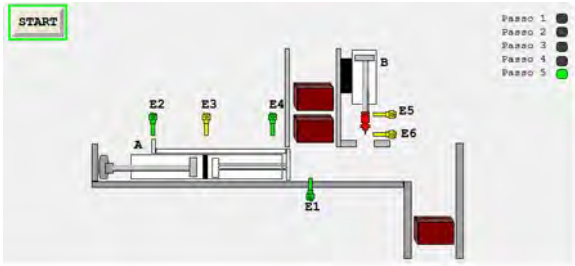


Fig. 29. Dispositivo de furação de peças

Programação em Ladder Passo 5:

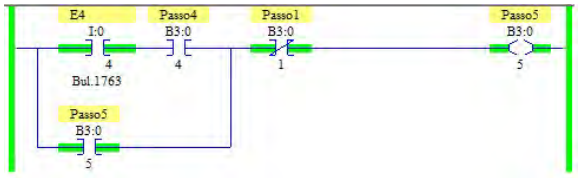


Fig. 30. Programação em Ladder Passo 5

V - RESULTADOS

Após o estudo dos sistemas de supervisórios e CLP's (Controlador Lógico Programável) com suas respectivas programações e implementações, o resultado final obtido foi satisfatório. Foram desenvolvidos dois supervisórios: o primeiro tratou-se de um dispositivo de Termoformagem, e o segundo de um dispositivo de furação de peças, onde ambos estão em constante comunicação com um CLP (Controlador Lógico Programável), o que possibilitou controlar todo o processo de forma eficiente manipulando as entradas e saídas como programado. Na parte de programação foi utilizada a linguagem Ladder, por trata-se de uma linguagem de fácil entendimento.
Na parte acadêmica o projeto se mostrou eficiente, atendendo aos objetivos propostos voltados ao aprendizado do aluno, podendo ser utilizado como ferramenta na melhoria do processo de ensino-aprendizagem em cursos tecnológicos, tais como [7]. E na parte Industrial foi possível perceber grande utilidade na criação de projetos. Dentre as principais vantagens estão, a redução do prazo de projeto e implantação, redução de custos, melhoria na qualidade e principalmente a redução de riscos. Essas vantagens contribuem para um excelente custo-benefício.

VI - CONCLUSÕES

O trabalho realizado promoveu o desenvolvimento de sistemas, tendo como objetivo a criação de cenários bem próximos da realidade com a utilização de ferramentas totalmente virtuais, onde possam ser realizados testes e alterações antes mesmo da implementação do projeto na indústria. Esse sistema é bastante utilizado no mundo inteiro, pois cria a interface homem-máquina, facilitando no entendimento de todo o processo por parte do operador, e também ajuda na minimização de gastos com problemas de ultima hora, tornando-se então ótimo aliado da indústria na relação custo-benefício. É importante também ressaltar o uso desse trabalho para o aprendizado dos alunos de graduação, pois os vários dias trabalhando na programação e acertando toda a estrutura do software supervisório serviram para o aluno se familiarizar com as ferramentas que posteriormente serão utilizadas por ele na indústria.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus, que nos deu tudo, o Dom da vida!!
Aos nossos pais, por nos ensinarem o caminho correto.
Aos mestres, que com sua paciência, antes de nos ensinarem, fizeram-nos aprender !!!

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

[1] SANTOS, H. G.(2007) Desenvolvimento de um supervisório modular para uma célula flexível de manufatura. Florianópolis – SC.
[2] GLÓRIA, L. S.;CARVALHO, A. S.; GRILLO, F. S.; SILVA, D. R. Desenvolvimento de Simulador Industrial para Processamento

de Gás Natural – VIII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia

[3] FREITAS, E. F.; FONSECA, M. O.;MARQUES, R. M.(2007) Utilização de técnicas de simulação para desenvolvimento, testes e validação de projetos de Automação. São Paulo – SP.

[4] NICODEMOS, R. M.(2011) Introdução aos Simuladores de Processo. Uberlândia – MG.

[5] FIALHO, A. B.(2011) Automação Pneumática – Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos. Erica, 6ª ed., São Paulo – SP.

[6] SOFTWARE ENSO, disponível para download em: http://www.enq.ufrgs.br/trac/alsoc

[7] GAVIRA, M. O.(2003) Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento.

[8] ROCKWELL AUTOMATION, RSView32, http://www.4shared.com/rar/kqp2EkHF/RSView32_Version_750_CPR_9part.html?cau2=403tNull Acessado em: 17/09/2012 as 14:00.00.

[9] RSLinx, http://www.ab.com/support/abdrives/webupdate/software/RSLinxClassicLitev2.57.exe Acessado em: 17/09/2012 as 13:00.00.

[10] RSLogix, http://files.rockwellautomation.com/Public/Micro_Lite_830.zip Acessado em: 17/09/2012 as 18:00.00.

[11] RSLogix Emulate, http://mms.rockwellautomation.com/idc/groups/mti_media/documents/multimedia/rsemulate500.zip Acessado em: 17/09/2012 as 15:00.00.

Abordagem Comparativa entre Gerador AC de Turbina a Gás e Células a Combustível

Emerson Leão Brito do Nascimento

UEA - Universidade do Estado do Amazonas
EST -Escola Superior de Tecnologia
emersonleaobrito@gmail.com

Thiago Silva Filgueiras

UEA - Universidade do Estado do Amazonas
EST -Escola Superior de Tecnologia
thiagosilvaf12@gmail.com

Luiz Felipe de Oliveira Vaz

UEA - Universidade do Estado do Amazonas
EST -Escola Superior de Tecnologia
luiz_lfov@hotmail.com

Raimundo Cláudio Souza Gomes

UEA - Universidade do Estado do Amazonas
EST -Escola Superior de Tecnologia
rclaudio.gomes@gmail.com

***Resumo*—Este artigo tem como propósito explanar sobre as tecnologia de geração de energia que utilizem o gás natural como fonte combustível. As tecnologias apresentadas neste artigo referem-se aos geradores AC movidos a turbinas a gás e as células a combustível em uma abordagem técnica e prática.**

Este artigo compõe fruto de um trabalho maior, com o propósito de estudar a viabilidade da distribuição de energia em corrente contínua, em baixa tensão, na escala de micro geração e micro distribuição, com o intuito de ser utilizado na alimentação de cargas que trabalham exclusivamente em regime permanente DC. Dentre as formas de geração de energia, o estudo se baseia na avaliação da eficiência das seguintes tecnologias: gerador AC movido a turbina a gás e célula a combustível.

***Palavras chave*—Turbina a gás, Célula a Combustível, Usina Mauá, Gerador AC.**

***Abstract*—This article has the purpose of explaining about the energy generation technologies which use the natural gas as fuel source. The technologies in this article refer to AC generators powered by gas turbines and fuel cells, in a technical and practical approach.**

This article is part of a larger research, instead of studying the sustainability of DC power distribution, low voltage, scale micro-generation and micro-distribution, aiming to be supplying loads that work exclusively in DC system. Among the possible power generation, the study is based on the measurement of the efficiency of the following technologies AC generator powered by gas turbine and fuel cell.

Key Word — Gas Turbine, Fuel Cell, Mauá Power Plant, AC Generator.

I. Introdução

Com a necessidade de preservação do meio ambiente, vem sendo feitas pesquisas por novas possibilidades de geração de energia. Como solução para diminuir o impacto ambiental e manter (ou até mesmo aumentar) a eficiência da geração de energia, surgem fontes alternativas, que contornam a utilização de matéria prima não renovável, como o carvão e o petróleo.

Atualmente, a geração de energia tem sido um assunto bastante explorado em pesquisas. A célula a combustível compete com muitos outros tipos de aparelhos de conversão de energia, incluindo as turbinas a gás. Os motores de combustão como a turbina e o motor à gasolina queimam combustível e usam a pressão criada pela expansão dos gases para fazer trabalho mecânico. As baterias convertem a energia química novamente em energia elétrica, quando isto se torna necessário. As células fazem essas tarefas, segundo o estudo, de maneira mais eficiente.

Nos dias atuais, ao mesmo tempo em que deve ser mais confiável, a rede elétrica precisa se mostrar compatível com outras matrizes energéticas, interligando, por exemplo, as principais usinas hidrelétricas e parques eólicos, distantes dos centros urbanos, sendo esta rede automatizada e munida de recursos de autorregulação. Também estaria receptiva a outras fontes energéticas e de pequena escala, como painéis solares, células a combustível, em parte graças a capacidade de compensar as flutuações no suprimento por meio de seu armazenamento em um complexo distribuidor. Essa nova

E. L. B. do Nascimento é bolsista do PAIC e R. C. S. Gomes é o orientador de tal projeto. T. S. Filgueiras e L. F. de O. Vaz são pesquisadores voluntários do mesmo. Todos são pesquisados do Núcleo de Sistemas Embarcados (NSE) da Universidade do Estado do Amazonas (UEA), unidade Escola Superior de Tecnologia (EST), localizada na Av. Darcy Vargas, 1200. Parque Dez de Novembro. CEP: 69050-020.

O trabalho relatado neste artigo é integrante de um projeto maior envolvendo outras temáticas, orientados pelo MSc. Raimundo Cláudio Souza Gomes e outros pesquisadores.

tecnologia, em andamento em vários países, atende pelo nome de *Smart Grid*.

II. SMART GRID E MICROGERAÇÃO

O *SmartGrid* baseia-se na utilização intensiva de tecnologia de automação, computação e comunicações para monitorar e controlar a rede elétrica, que permite que elas sejam mais eficientes do que o modelo centralizado (geração, transmissão e distribuição de energia). Um de seus atributos é a viabilização de mercados competitivos de energia, favorecendo o mercado varejista e micro-geração. [1]

Uma das inovações tecnológicas mais promissoras do *Smart Grid* são as Microrredes Inteligentes, que são uma forma eficiente de se conectar fontes de energia de diferentes tipos e capacidades, dispositivos armazenadores de energia e cargas especiais. [1]

A utilização de energias renováveis (como a fotovoltaica, a eólica e etc.) vem sendo estudadas com o objetivo de conectá-las aos sistemas de distribuição de energia elétrica, com intuito de diminuir o impacto negativo no meio ambiente e por razões políticas e tecnológicas, criando o conceito de *Geração Distribuída e Micro-geração*. Neste quesito, haverá disponibilização de geração destinada a uma pequena área através da utilização da tecnologia dos painéis solares (fotovoltaicos), células a combustível, dentre outras tecnologias, que serão capazes de produzir energia para consumo próprio e venda para a concessionária.

Dentre as características da arquitetura *Smart Grid*, temos com destaque o seguinte:

1- Fluxo de energia na forma bidirecional: geração distribuída e integrada às redes a partir de unidades tradicionalmente consumidoras (prosumidor);

2- Fluxo de informação de forma bidirecional: dados e informações, adquiridos de forma maciça em campo a partir de sensores instalados na rede, passam a alimentar os sistemas comerciais e técnicos;

3- Abordagem centrada no cliente: informações sobre o consumo, gastos, tarifa, status da rede, qualidade de serviço e sustentabilidade ambiental. [2]

O conceito de rede inteligente, empregado em nosso estudo, é o da geração distribuída, é a distribuição de energia em DC, no conceito de microgeração e micro distribuição. Na distribuição no sistema convencional, temos a diminuição da tensão para cargas residenciais, onde um transformador faz esse trabalho, e alimenta uma parte do conjunto de moradores. Essas casas poderiam ser atendidas com uma rede DC de alimentação ao invés de uma rede AC, que evitaria a perda de qualidade da rede convencional. [3]

III. TURBINAS A GÁS

A. Fundamentos de Funcionamento

A Figura 1 representa um motor de turbina a gás de eixo único. Neste arranjo, os eixos do gerador a gás e da turbina de energia são acoplados mecanicamente e giram na mesma velocidade. O gás quente extraído pelo primeiro estágio da turbina converte suficiente energia de gás quente em energia mecânica para acionar o compressor de circulação axial, e a energia de gás quente é convertida em energia mecânica pelo segundo estágio da turbina para acionar o gerador. [4]

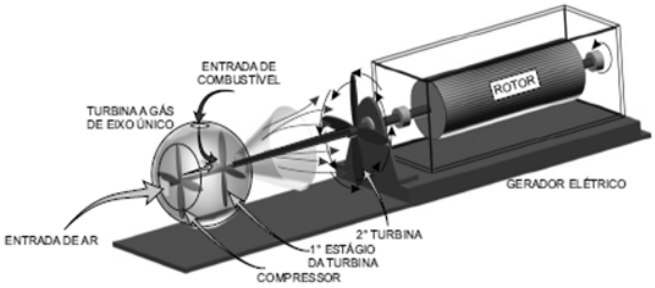


Figura 1 - Turbina a Gás. [4]

A Figura 2 é um corte de uma turbina de gás. Esta é uma máquina de eixo único que possui um compressor de fluxo axial de 17 estágios e uma turbina de 3 estágios para movimentar o compressor e o gerador elétrico. Tal motor foi projetado para operar numa velocidade de 3600 rpm e produz aproximadamente 115630 HP no eixo. Os 3 estágios de palhetas da turbina convertem a energia de gás quente que foi desenvolvida pelo combustor em energia mecânica que acione o compressor de fluxo axial e o gerador elétrico. Aproximadamente 65% da energia de gás quente que foi desenvolvida pelo combustor é consumida pela turbina para acionar o compressor de alta pressão. Os 35% restante é convertida pelos estágios da turbina de baixa pressão para acionar o gerador elétrico. [4]

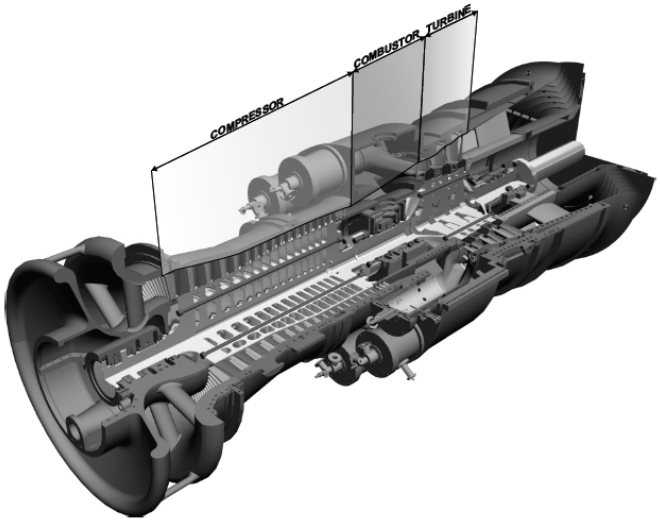


Figura 2 - Interior de uma turbina a gás. [4]

A Figura 3 mostra uma vista de corte transversal do motor de turbina a gás MS7001EA, da General Electric. A passagem do fluxo de ar pelo compressor de fluxo axial é um duto convergente. A passagem de fluxo de ar muda para um duto divergente um pouco a montante da seção de combustão, o que é a seção difusora do motor. Enquanto o ar é expandido

pela combustão de combustível, o gás quente sai da seção de combustão através de um duto convergente. A passagem do fluxo de ar pelas seções de turbina é um duto divergente. [4]

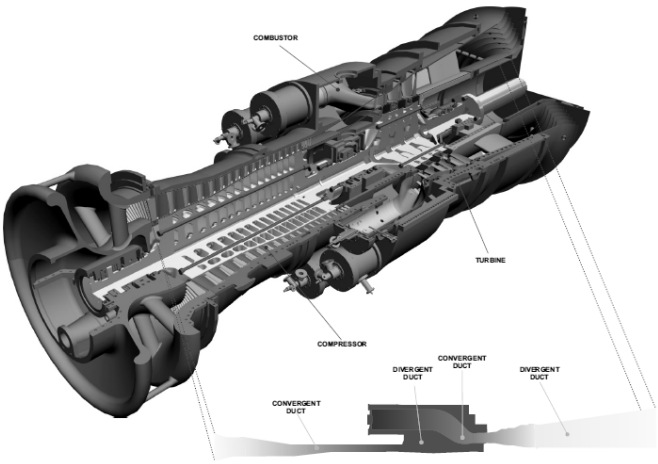


Figura 3 - Motor de turbina a gás MS7001EA, da General Electric. [2]

B. Principais componentes da turbina a gás

B.1 O Compressor

Na Figura 4 mostra uma vista de corte lateral de um compressor típico de circulação axial. O propósito do compressor é puxar o ar para dentro do motor e o comprimir num espaço menor para aumentar o fluxo de massa para o combustor. [2]

O compressor consiste em dois elementos básicos: o eixo com as palhetas de compressor anexadas e o invólucro do compressor com as palhetas fixas anexadas. A forma geral do compressor é de um duto convergente. Quando o eixo e as palhetas do compressor giram, puxam grandes volumes de ar, comprimindo-o em um espaço ou em um volume menor. As palhetas fixas aumentam a pressão estática do ar enquanto este flui do lado da entrada de ar do compressor até o lado da descarga do compressor; pois, enquanto a pressão aumenta fluindo pelo compressor, a temperatura também aumenta devido à compressão.

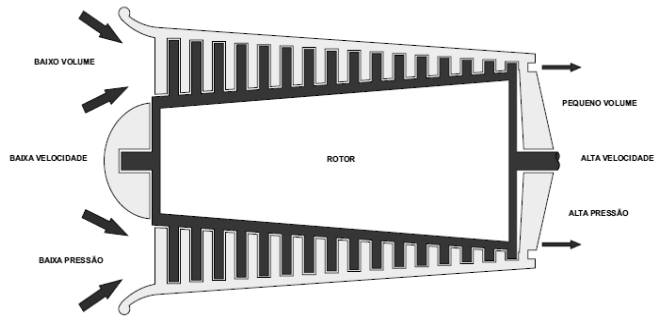


Figura 4 - Típico Compressor. [4]

Enquanto o eixo gira, as palhetas do compressor puxam o ar para dentro do motor através da passagem de fluxo do duto convergente. Por causa da forma divergente entre as palhetas, a pressão estática aumenta. A pressão criada pelo fluxo também aumenta. A pressão estática e a pressão criada pelo fluxo, quando somadas, resultam na pressão total.

Quando o ar entra no estágio de palhetas fixas, o espaço divergente entre elas aumentam mais a pressão estática. O problema é que, enquanto se opera nas velocidades menores daquelas projetadas, a pressão estática desenvolvida pelos estatores pode ficar maior que a pressão total desenvolvida pelas palhetas giratórias a montante, o que causa um fluxo de ar reverso (estol) dentro do compressor.

Para prevenir o estol do compressor enquanto se opera abaixo da velocidade de operação de projeto, os compressores possuem várias válvulas de sangria. Estas válvulas estão abertas durante a operação em baixa velocidade (baixo fluxo de ar) e liberam o ar de descarga do compressor de baixa pressão. Este arranjo previne que a condição de estol ocorra dentro do compressor de alta pressão. [4]

B.2 O Combustor

A Figura 5 mostra o esquema do combustor. A finalidade do combustor é aquecer e acelerar o ar (massa) que é entregue pelo compressor. O combustor é do tipo chamado "caneco". Cerca de 18% do ar que é entregue pelo compressor entra no combustor pelos tubos de atomização e são misturados com o combustível pelos turbilhonadores, para serem usados no processo de combustão. O ar para diluição da temperatura entra lateralmente pelos combustores através de abertura nas câmaras. [4]

A temperatura da chama em plena carga é de aproximadamente 3200ºF. A temperatura dos gases quente enquanto este entra na turbina de alta pressão é de aproximadamente 2100ºF.

A saída do combustor foi projetada como um duto convergente. Aqui, os gases quentes serão acelerados antes de entrar na seção da turbina do motor.

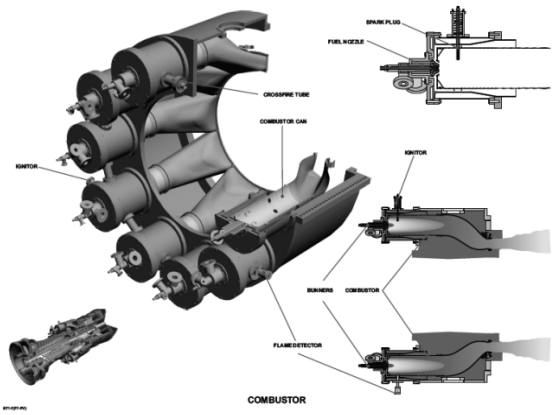


Figura 5 - Esquema de um Combustor. [4]

B.3 A TURBINA

A turbina a gás Frame 7EA foi projetado com uma turbina de três estágios, do tipo impulso-reação. Seu propósito é converter a energia do gás quente que é entregue do combustor em energia mecânica, como meio de acionar os compressores de circulação axial do motor e o eixo do gerador elétrico.

O fundamento da operação é: o gás quente entra nos bocais do primeiro estágio da turbina, que são as palhetas fixas, arranjadas de tal forma que o espaço entre cada uma delas seja um duto convergente. Isto permite com que o gás quente do

combustor acelere mais antes de bater nas palhetas giratórias do primeiro estágio, que estão localizadas logo após a jusante dos bocais do primeiro estágio. Quando o gás quente sai das palhetas fixas do primeiro estágio, ele colide nas palhetas giratórias, ainda do primeiro estágio. Com o impacto da força do gás quente, a palheta giratória é empurrada, causando, assim, a rotação. A segunda força ocorre quando o gás quente acelera para fora das palhetas giratórias do primeiro estágio na direção do conjunto de palhetas fixas do segundo estágio. Esta ação produz uma reação igual e oposta que também empurra nas palhetas do primeiro estágio, contribuindo, desta forma, para a rotação. [4]

O fundamento de operação dos outros estágios dentro da seção da turbina do motor é idêntico as do primeiro estágio.

IV. Células a Combustível

A. Operação básica

O comportamento das células a combustível é semelhante ao das pilhas. Porém, as células apresentam um diferencial bastante vantajoso: não necessita ser recarregada, pois, enquanto estiverem sendo fornecidos os elementos necessários a ela, esta estará apta para gerar energia na forma de eletricidade e calor. A estrutura de uma célula é composta basicamente por um eletrólito, ou membrana, envolto por dois eletrodos (anodo e catodo) por onde entram o combustível e o oxigênio, respectivamente. O processo de obtenção de energia a partir das células a combustível pode variar de acordo com o tipo de célula utilizada. Uma das células mais estudas é a do tipo PEM (Proton Exchange Membrane). A Figura 7 mostra o funcionamento básico das células a combustível. [5]

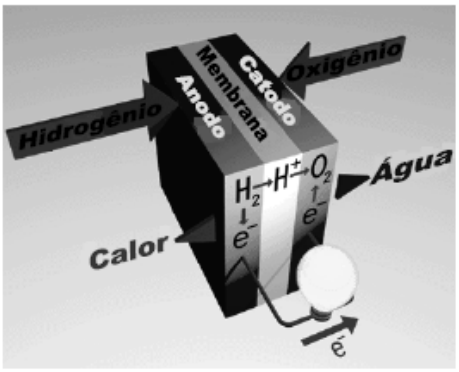


Figura 6 - Operação Básica da Célula a Combustível. [5]

Na célula do tipo *PM*, o hidrogênio utilizado como combustível é inserido através do anodo (como mostrado na Figura 1), sofrendo reação de oxidação e liberando elétrons juntamente com prótons H^+.

$$2H_2 \rightarrow 4H^+ + 4e^- \qquad (1)$$

No catodo, os elétrons e os prótons H^+ provenientes do anodo reagem com o oxigênio gerando água e calor.

$$O_2 + 4e^- + 4H^+ \rightarrow 2H_2O + \text{calor} \qquad (2)$$

Estudando as duas reações anteriores, é possível definir a célula a combustível como uma ferramenta eletroquímica que converte a energia química dos reagentes em energia elétrica, calor e água. Portanto, seu nível de poluição é mínimo. [5]

B. Tipos de Célula a Combustível

É possível classificar as células a combustível considerando parâmetros como temperatura de operação, tipo de combustível, material processado ou não no interior da célula, tipo de eletrólito, tipo de catalisador, etc. [5]

Dentre os grupos, pode-se destacar:

* AFC - *Alkaline Fuel Cell*;
* PAFC - *Phosphoric Acid Fuel Cell*;
* PEMFC - *Proton Exchange Membrane Fuel Cell*;
* DMFC - *Direct Methanol Fuel Cell;*
* MCFC - *Molten Carbonate Fuel Cell*;
* SOFC - *Solid Oxide Fuel Cell*.

TABELA I
COMPARAÇÃO DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS DOS MODELOS CITADOS ANTERIOMENTE:

Tipo	Potência	Temperatura (°C)	Eficiência Típica (%)	Aplicação
AFC	300W a 5kW.	50 a 200	55 a 60	Veículos
PAFC	< 200 KW	150 a 210	42 a 47	Geração Estacionária
PEMFC	50 a 250kW	60 a 110	45 a 65	Veículos/Geração Estacionária
DMFC	50 a 250KW	45 a 100	50 a 55	Veículos
MCFC	10kW a 2MW	630 a 650	55 a 60	Geração Estacionária
SOFC	< 100kW	800 a 100	40 a 45	Geração Estacionária

C. Comparações

Quando o hidrogênio, de forma pura, é aproveitado como combustível, os únicos produtos da reação são água e calor, ou seja, nível mínimo de poluição. Desta forma, a implementação de células está intimamente relacionada à preservação do meio ambiente, ao passo que reduz a produção de dióxido de carbono, responsável pelo efeito estufa.

Para melhor entendimento, a Figura 7 mostra um gráfico comparativo entre a tecnologia das células combustível e outros sistemas que empregam combustíveis fósseis, considerando a emissão de poluentes. [3]

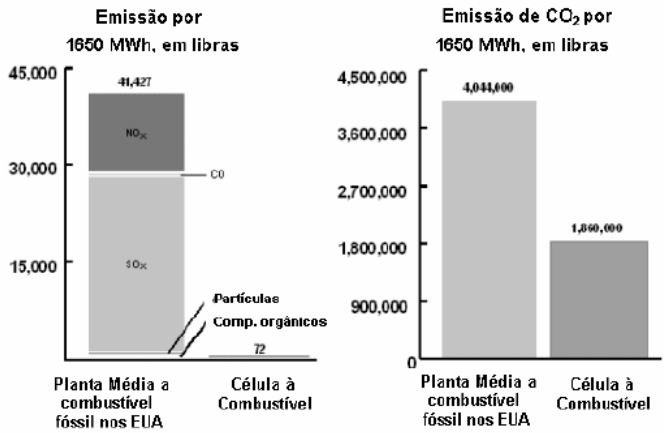


Figura 7 - Emissão de Poluentes – EUA. [5]

Quanto à eficiência, em relação ao motor de combustão (um dos mais utilizados para geração de energia

mecânica/elétrica), que converte apenas 25% da energia presente no combustível em trabalho enquanto todo resto é dissipado sob formas inúteis de energia, como vibração, barulho, calor. Já em uma célula a combustível consegue facilmente atingir 35% de rendimento, podendo alcançar até 60%. Mas, quando considerada as células estacionárias, o índice pode atingir 80%, nas quais o calor é aproveitado para a produção de energia adicional. A Figura 8 mostra o gráfico comparativo em relação ao rendimento [5]:

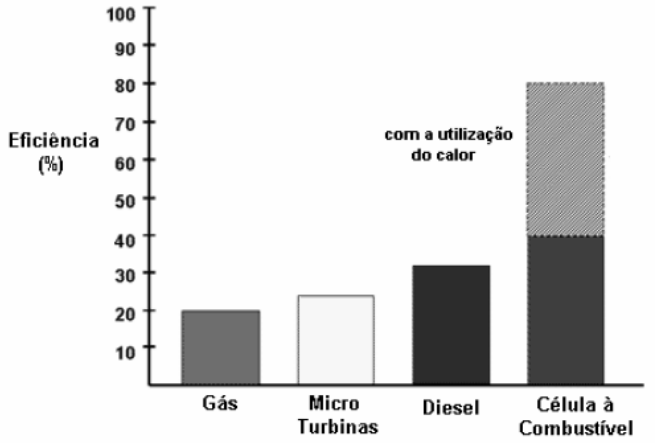


Figura 8 - Gráfico Comparativo - Rendimento [5]

Uma das vantagens da célula a combustível é a independência das células em relação aos combustíveis fósseis, já que ele pode ser adquirido de diferentes métodos, como pela eletrólise e a partir da cana-de-açúcar.

Por não apresentarem partes móveis, as células a combustível proporcionam índices elevados de confiabilidade, sobretudo se examinadas em relação a motores de combustão interna. Além disso, apresentam baixos índices de ruído, evitando interferências. A Figura 9 mostra um gráfico comparativo relacionada a ruídos: [5]

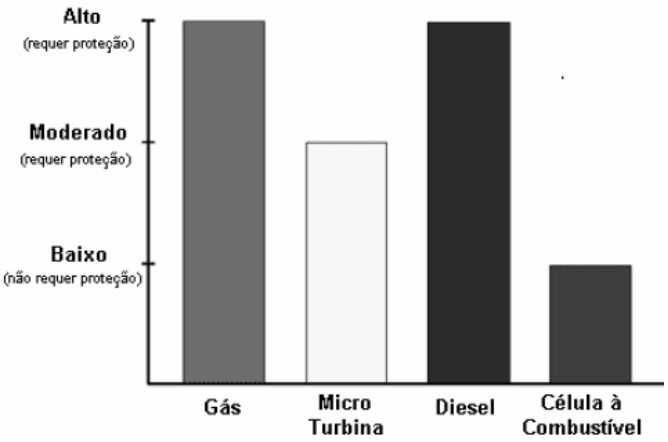


Figura 9 - Gráfico comparativo – Ruídos [5].

Portanto, a célula a combustível apresenta muitas vantagens em relação a outros tipos de geradores. Na Tabela II, é apresentado uma comparação entre a Célula a Combustível (CaC) e outros geradores utilizando os principais parâmetros: [4]

TABELA II
QUADRO COMPARATIVO ENTRE AS TECNOLOGIAS. [7]

Tecnologia	Poluição sonora	Qualidade de energia	Confiabilidade	Manutenção	Custo (U$/KW)	Impacto ambiental
CaC	Inexistente	Boa	Alta	Limpeza	3.000,00 à 5.000,00	Inexistente
Grupo Diesel	Alto	Regular	Regular	Geral	750,00	Existente
Turbina Gás Natural	Alto	Regular	Regular	Geral	1.100,00	Existente

D.Vantagens e Desvantagens entre Célula Combustível e Gerador AC.

A *Horizon Fuel Cell* tem gerador chamado GreenHub, que substitui os geradores convencionais permitindo a sua utilização em ambientes internos e tendo como resíduo final somente calor e água. As configurações referentes às células a combustível estão disponíveis em 5 modelos com ênfase nas potências: 500, 1000, 2000, 3000, 4000 e 5000 W. Além disso, está disponível em 3 versões diferentes: Standard, UPS Online e UPS Off-line. Tendo também diferentes versões de tensão de saída: CA ou CC, ou ambos. [8]

Para que ocorram condições de flamabilidade do gás hidrogênio, é necessário, no mínimo, 4% de concentração ao ar livre. O hidrogênio explode em concentrações acima de 18% no ar. Estas condições são realmente difíceis de alcançar, pois o hidrogênio é 14 vezes mais leve e volátil que o ar. Todos os GreenHubs são equipados com sistemas de segurança que desabilitam a unidade em caso de vazamento de hidrogênio.[8]

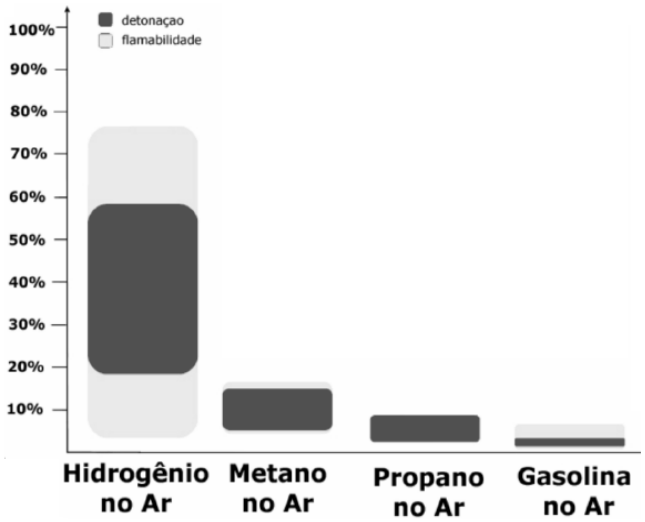


Figura 10 - Limiar de Flamabilidade e Detonação expressos em porcentagem de volume no ar. [8]

Com contado direto com um dos representantes das indústrias *Horizon Fuel Cell Technologies* obtivemos alguns detalhes técnicos interessantes e dos equipamentos disponíveis. Dentre os modelos disponíveis, tivemos maiores informações do modelo H-3000, sistema de célula combustível semi-integrado de potência de 3 KW. O modelo H-3000, fornece potência nominal de 3KW, com ponto de máxima performance a 43V e 70A, com reagentes hidrogênio e ar, funcionando na temperatura ambiente (5-30°C) com

temperatura máxima de 65°C, pressão de 0,455-0,555 bar com pureza do hidrogênio de 99,995% (especificações do fabricante). [9]

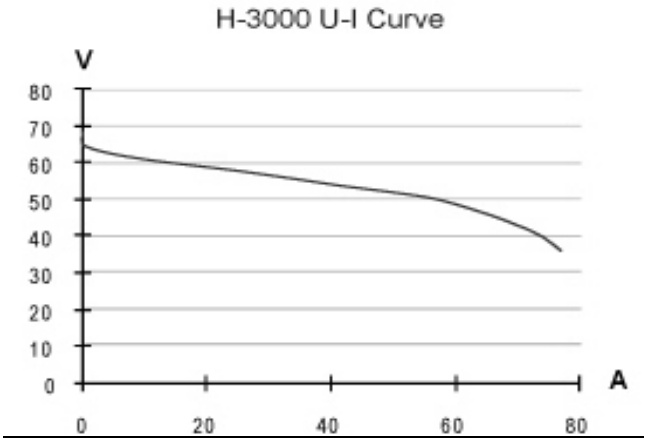


Figura 11 - Curva da Tensão pela Corrente. [9]

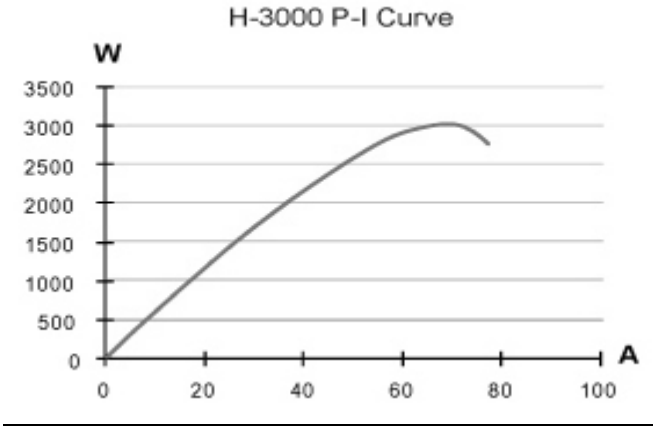


Figura 12 - Curva da Potência pela Corrente. [9]

Em termos de eficiência, a célula combustível chega a 43%, segundo dados da fabricante *Horizon* com representantes no Brasil. A célula funciona com a injeção de hidrogênio puro com pureza sigma 4,5 (99,995%) a pressão média de 0,455-0,555 bar.[9]

Como a matéria prima é o biogás, rico em metano (CH4), é preciso passar por um processo para extração do hidrogênio, nesse processo temos uma perda relativa (depende de como vai ser feita essa conversão). A própria empresa fornece o equipamento necessário, chamado de reformador, responsável por esta etapa do processo.

A célula combustível é altamente vantajosa também por causa da sua unidade ser reduzida, ocupando um espaço pequeno, com área de base variando de 2,5 a 5 metros quadrados (muito menor do que o espaço ocupado por um gerador).

De posse de dados sobre o funcionamento básico das células combustíveis, em termos de vibração e ruído, elas são muito mais vantajosas do que os geradores. Contando com uma unidade completa de geração de energia em DC, a célula combustível apresenta mais vantagens do que o uso do gerador AC. Ela já entrega energia em DC, sem a necessidade de conversão e, em alguns modelos, a célula combustível fornece tanto DC quanto AC. Isso realmente se transforma numa grande vantagem, vide que, ao se utilizar um gerador AC movido a biogás, seria necessário à utilização de um conversor AC/DC na saída, o que acarretaria numa diminuição da eficiência, podendo cair para patamares abaixo de 30%, já a eficiência máxima de conversão AC/DC, se for levado em consideração um sistema trifásico, é de no máximo 95,5% dentro da faixa de 30% à 35%. [9]

E. Visita a Usina Termelétrica de Mauá I.

Durante a visita na Usina Termelétrica de Mauá, localizada no bairro Mauazinho, obtivemos dados dos engenheiros que trabalham na unidade de geração a gás natural. Estes dados foram importantes para que pudesse ser entendido, de maneira técnica e prática, o funcionamento de um gerador a gás. Os dados obtidos nesta visita foram usados como referência e não são utilizados diretamente na construção de uma usina, já que o foco deste estudo é a aplicação de uma unidade de microgeração. Mas tais dados foram úteis para o entendimento técnico e físico dos geradores a gás.

Segundo os engenheiros da usina Mauá, máquinas de geração a gás natural apresentam vantagens como:

E.1 Fácil Manutenção:

O gás natural proveniente de Urucu é mais leve, menos poluente e mais manuseável do que o óleo diesel como fonte de queima para geração. Por isso, o trabalho exercido pelo compressor é menos desgastante e, por se tratar de um fluido mais limpo, consequentemente, durante a queima, os resíduos acumulados são menores, ocasionando maior durabilidade do equipamento e maior intervalo de tempo entre as manutenções. A manutenção é feita em cada parte da máquina em determinados intervalos de tempo. O compressor requer manutenção a cada 8 mil horas, a turbina requer 24 mil horas, e inspeção geral em toda a instalação é feita a cada 48 mil horas. [10]

E.2 Fácil Manutenção:

Os gases poluentes são menos nocivos e menos concentrados do que a queima por óleo, motivo pela qual a usina será convertida para geração a gás. Além disso, libera menos ácido nitroso (NaX). [10]

E.3 Eficiência Energética:

A eficiência energética da geração de energia a gás natural, na Usina Mauá, tem uma taxa entre 30% a 35%, devido a ser uma geração direta sem o reaproveitamento da energia dos gases quentes liberados na produção. Com a construção da terceira etapa, denominada Mauá III, a geração a partir do gás natural utilizará o que é chamado de ciclo-combinado, o que eleva o nível de eficiência para aproximadamente 65% a 80%. O incremento na eficiência é devido ao reaproveitamento dos gases quentes produzidos no final da geração, sendo filtrados para uma caldeira, que movimentará uma turbina apta a gerar energia elétrica, provocando um aumento na capacidade e, consequentemente, na eficiência. [10]

Apesar de suas vantagens, o gás de Urucu, utilizado na usina, apresenta também desvantagens, como ser pobre para queima. Tendo em vista que para aproveitar ao máximo o

potencial de um gerador a gás natural, é preciso uma área de instalação muito grande, já que usando o modelo ciclo-combinado, necessita-se a instalação de uma caldeira e turbinas.

V. Conclusões

A elaboração e a finalidade da turbina a gás são bem definidas. Através dela é possível utilizar gás para gerar energia mecânica e, posteriormente, em energia elétrica através da movimentação do gerador elétrico. Porém, para que isto ocorra, é necessário dimensionar de tal forma a turbina e seus principais setores (compressor, combustor e turbina) trabalhem em pleno êxito, evitando perdas demasiadas.

Apesar de o estudo ser baseado numa usina de geração a gás natural, o projeto pode ser facilmente adaptado para que o biogás seja a matéria prima da combustão. A queima se baseia na mistura de metano e oxigênio, e por ser rico em metano, o biogás apresenta um promissor aproveitamento para geração de energia limpa.

Com foco no estudo na distribuição de energia elétrica em nível DC, em uma rede que visa unicamente alimentar cargas essencialmente DC, a célula a combustível se torna mais vantajosa. A célula a combustível tem outra vantagem: a utilização de um espaço físico menor do que o que uma turbina a gás. Além disso, em relação a ruídos e vibrações, as células a combustível são mais vantajosas, já que o nível de intensidade dos tais efeitos são menores do que de uma turbina a gás. E uma das maiores vantagens de uma célula a combustível para o estudo deste artigo é a geração de energia em DC, sem necessidade de um conversor ou adaptador, sendo que, em alguns tipos, a energia gerada é tanto em DC quanto em AC. Isso acaba se tornando a economia de mais uma etapa no processo, já que o uso do gerador AC requisitaria o acoplamento de um conversor AC/DC, podendo ocorrer perdas durante este processo.

Referências

[1] FALCÃO, Djalma M. Integração de Tecnologias para Viabilização da Smart Grid. [s.l]: [s.d.].

[2] *CAPELAS JR., Afonso. Smart Grid: o futuro da energia - Redes Inteligentes podem melhorar o sistema, evitar apagões e ainda trazer economia aos consumidores. Fonte: National Geographic Brasil. [s.l]: [s.d]*.

[3] YU, Xinghuo; CECATI, Carlo; DILLON, Tharam; SIMÕES, M.Godoy. The New Frontier of Smart Grids - An Industrial Electronics Perspective. IEEE Industrial Eletronics Magazine. [s.l.] : Setembro 2011.

[4] ENERGY TECHNOLOGY SERVICES INC.. Usina Termelétrica de Porto Velho - Manual de Treinamento. Volume 2. Sistema do Turbo Gerador a Gás. Porto Velho: [s.d.].

[5] SERPA, Leonardo Augusto. Estudo e Implementação de um Sistema Gerador de Energia Empregando Células a Combustível do Tipo PEM. Florianópolis: UFSC, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

[6] MOTA, Henrique de Sena. Análise Técnico Econômica de Unidades Geradoras de Energia Distribuída. São Paulo; USP, 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, 2011.

[7] FRANCHI, T.P.; JÚNIOR, A.F.B.; Utilização de Células a Combustível Tipo PEM como Alternativa na Geração Auxiliar em Instalações Elétricas de Grande Porte. [s.l.]: 2009.

[8] GreenHub - Células a Combustível de Hidrogênio Integradas para fornecerem tensão de saída CA e CC. Horizon Fuel Cell Brazil. Brasil H2 Fuel Cell Energy. [s.l.]: [s.d.].

[9] Open-Cathode PEM Fuel Cell. Horizon Fuel Cell Technologies. [s.l], [s.d.].

[10] Daniel; Marcondes. Detalhes Técnicos da Unidade Termelétrica de Geração a Gás Natural. Manaus, 25 jan. 2013. Entrevista concedida a Emerson Leão Brito do Nascimento, Luíz Felipe de Oliveira Vaz e Thiago Silva Filgueiras.

Automação de uma prensa pneumática para reciclar latas de alumínio e aço

Wanessa T. de Souza Pinheiro
Instituto de Estudos Superiores da Amazônia
pinheirowaness@hotmail.com

Wilson M. da Luz Costa
Instituto de Estudos Superiores da Amazônia
wilsonm@sococo.com.br

Thayrana A. Melo
Instituto de Estudos Superiores da Amazônia
thayrana@yahoo.com.br

Max R. P. Trindade
Instituto de Estudos Superiores da Amazônia
max@prof.iesam-pa.edu.br

Roger R. da Silva
Instituto de Estudos Superiores da Amazônia
roger@prof.iesam-pa.edu.br

***Abstract*— This study aimed to build a press electro pneumatic to expedite the process of recycling. The sys-tem comprises three cylinders, where the first is responsible for feeding, or by the can lead to the second cylinder which is responsible for compressing the canister, the third cylinder is responsible for the separation of the material. Upon pressing a sensor analyzes the material as ferrous and nonferrous, then separating, or aluminum cans in a container and steel cans in another. The whole process is controlled by a PLC.**

***Keywords*— Recycling, Aluminum and steel cans, pneumatics.**

***Resumo*— Este trabalho teve como objetivo construir uma prensa eletropneumática para agilizar o processo de reciclagem. O sistema é composto por, três cilindros, onde o primeiro é responsável pela alimentação, ou seja, por conduzir a latinha até o segundo cilindro que é responsável por compactar a lata, o terceiro cilindro é responsável pela separação do material. Após a prensagem um sensor analisa se o material é ferroso ou não ferroso, separando em seguida, ou seja, latas de alumino em um recipiente e latas de aço em outro. Todo o processo é controlado por um PLC.**

***Palavras chave*— Reciclagem, Latas do Alumínio e Aço, Pneumática.**

I. Introdução

Atualmente, o mundo vem sofrendo grandes impactos ambientais. Um dos motivos é o aumento da população, que gera um aumento no consumo e acaba ocasionando a degradação do meio ambiente.

Com o aumento dessa degradação a população vem buscando, nos últimos anos, uma reeducação ambiental, a qual faz as pessoas pensarem mais em sustentabilidade. Dessa forma, a população tem sido mais cuidadosa com relação ao tratamento adequado do lixo, evitando diversos malefícios à população e diminuindo assim os impactos ambientais [1].

O tratamento adequado do lixo proporciona que seja feito a reciclagem de diversos tipos de matérias, a saber: plástico, papel, metal, vidro, madeira, bateria, couro, borracha dentre outros.

Nessa área, um desses tipos tem tido uma grande relevância que é a reciclagem de latinhas. Essas latinhas são descartadas em grandes quantidades e, geralmente, são de alumínio ou de aço.

Para a reciclagem, um dos passos é realizar a prensagem das mesmas, que dentre os motivos tem-se a diminuição do volume de material economizando os custos de armazenagem e de logística. Este processo de prensagem pode ser feito tanto por prensas de grande porte quanto manualmente.

Este trabalho visa facilitar o processo para quem realiza a prensagem de forma manual. Sendo assim, é proposto um sistema automatizado para compactação e seleção de latinhas de alumínio e aço [2].

II. Reciclagem

A. Reciclagens do Alumínio

O alumínio é um metal altamente reciclável, chegando a ser reaproveitado em até 100% dos casos, e ao contrário de outros materiais recicláveis ele pode ser reutilizado para o mesmo fim. Estima-se que o alumínio pode levar de 100 a 500 anos para sofrer total degradação na natureza enquanto que seu ciclo de reciclagem dura apenas 30 dias [3]. Assim, acaba eliminando a necessidade de emissão de CO2 pela produção, sendo que no processo de reciclagem a emissão de CO2 cai

para 5%. Essa reciclagem traz, portanto, muitos benefícios ao meio ambiente, e também melhorias na área social, econômica e política [4].

O processo de reciclagem do alumínio é dividido em dez etapas como demonstrado na Figura 1.

Os trabalhos serão impressos em papel tamanho carta (letter), exatamente como você os submeter. Desta forma, a organização e o esmero são de extrema importância. Por favor, faça uma revisão cuidadosa dos erros gramaticais e de digitação antes da submissão. Não há limite de páginas, e contamos com o bom senso dos autores neste caso.

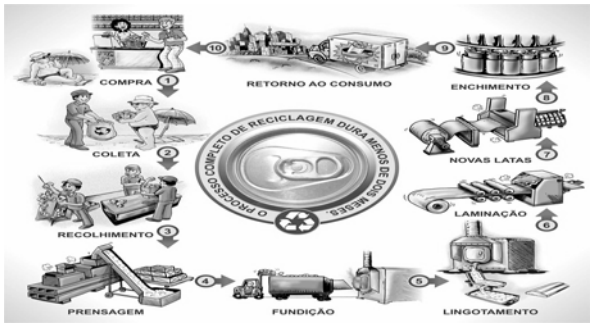


Figura 1. Ciclos de Reciclagem [3].

Para a reciclagem das latinhas considera-se que o ciclo tem início com a compra e consumo do conteúdo dentro das latinhas. Depois disso, é necessário um trabalho para a coleta destas que são então prensadas. Após a prensagem inicia-se o processo mais industrial, pela fundição das latas e lingotamento, de onde estão preparadas a serem levadas para o seu processo destinado à fabricação. Se o mesmo for de latas, e feito então à laminação, estado este em que se criam as chapas que serão transformadas em novas latas.

Por último, as latas são preenchidas com um conteúdo e retornado aos consumidores, iniciando um novo ciclo [2].

B. Reciclagens do Aço

O processo de reciclagem das latas de aço começou nos EUA na década de 70 com o princípio dos processos de reciclagem e sustentabilidade [5]. O aço, assim como o alumínio, também é altamente reciclável, tendo sua degradação na natureza em um período de três anos sem necessidade de intervenção do homem [6].

Para seu processo de reciclagem é preciso que o material esteja livre de contaminantes como terra, lixo e outros metais como o alumínio. Sua reciclagem é essencial para a diminuição do acumulo de sucata no meio ambiente. Assim, as usinas siderúrgicas acabam reutilizando o aço das sucatas para produzir novos produtos e se tornando uma grande fonte de reciclagem de aço no mundo [7].

III. Automação da Prensa Eletropneumática

A. O Projeto

Sendo então a reciclagem de latas de aço e alumínio importantes do ponto de vista ambiental será descrito uma proposta de uma máquina de reciclagem de latas a qual será de suma importância, não só como responsabilidade social e sustentabilidade ambiental, mas também sendo ferramenta de trabalho para as cooperativas de reciclagem. Uma vez que o processo permite automaticamente a separação de latas amassadas em aço e alumínio.

B. Estrutura do Protótipo

A estrutura mecânica da maquete é feita com chapa de 3/16 x 600 x 600 mm aço 1020, a base do cilindro compactador em barra chata de ¼ x 2”x 300 mm aço 1020, os pés com tubo *schedule* 40 Ø 1” x 1200 mm de altura em aço 1020, a lateral em chapa moeda de 3/16 com furo de 5/8 aço 1020, como fechamento superior foi usado uma chapa em aço 1020 com dimensões de 600 mm². Conforme apresentado nas Figuras 2 e 3, onde é mostrado o desenho da maquete fechada e a vista explodida com seus componentes.

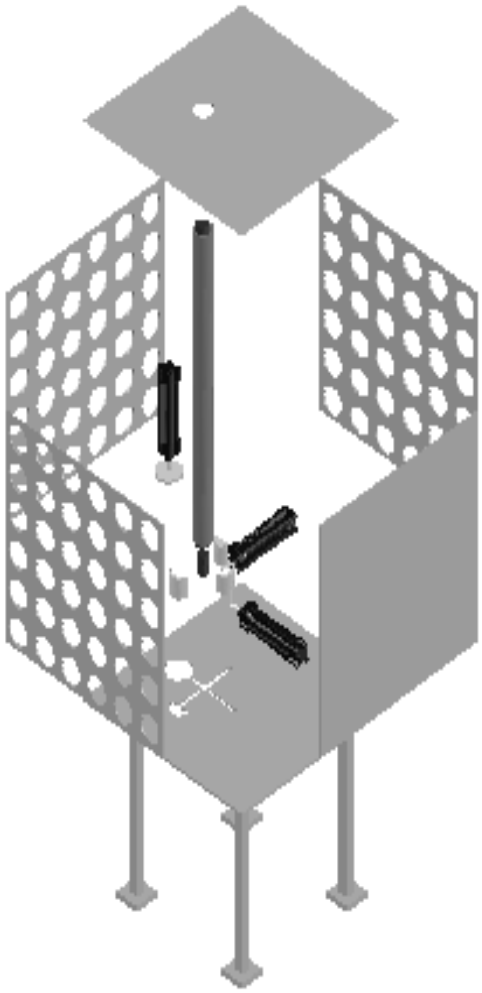


Figura 2. Proposta da Maquete

Figura 3. Vista Explodida da Maquete

C. Funcionamento

O sistema tem seu funcionamento inicialmente com a alimentação de latas na rampa de alimentação e sob a supervisão do sensor indutivo, para que a máquina trabalhe somente quando existir lata para processamento.

Na existência de lata, cilindro de alimentação é responsável por conduzir a lata até o eixo do cilindro compactador, em seguida a válvula de escape rápido acelera o retorno para sua posição inicial, sendo alimentado imediatamente por outra lata da rampa. Neste momento, o cilindro compactador avança para amassar a lata e retorna também com velocidade para sua posição inicial. Junto do sensor se as latas forem de alumínio, estas cairão em um recipiente destinado ao alumínio.

Quando o sistema amassar uma lata de aço o sensor artesanal manda o sinal para o CLP e este aciona o terceiro cilindro responsável pela separação dos tipos de matérias, conduzindo a lata de aço amassada até o recipiente destinado as mesmas.

O sistema permanece em repouso na ausência de latas na rampa de alimentação, sendo reiniciado automaticamente quando for alimentado, conforme descreve a Figura 4.

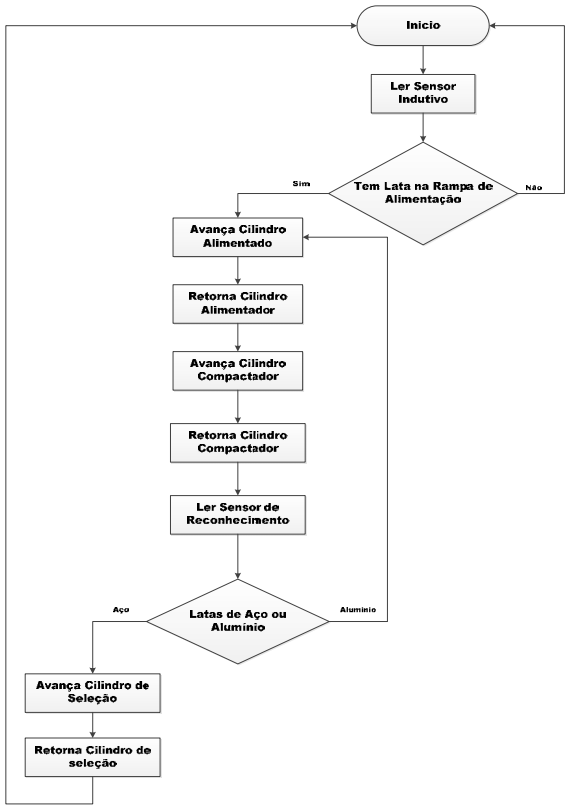


Figura 4. Fluxograma.

D. Funcionamento

Acionamentos

O cilindro pneumático é de dupla ação e duplo amortecimento, pois os movimentos de avanço e retorno devem ser amortecidos para que as latas permaneçam na mesma posição da saída da rampa de alimentação, sendo o êmbolo magnético para que os sensores possam reconhecer as posições da haste e enviem sinal para o comando.

Além disso, utilizou-se a válvula de escape que tem como finalidade a aceleração dos movimentos dos cilindros, pois o ar de escape não passa pelo orifício da válvula direcional, sendo imediatamente impulsionado para atmosfera através de seu escape rápido.

Sensores

No projeto são usados três sensores, a saber:

- Sensor indutivo: Montado na rampa de alimentação tem a finalidade de parar a máquina na ausência de latas.

- Sensor magnético de proximidade: Conectado diretamente nas ranhuras das camisas dos cilindros, tem como objetivo controlar as posições iniciais e finais das hastes dos cilindros de êmbolos magnéticos.

- Sensor de reconhecimento: para diferenciar latas de alumínio e aço, tem sua base feita em chapa de acrílico de 50 x 15 mm, onde foi montado um contato fixo. O contato móvel é feito com uma lamina de plástico de garrafa pet de 40 x 15 mm com uma inclinação na ponta de aproximadamente 45º e uma peça de metal montada na ponta. Duas pastilhas de imã montadas próximo à inclinação faz o contato fechar e abrir com a aproximação do aço, ou seja, quando a lata for de aço

este mandará sinal para o CLP acionar o cilindro de seleção, caso a lata não seja aço, o cilindro não irá atuar, e a lata irá cair no recipiente próprio de alumínio.

Nas Figuras 5 e 6 são mostrados detalhes das peças do sensor.

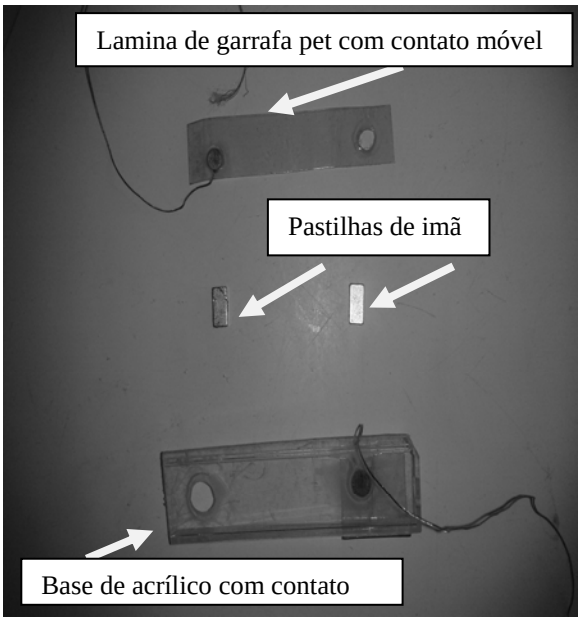


Figura 5. Detalhes do Sensor de Reconhecimento

Figura 6. Sensor Artesanal

IV. FASES DA MONTAGEM DO PROTÓTIPO

No inicio da montagem do protótipo, a ideia inicial foi instalar os cilindros sobre a chapa da base principal como é mostrado na figura 7.

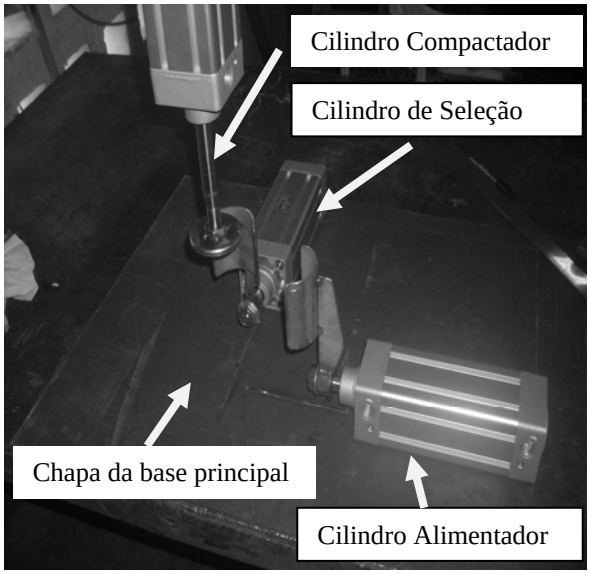


Figura 7. Montagem do Protótipo

Em outro momento, foi analisado o fator segurança para o operador, onde se verificou que os cilindros montados sobre a mesa ficavam com suas hastes e mecanismos expostos, trazendo riscos para o manuseio da máquina. Então, a solução encontrada foi instalar os cilindros sob a mesa principal, deixando exposta somente a cocha para transportar as latas, como é apresentado nas Figuras 8 e 9.

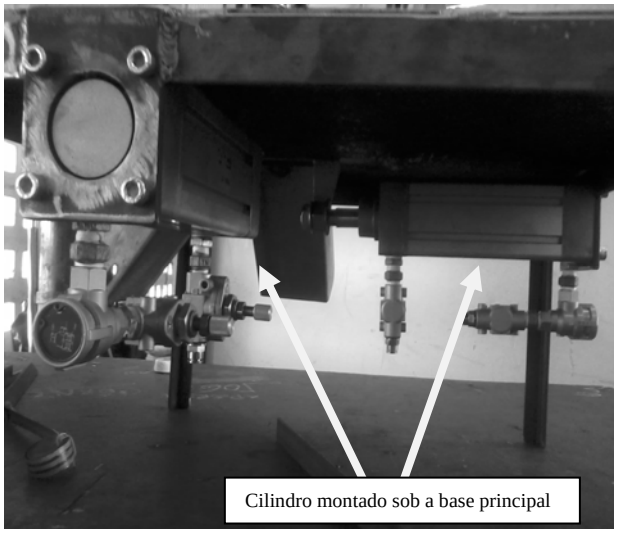


Figura 8. Cilindro Montado Sob a Mesa

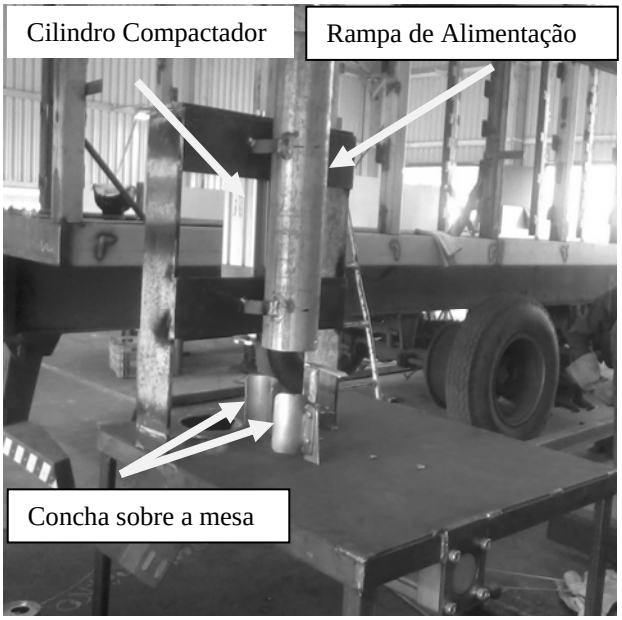


Figura 9. Apresentação da Concha

Na Figura 8, também é mostrado como projeto tende a ficar, onde é verificada a montagem das conchas de alimentação e de seleção, o cilindro compactador em sua base, a rampa de alimentação, assim como a base da prensa onde estão instalados sob ela os cilindros citados acima.

Por fim, é apresentado na Figura 10 o protótipo da prensa, montada com o seu painel de comando, onde é visto seus componentes, como eletroválvulas, CLP, fonte de alimentação e botão liga/desliga.

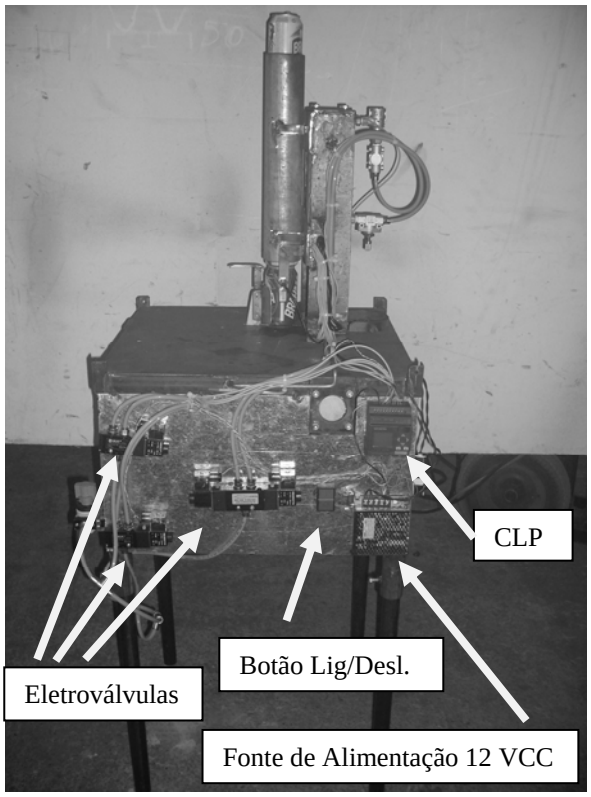


Figura 10. Montagem final do Protótipo

V. Esquemas de Funcionamento

Neste tópico, serão apresentados os esquemas de funcionamentos utilizados no projeto para o protótipo.

A. Esquema Pneumático

A figura 11 apresenta o circuito pneumático da prensa.

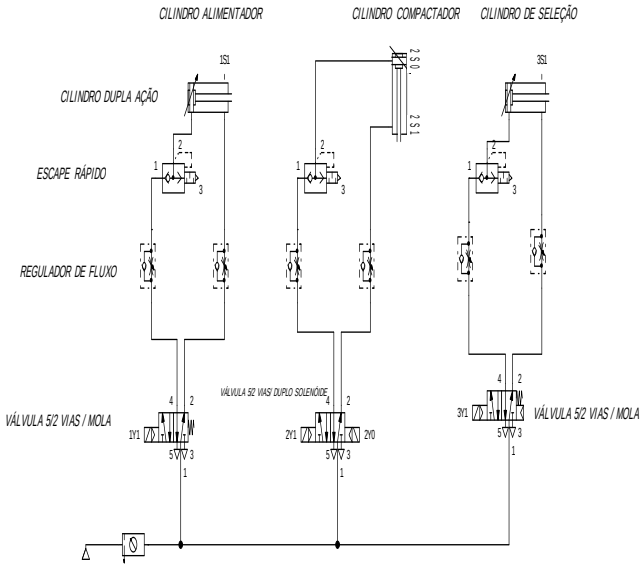


Figura 11. Circuito Pneumático.

O Funcionamento do esquema pneumático é fundamental para o controle das posições das hastes dos cilindros, onde a bobina 1Y0 do alimentador, as 2Y0 e 2Y1 do compactador e a 3Y0 sistema de seleção, são comandadas através de sinal que o sensor de proximidade instaladas nas ranhuras das camisas dos cilindros, e ilustradas no esquema por réguas de posições onde são identificados como 1S1, 2S0, 2S1 e 3S1 enviam para o PLC, energizar ou desenergizar as bobinas para avanço e retorno dos cilindros, conforme a necessidade do processo.

Quando 1Y1 for energizada o cilindro de alimentação avança até o final do curso, neste momento é acionado o sensor 1S1 que desenergiza a bobina, fazendo o cilindro retornar, pois a válvula tem seu retorno por mola e energiza a bobina 1Y1 fazendo o cilindro compactador avançar.

O Cilindro de seleção avança quando o sensor de reconhecimento enviar o sinal para energizar a bobina 3Y1 e a desenergização e feita pelo sensor 3S1, fazendo o cilindro retornar.

As válvulas de controle de fluxo unidirecional são montadas com passagem livre para as entradas dos atuadores, o controle de velocidade é realizado em cima do ar de retorno, através do ajuste na manopla de restrição das válvulas.

O escape rádio é montado diretamente no cilindro para acelerar os movimentos de retorno. A retenção interna é pilotada, impulsionando todo ar para atmosfera.

B. Esquema Elétrico

O esquema elétrico é uma solução de controle para o protótipo, sendo apresentada na Figura 12.

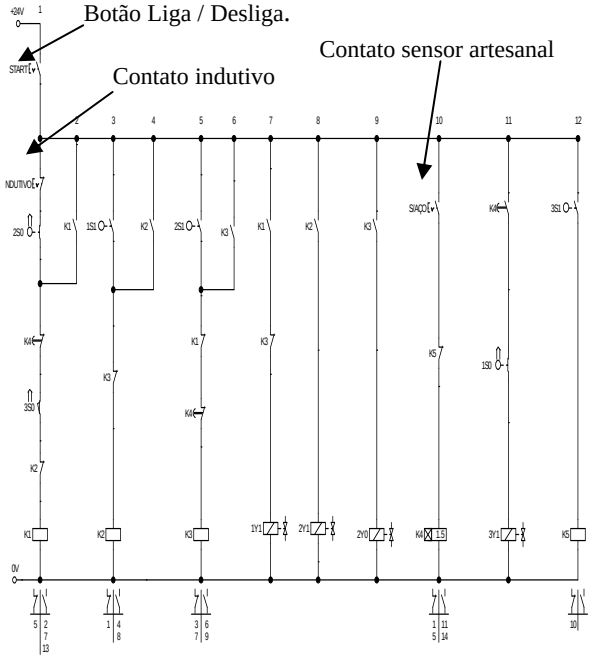


Figura 12. Sistema Elétrico

Na Figura 12, é mostrado na linha 1 o botão liga / desliga, em seguida o contato de intertravamento do sensor indutivo com o sistema, ou seja, na ausência de lata a prensa para, sendo iniciada automaticamente quando for alimentada.

A linha 9 apresenta o contato do sensor artesanal responsável pela seleção de material, quando a lata for de aço o contato fecha e intertrava os comandos dos cilindros alimentadores e compactadores e energiza o relé temporizado, acionando o sistema de seleção.

C. Programa em Ladder

Vários programas em ladder podem ser desenvolvidos para aplicações em prensas, na Figura 13 é apresentado o programa usado no protótipo.

O circuito funciona baseado na Figura 13, que mostra o inicio do processo onde o sensor indutivo monitora a rampa de alimentação e o sensor de reconhecimento é responsável pela seleção do material processado.

Figura 13. Circuito Ladder

VI. RESULTADOS

Foram realizados vários testes na maquete para ajustes mecânicos, sendo que em um deles, houve a necessidade de reposicionar o sensor de seleção que estava sob o cilindro compactador e foi montado na descida da lata na rampa de alimentação.

Vale ressaltar que em um dos testes o sensor obteve ótimos índices de acerto. Para uma sequencia de 10 latas na rampa de alimentação, sendo 5 latas de alumínio e 5 latas em aço, distribuídas aleatoriamente, o sensor descartou 5 latas de aço para o lado correto.

VII. CONCLUSÕES

O sistema de automação da prensa funciona normal dentro do esperado pela equipe, fazendo a seleção automática das latas prensadas de alumínio e aço, proporcionando assim uma ferramenta de trabalho não só para os pequenos catadores que recolhem pequenas quantidades por dia, revertendo latinhas em dinheiro, também para as grandes empresas que lucram com o processo de reciclagem.

É um equipamento de fácil e rápida instalação, com um sistema de prensagem seguro, que não precisa de esforço de quem estiver operando, oferecendo toda comodidade ao operador.

Por fim, este sistema é de suma importância, não só pela responsabilidade social e sustentabilidade ambiental, como também sendo ferramenta para quem depende do processo de reciclagem.

REFERÊNCIAS

[1] F. F. Figueiredo, Doutorado em Geografia, (2009, 12, 1), “A Contribuição da reciclagem de latas de alumínio para o meio ambiente Brasileiro”, Disponível em: http://revistes.ub.edu/index.php/aracne/article/view/1164/1140.

[2] ABAL, Associação Brasileira de Alumínio, Reciclagem. Disponíveis em: http://www.abal.org.br/reciclagem/introducao.asp.

[3] J. E. Nalini, Dissertação de Mestrado, “Mercado de Reciclagem do Lixo no Brasil: Entraves ao Desenvolvimento", Universidade Católica de São Paulo, 2008.

[4] A. L. S. da Silva, Reciclagem do Alumínio, [Online] Disponível em: http://www.infoescola.com/ecologia/reciclagem-do-aluminio-economia-ou-consciencia-ambiental/.

[5] Instituto Aço Brasil, Sustentabilidade Reciclagem, [Online] Disponível em: http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/sustentabilidade/reciclagem.asp.

[6] Ambiente Brasil, Reciclagem de Aço, [Online] Disponíveis em: http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/reciclagem_de_aco.html.

[7] Made in Forest, Central da Reciclagem, [Online] Disponíveis em: http://www.madeinforest.com/?reciclagem/pagina/topico/876/pagina/72.

Estudo para Proposição do Sistema Elétrico de Distribuição em Corrente Contínua

Raphael Valle Santos

Universidade do Estado do Amazonas – UEA
Núcleo de Sistemas Embarcados – NSE
raphael.uea@gmail.com

Saulo Monteiro

Universidade do Estado do Amazonas – UEA
Núcleo de Sistemas Embarcados – NSE
slm.saulo@gmail.com

Raimundo Cláudio Souza Gomes

Universidade do Estado do Amazonas – UEA
Núcleo de Sistemas Embarcados – NSE
rclaudio.gomes@gmail.com

***Resumo*—O atual sistema de distribuição de energia elétrica em corrente alternada (AC), cujos pilares foram lançados por Nikola Tesla nas últimas décadas do século XIX, está na iminência de grandes modificações, tendo em vista a mudança de perfis de carga, ou seja, uso intenso de equipamentos eletrônicos que operam naturalmente que corrente contínua (DC), e a automatização no processo de distribuição de energia. Este trabalho analisa a viabilidade técnica da implantação de um sistema elétrico de distribuição em corrente contínua, haja vista no processo de transmissão em AC ocorrerem perdas de eficiência relacionadas à frequência e ao efeito joule, o que também ocorre em DC. Levanta-se a questão do aumento da eficiência energética, com os menores custos para o consumidor final.**

***Palavras chave*—corrente alternada, eletrônicos, eficiência, custos**

Abstract—The current distribution system of electricity into alternating current (AC), whose pillars were cast by Nikola Tesla in the last decades of the nineteenth century, is on the verge of major changes, with a view to changing load profiles, ie , intensive electronics that operate naturally that current (DC), and automating the process of energy distribution. This study examines the technical feasibility of implementing an electric distribution system in DC, given the transmission process occurring in AC efficiency losses related to the frequency and joule effect, which also occurs in DC. Raises the issue of increasing energy efficiency at the lowest cost to the consumer.

Keywords— alternating current, electronics, efficiency, cost.

I. Introdução

A tecnologia eletrônica vem crescendo constantemente. Ela é presença constante no setor produtivo e em todos os ramos de atividades da vida moderna. Cada vez mais dependemos de televisores, computadores e uma infinidade de aparelhos eletrônicos. Todos esses aparelhos alimentam-se naturalmente de energia elétrica na forma de corrente contínua; contudo, o padrão mundial de fornecimento de energia elétrica é em corrente alternada, desde sua geração até o momento do consumo, ou seja, é um sinal senoidal com uma tensão variante no tempo. Assim para funcionarem, os dispositivos elétricos necessitam de uma unidade de conversão AC/DC, unicamente para alimentar os seus circuitos internos; entretanto essa unidade é fonte de ruídos, perda e degradação da qualidade de energia. [2]

Existe ainda uma segunda problemática que diz respeito ao uso racional e eficiente dos recursos naturais, como fontes limpas e renováveis de energia, a também conhecida *energia verde*[6]. Há uma grande preocupação no uso desses recursos para estabelecer um sistema elétrico baseado na sustentabilidade e harmonia com o meio ambiente. No quadro atual já existem geradores de energia a partir de fontes renováveis, como a biomassa e células fotovoltaicas, onde a saída dessas células é em corrente contínua. Conta-se também com a possibilidade de armazenar a energia proveniente dessas células em baterias. Para utilizar essa energia em cargas que trabalhem com corrente alternada, seria usado um inversor, visando a conversão CC em CA, e dessa forma alimentar as cargas. [1] Porém há uma incoerência na transmissão e uso da energia proveniente dos recursos naturais, uma vez que a produção dessa energia é na forma DC. Assim para a inserção na rede é necessária a conversão para o padrão AC para posterior transmissão, onde no final deste processo a energia será reconvertida para DC. Observa-se dessa forma uma perda de eficiência. [2]

Do ponto de vista histórico, fontes de energia renováveis eram usadas para fornecer energia até o início do século

R. V. Santos (raphael.uea@gmail.com) e S. Monteiro (slm.saulo@gmail.com) são graduandos de Engenharia Elétrica na Universidade do Estado do Amazonas – UEA e pertencem ao Núcleo de Sistemas Embarcados – NSE/UEA Av. Darcy Vargas, S/N - Manaus - AM - Brasil - 69065-020.

R. C. S. Gomes (rclaudio.gomes@gmail.com) é MSc em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/UFPB, professor efetivo do quadro da Universidade do Estado do Amazonas – UEA e pertence ao Núcleo de Sistemas Embarcados – NSE/UEA Av. Darcy Vargas, S/N - Manaus - AM - Brasil - 69065-020.

XVIII, fontes de energia hídrica, eólica e biomassa, por exemplo, mas quando a sociedade entrou no processo de industrialização houve a necessidade de uma fonte de energia que atendesse a grande demanda daquela época, logo se passou a queimar combustíveis fósseis para produzir vapor para as máquinas e para fundir ferro. Esse cenário tomou conta do sistema elétrico mundial desde então, tornando a matriz energética baseada em recursos naturais como carvão mineral, petróleo e gás natural. Porém com o avanço tecnológico e com o progresso que foi atingido por meio do desenvolvimento da ciência, propostas de um sistema elétrico sustentável foram sendo criadas com o objetivo de minimizar os impactos ao meio ambiente e melhorar a eficiência e qualidade da energia gerada.[1]

Hoje temos conceitos como a microgeração e geração distribuída, que além de possibilitar uma nova geração onde consumidores são ao mesmo tempo produtores de energia, também permite a inserção de novas tecnologias de informação e comunicação, as *smartgrids*, uma nova concepção de gestão de energia ligada ao conceito de descentralização. Já existem diversos sistemas como este em funcionamento ao redor do mundo, que fornecem eletricidade diretamente para estabelecimentos comerciais e abastecem a rede local. Também é possível usar células fotovoltaicas para atender demandas de energia elétrica na própria residência, todos esses novos artifícios têm enfraquecido cada vez mais a matriz energética predominante, uma vez que com os novos processos a eficiência da energia é maior e não existem os problemas como a poluição sonora e do ar, que uma usina geraria se fosse implantada próxima a uma casa; células fotovoltaicas, por exemplo, não apresentam tais inconvenientes. [1]

Porque então não criar uma rede que forneça energia elétrica com corrente contínua, uma vez que as cargas operam naturalmente em corrente contínua? Uma rede cuja energia será gerada com unidades de microgeração a partir de recursos naturais, apoiando a sustentabilidade do meio ambiente, uma vez que o potencial oferecido por estes recursos é imenso. Seria este um sistema de geração distribuída complementar ao atual, criando um sistema híbrido com gestão inteligente visando atender as cargas que operam naturalmente em DC e reduzindo o número de conversões elétricas, poupando energia. Segundo Roger, a energia não é um fim em si mesma, mas é valorizada pelo que pode ser feito com ela, deve-se ter em mente que a energia é apenas um meio para o fim, as condições e os valores humanos podem ser afetados tanto pela disponibilidade de energia, em pouco tempo, quanto pela sua escassez, tarde demais. Não se espera criar uma revolução no sistema elétrico e sim que a a matriz energética continue a se diversificar cada vez mais incorporando outras fontes para melhorar o rendimento e a qualidade da eficiência energética utilizada. [1]

II. Breve Histórico do Sistema Elétrico

No final do século XIX, o mundo vivenciou um embate histórico entre Titans da tecnologia: Edison x Tesla; AC x DC. O sistema elétrico, que desde então, fez parte do cotidiano moderno, propiciando desde então os mais variados avanços tecnológicos, teve seu início desse episódio. Dessa forma, podemos dizer que antes de todos os duelos tecnológicos existentes na atualidade, como *Blu-ray versus HD DVD*, um em particular marcou a sociedade, e até mesmo remodelou a conceito de sociedade moderna, haja vista a eletricidade ter proporcionado saltos gigantescos nos processos de produção, este duelo ficou conhecido como Guerra das Correntes. [10]

O advento da industrialização e a manufatura de grandes quantidades de produtos em meados do século XIX levou a busca de formas de produção mais eficientes e rápidas, pois até então a energia utilizada no trabalho era proveniente de máquinas a vapor, roda d'água e tração animal. Em 1887 Nikola Tesla apresentou um pequeno protótipo de motor de indução bifásico operante em corrente alternada, este equipamento proporcionou grandes avanços no que diz respeito à eficientização do processo produtivo. Essa modernização da indústria passou a exigir um sistema de distribuição de energia flexível e de grande porte, que pudesse atender rapidamente cargas industriais e residenciais. [10]

Dessa forma, o padrão AC (Alternating Current) mostrou-se superior ao padrão DC (Direct Current), pois permitia a geração centralizada da energia, transmissão e distribuição de grandes quantidades de eletricidade a um menor custo, menores perdas e com maior simplicidade de operação, do ponto de vista da instalação e manutenção, do que a tecnologia concorrente, que tinha como principal barreira as limitações físicas oriundas pelo efeito joule, além da inexistência da tecnologia necessária para a transmissão em DC por longas distâncias. [17]

A simplicidade que o uso de transformadores deu aos processos, tanto de elevação da tensão na transmissão (reduzindo a corrente na mesma proporção), minimizando as perdas por efeito Joule, quanto da redução desta tensão (aumentando a corrente na mesma proporção) na distribuição, a fim de atender diferentes perfis de clientes nos centros de consumo, foi um dos fatores determinantes na escolha do padrão AC, pois o padrão DC até então não possuía tal flexibilidade no atendimento às cargas [7]. Contudo, um sistema de distribuição em AC possui uma característica bem pelicular, a aparente fragilidade do equilíbrio dinâmico entre geração e demanda, ou seja, como a energia elétrica não pode ser armazenada em grandes quantidades, toda a energia produzida deve ser utilizada pelo consumidor final. Portanto, projeções errôneas podem carrear problemas como racionamentos e blackouts [13].

Na segunda metade do século XX, a eletrônica iniciou seu avanço na disponibilização de uma grande diversidade de equipamentos, que passaram a permear as mais diversas áreas de atividade da sociedade moderna. Circuitos eletrônicos operam naturalmente em DC, enquanto a rede que os alimenta, o faz no padrão AC, exigindo, por isso, uma unidade de conversão de AC para DC. Em 2001, aproximadamente 50% da energia elétrica consumida no Brasil passava por algum dispositivo com eletrônica de potência antes que ela fosse finalmente utilizada. [13]

No século XXI, um novo contexto social tem sido imposto ao sistema elétrico em todo o mundo, onde temas relativos à eficiência, estabilidade, custo, qualidade e sustentabilidade ambiental tem ganhado grande relevância. Por sua vez, pesquisas apontam para a crescente viabilidade da obtenção de energia elétrica a partir de fontes renováveis, tais como a

energia proveniente de células fotovoltaicas, biomassa, força do vento, células a combustíveis, as quais tem se apresentado como alternativas para geração de energia muito próxima ou, mesmo, dentro dos centros de consumo, o que as tornam eficientes e seguras, haja vista a independência na energia proveniente da Concessionária energética, sanando problemas como o alto nível de exigência da rede de distribuição e a relação *geração x demanda*, uma vez que o excedente de produção pode ser inserido na rede. [17]

Neste cenário, ressurgem alguns dos velhos paradigmas de Edison, agora com uma roupagem inteiramente moderna, que no geral pouco lembra suas verdadeiras raízes. Eles são hoje denominados de Micro-Redes, Micro-Geração (Geração Local) e Geração Distribuída que, se integrados ao padrão AC existente, evitarão elevados investimentos na transmissão com o alívio na demanda de energia da rede convencional e permitindo uma melhor qualidade no sistema elétrico. Segundo Ayres, 2012, a revolução microenergética não irá substituir a rede elétrica, mas melhorará consideravelmente sua eficiência.

III. Sistema Elétrico Padrão – Geração, Transmissão e Distribuição

O processo de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica envolve a etapa onde as usinas transformam energia mecânica em elétrica a um nível de até 30 kV, essa potência gerada é elevada ao chegar no processo de transmissão, isso ocorre para que o nível de corrente diminua e ocasione uma menor perda ôhmica durante a transmissão. Essa elevação no nível da energia é feita em corrente alternada devido a facilidade proporcionada pelo uso de transformadores, o que possivelmente é o maior atrativo deste sistema, porém linhas de transmissão em corrente contínua (CC) apresentam perdas ôhmicas menores quando comparadas com as linhas de transmissão em corrente alternada de mesma capacidade de transmissão, mesmo os sistemas em CC requerendo equipamentos terminais cujos custos e perdas de potência devem ser consideradas na análise econômica.

Considera-se então economicamente viável a transmissão em corrente contínua quando a distância envolvida é longa e a quantidade de energia elétrica a ser transmitida é de montante elevado, cabendo destacar que não se pode perder de vista os aspectos técnicos associados à operação da interconexão e os seus rebatimentos no sistema ao qual vai se conectar.

Outro fator importante é o fluxo de potência transmitida que é dado pela razão entre a abertura angular e a reatância da linha de transmissão, assim sendo, a potência máxima diminui à medida que a reatância aumenta, como esta cresce com a distância isso resulta numa variação na capacidade de transmissão em função da distância. Para compensar esse efeito, utilizam-se tensões mais elevadas na transmissão. Uma vez que para distâncias curtas linhas de 345kV tem um custo menor, para distâncias maiores a transmissão no nível de tensão maior como 750kv passa a ser mais vantajoso.

Uma linha de transmissão é composta por vários indutores em série e capacitores em paralelo. Aplicando corrente alternada a esta linha, a impedância em série dada pela soma da resistência com a reatância indutiva será grande para uma tensão elevada, pois a reatância aumenta linearmente conforme a frequência aumenta e será consideravelmente maior que a resistência. Para níveis mais baixos de tensão, o valor relativo da resistência aumenta. Com corrente contínua a reatância seria nula e só haveria dissipação de potência ativa.

Os capacitores em paralelo nesta rede formam uma admitância; como os condutores são bastante afastados, esse valor é relativamente pequeno, porém a corrente alternada atravessa o capacitor, logo, parte da corrente flui via capacitância, o que é um problema para a transmissão da energia elétrica, pois significa uma limitação nas distâncias que podem ser utilizadas para a transmissão de energia. Com o uso de corrente contínua isso não ocorreria, o capacitor entraria em curto e a corrente iria fluir apenas pela resistência, tornando mais rápido o seu fluxo e possibilitando um maior alcance durante a transmissão. [11]

Outra desvantagem do sistema em corrente alternada é o efeito da proximidade que ocorre devido um aspecto físico provocado pelo campo magnético dos condutores da linha de transmissão, essa interação distorce a distribuição de corrente através da linha e faz com que o material condutor tenha uma resistência maior afetando a capacidade de distribuição da energia.

Um terceiro efeito físico que também provoca o aumento da resistência aparente do condutor elétrico é o efeito skin caracterizado pela repulsão entre linhas de corrente eletromagnética, isso ocorre à medida que a frequência da corrente que percorre o condutor aumenta, logo o campo magnético junto ao centro do condutor também aumenta conduzindo ao aumento da reatância local, fazendo assim com que a corrente tenda preferencialmente a fluir pela superfície do condutor, diminuindo a sua área efetiva, ou seja, a área pela qual a corrente elétrica com uma determinada frequência se distribui.

IV. Sistema Elétrico de Distribuição em DC

A. Contextualização

As ameaças de aquecimento global, as alterações climáticas e a frequência de ocorrências catastróficas originadas em fenômenos da natureza têm sido um dos pontos marcantes das primeiras décadas do século XXI e, por isso, a grande preocupação com tema meio ambiente e sustentabilidade tem caracterizado a sociedade no início deste novo milênio.

Um dos principais reflexos desta realidade manifesta-se na intensa busca, de nossa sociedade, pelo uso racional e eficiente de recursos naturais e da busca por fontes limpas e renováveis de energia, tais como aquelas provenientes de células fotovoltaicas, biomassa, eólicas, células a combustíveis visando estabelecer um Sistema Elétrico Mundial baseado na sustentabilidade e harmonia com o meio ambiente.

Complementando este cenário, temos o estabelecimento da tecnologia eletrônica de uma forma crescente e irreversível, como elemento de presença ubíqua permeando e moldando todos os setores do cotidiano da vida moderna. Porém, esta eletrônica, baseada nos dispositivos de estado sólido (semicondutores), alimenta-se de energia elétrica na forma de corrente contínua (Direct Current – DC), enquanto o padrão mundial de fornecimento de energia é alternado (Alternating Current – AC). Isto exige que equipamentos e dispositivos eletrônicos tenham incorporado em seus sistemas uma unidade

de conversão de AC para DC, única e exclusivamente, para alimentação de seus circuitos internos; unidade esta, em geral, produtora de ruídos (componentes harmônicas) que são fatores de perdas e degradação da qualidade da energia na rede de distribuição. Chama-nos a atenção, ainda, que a energia proveniente de células fotovoltaicas e a combustíveis (dispositivos que utilizam qualquer tipo de combustível, seja ele biocombustível ou fóssil, com a vantagem de emitirem água ao invés do dióxido de carbono), bem como aquela oriunda de acumuladores (cuja viabilidade de uso vem sendo estudada com crescente interesse em nossos dias) é na forma DC; portanto, para integrar estas unidades ao Sistema Elétrico Convencional (SEC), faz-se necessária a realização de um processo de conversão de energia AC para DC, o qual é realizado por um equipamento denominado Inversor. Ora, os Inversores têm um custo e o processo de conversão tem perdas e exigem alguns cuidados técnicos no seu acoplamento ao SEC (ex.: sincronismo de fase e frequência).

O advento da Smart Grid (Sistema Elétrico Inteligente SEI), no início do século XXI, trouxe para o SEC conceitos, tais como Geração Distribuída, Micro-Redes, Medição Inteligente [5], Prossumidor (Cliente que, além de consumir, é capaz de fornecer energia para o sistema) que, à luz do cenário descrito nos parágrafos anteriores, leva-nos a reflexão sobre a manutenção do modelo AC do SEC como padrão exclusivo e absoluto na geração e distribuição de energia.

V. Comparativo de Perdas – AC x DC

A. *Efeito Skin e Efeito Proximidade*

O efeito skin e suas equações são alguns dos aspectos mais importantes de se observar em altas frequências. Para valores a cima de algumas dezenas de KHz nota-se que a resistência dos fios metálicos aumenta com a frequência, o que ocasiona a passagem da corrente elétrica por uma fina camada perto da superfície. [14] A concentração de corrente próxima à superfície do condutor chama-se efeito pelicular ou efeito Kelvin em homenagem a Lord Kelvin, por sua contribuição ao estudo deste efeito em condutores cilíndricos. [15]

Por se tratar de frequência, tal fenômeno não se aplica à corrente contínua, onde a mesma se distribui uniformemente pela secção reta do condutor. Em corrente alternada, entretanto, conforme a frequência da corrente aumenta, o campo magnético localizado no centro do condutor também aumenta, o que provoca um aumento na resistência do condutor. Este aumento na resistência leva a corrente a percorrer, preferencialmente, às margens do condutor, fazendo com que a área de condução diminua. Esta área utilizada é chamada de área aparente e depende da frequência de operação da corrente. [4]

As perdas na transmissão DC ou AC são ocasionadas principalmente pelo efeito Joule. O efeito joule é explicado pelo aquecimento dos condutores que, ao serem percorridos por uma corrente elétrica, estando os elétrons livres no condutor metálico, possuem grande mobilidade podendo deslocar-se e chocar-se com outros átomos da rede durante seus movimentos, sofrendo colisões constantes com os outros átomos. A cada colisão, parte da energia cinética do elétron livre é transferida para o átomo com o qual ele colidiu, e esse passa a vibrar com uma energia maior. Esse aumento no grau de vibração dos átomos do condutor tem como consequência um aumento de temperatura [8]. A fórmula característica do efeito joule é:

$$P = R \times I^2 \tag{1}$$

Onde P é a potência dissipada em forma de calor, R é a resistência do material e I é a corrente elétrica que percorre o mesmo.

Outro fator de aumento da resistência ôhmica se dá quando dois condutores são colocados próximos um do outro e percorridos por uma corrente alternada de alta frequência. Neste quadro a corrente tende a se concentrar nas regiões adjacentes dos dois condutores. A este evento dá-se o nome de efeito proximidade.

A resistência em corrente contínua à temperatura de operação por unidade de comprimento do cabo encordoado (stranded) pode ser calculado pela equação.

$$R_{DC} = \frac{\rho 20[1 + \alpha 20\,(T_{MAX} - 20)](1 + Z)}{A}\,\Omega m^{-1} \tag{2}$$

Onde:

$\rho 20$ é a resistividade do metal do condutor, a 20°C, em Ωm^{-1}

A é a área da seção transversal do condutor em m^2

$\alpha 20$ é o coeficiente de temperatura para a resistência em °C, na temperatura de 20°C. Para o alumínio $\alpha 20 = 0{,}00403\ °C^{-1}$

T_{MAX} é a temperatura máxima de operação do condutor em °C

Z é o fator que considera o encordoamento e o número de camadas. Para cabos unipolares com área de seção transversal $\leq 500\,mm^2$, $Z = 0{,}03$

A resistência em corrente alternada é igual a R_{DC}, modificada para levar em consideração os efeitos skin (Y_S) e proximidade (Y_P):

$$R_{AC} = R_{DC}\,(1 + Y_S + Y_P) \tag{3}$$

Na equação da resistência DC foram usados os seguintes parâmetros:

TABELA I
PARÂMETROS PARA O CÁLCULO DE R_{AC}

PARÂMETRO	VALOR
Temperatura máxima	75°C
A	$16 \times 10^{-6} m^2$
$\rho 20$	$26{,}5 \times 10^{-9}$
Z	0,03
$\alpha 20$	$0{,}00403\ °C^{-1}$
R_{DC}	$2{,}08 \times 10^{-3} \Omega m^{-1}$

Para o cálculo do efeito skin segue a fórmula empírica:

$$Y_S = \frac{{x_S}^4}{192 + 0{,}8{x_S}^4} \tag{4}$$

Onde:

$$x_S = \sqrt{\frac{2\mu_0\mu_r f \cdot k_S}{R_{DC}}} = \sqrt{8\pi 10^{-7}} \cdot \sqrt{\frac{f \cdot k_S}{R_{DC}}} \quad (5)$$

μ_r é a permeabilidade relativa

f é a frequência em Hz

R_{DC} é a resistência do condutor em Ω/m

k_S é o fator de correção = 1 para condutores sólidos ou encordoados

Para o cálculo do efeito proximidade, a seguinte fórmula é aplicada:

$$Y_P = \frac{{x_P}^4}{192 + 0{,}8{x_P}^4} \cdot \left(\frac{d_C}{S}\right)^2 [0{,}312\left(\frac{d_C}{S}\right)^2 + \frac{1{,}18}{\frac{{x_P}^4}{192 + 0{,}8{x_P}^4} + 0{,}27} \quad (6)$$

Onde:

$$x_P = \sqrt{\frac{2\mu_0\mu_r f \cdot k_P}{R_{DC}}} = \sqrt{8\pi 10^{-7}} \cdot \sqrt{\frac{f \cdot k_P}{R_{DC}}} \quad (7)$$

d_C é o diâmetro do condutor em metros

S é a distância dos condutores em metros

k_P é o fator de correção = 0,8 para condutores sólidos, encordoados e para *"hollow conductors"*. $k_P = 0{,}370$ para cabos segmentados com ou sem duto central de 4 segmentos

Analisando uma rede de distribuição de baixa tensão e levando-se em consideração aspectos próprios dos cabos condutores, têm-se os seguintes valores:

TABELA II
PARÂMETROS PARA O CÁLCULO DO EFEITO PROXIMIDADE

PARÂMETRO	VALOR
Frequência	60 Hz
K_P	0,8
d_C	$2{,}25 \times 10^{-3} m$
S	0,25 m
Y_P	$3{,}12 \times 10^{-9}$
R_{AC}	$2{,}08 \times 10^{-3} \Omega m^{-1}$

Com os valores do efeito skin e proximidade calculados, chega-se ao valor da resistência AC:

$$R_{AC} = 2{,}08 \times 10^{-3} \Omega m^{-1}$$

No estudo de caso feito, conclui-se que o efeito skin aplicado numa rede de distribuição de baixa tensão em corrente alternada, não interfere de maneira expressiva nas perdas da distribuição de energia devido à baixa frequência aplicada, no caso 60Hz. As equações utilizadas como embasamento teórico foram modeladas em função da frequência de operação, ou seja, em corrente contínua é possível observar que o efeito skin é nulo, pois a frequência é de 0 Hz.

Acerca do efeito proximidade em um sistema de distribuição utilizando corrente contínua em baixa tensão, observa-se a nulidade das perdas de eficiência por este efeito, pois equações utilizadas como embasamento teórico foram modeladas em função da frequência de operação. Portanto, observa-se que as perdas de eficiência ocasionadas pelo efeito proximidade, são inexistentes para o sistema de distribuição DC em baixa tensão.

B. Efeito Corona

Coronas são descargas parciais que ocorrem quando o campo elétrico superficial em um condutor energizado excede seu limiar de ruptura[16]. Com a ocorrência da descarga, uma certa quantidade de energia é liberada para o meio na forma de luz, som, partículas carregadas eletricamente e ondas eletromagnéticas na faixa de radiofrequência. O efeito corona tem diversas utilidades nos mais variados ramos da ciência e tecnologia, porém, no caso particular de linhas de transmissão de energia, este efeito torna-se extremamente indesejável, já que as perdas de energia acarretam prejuízo às concessionárias e suas emissões em rádio frequência causam interferências nos sistemas de telecomunicações próximos à rede.

Em linhas de transmissão provoca perda de potência, ruído audível, interferência eletromagnética, brilho púrpura, produção de ozônio, etc; assim, para minimizar estes efeitos negativos, o condutor, a condição da superfície, tamanho, distância para o solo e outros condutores tem de ser considerados no planejamento e construção de linhas de alta tensão. [2] Os íons produzidos no ar devido ao efeito corona estão em movimento. A energia necessária para mantê-los em movimento é obtida a partir do sistema de alimentação. Esta energia adicional requerida é dissipada na forma de calor e luz[18].

A expressão para a perda do efeito corona é dada pela equação de Peek:

$$P = 241 \times 10^{-5} \cdot \frac{f + 25}{\delta} \sqrt{\frac{r}{d}} \cdot (V_{ph} - V_d)^2 \, kW \,/\, km \,/\, ph \quad (8)$$

Onde:

f é a frequência de alimentação em Hz

V_{ph} é a tensão fase-neutro RMS em kV

V_d é a tensão de rompimento por fase RMS

δ é o fator de densidade do ar = 0,952

Quando as perdas por efeito corona são dominantes, a fórmula acima é útil, mas quando as perdas são baixas usa-se a fórmula de Peterson, dada:

$$P = \frac{0{,}000021 \cdot f \cdot V^2}{[\log_{10}\left(\frac{d}{r}\right)]^2} \cdot F \text{ kW/km/ph} \quad (9)$$

Onde:

V é a tensão linha-terra

d é o espaço entre os condutores

r é o raio do condutor

F é o fator de corona tabelado que varia com a relação $\frac{V_{ph}}{V_d}$

A diferença básica entre o feito corona AC e DC é a mudança periódica na direção do campo aplicado sob AC, e o seu efeito sobre a carga de espaço residual deixada pela descarga durante os semi-ciclos. De qualquer

maneira, o valor da tensão na linha sendo baixo, e a frequência sendo nula, acarreta uma perda não relevante.

VI. TOPOLOGIA PROPOSTA

O atual Sistema de Distribuição tem sua topologia constituída por linhas e trafos, que tem por função seriar a energia elétrica até o seu consumidor final. [9]

Segundo Kagan, o atual sistema de distribuição tem por definição características de um sistema segmentado, pois obedece a seguinte topologia:

I. Geração de Energia, dada de forma centralizada e geralmente distante dos centros de consumo;
II. Transmissão de energia, a tensão gerada pelas hidrelétricas, termelétricas e demais forma de geração tem seu potencial elétrico aumentado, a fim de se transmitir a energia ao centro de consumo com as menores perdas, a este potencial elevado dá-se o nome de tensão de transmissão, geralmente na ordem de 750kV;
III. Subestações de Distribuição, recebe a corrente elétrica proveniente da Transmissão, sua função é diminuir o potencial elétrico para linhas de distribuição, geralmente utiliza-se a tensão de 13,8kV;

Finalmente a última fronteira até o usuário são as linhas de distribuição, que são responsáveis de levar a energia elétrica até o consumidor final, é dividida em duas partes: rede primária e rede secundária.

A topologia proposta para o sistema elétrico em DC visa o acoplamento deste com a topologia já utilizada. Tal acoplamento se daria à rede de distribuição secundária.

Na rede de distribuição primária viajam pelo sistema um conjunto de três fios, que formam as fases, cada uma das linhas possui uma tensão nominal de 13,8kV. Como visto anteriormente, este nível de tensão visa à diminuição da magnitude da corrente elétrica e a consequente minimização de perdas por efeito joule.

Para que no final do percurso a energia possa chegar até o consumidor final é necessária a redução do nível de tensão, visando a segurança do consumidor.

A diminuição do nível de tensão é efetuada pelo transformador, aparelho constituído por dois enrolamentos, principal e secundário, que utiliza o fluxo magnético produzido por tais para induzir uma tensão de saída maior ou menor, dependendo da relação de espiras.

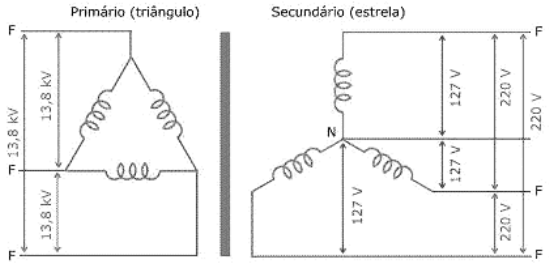


Fig. 1. Esquema de enrolamentos em um transformador.

Observa-se no secundário do transformador quatro fios de saída, são três fios de fase (tensão de 127V ou 220V) e um quarto fio chamado de neutro, sua função é equilibrar o sistema de distribuição.

Quando cargas não-lineares são alimentadas, mesmo quando a carga é bem equilibrada entre as fases, haverá uma corrente significativa no condutor neutro. Com correntes não senoidais, a soma das três correntes de linha, mesmo que tenham o mesmo valor RMS, pode ser diferente de zero. Por exemplo, correntes com o mesmo valor RMS e forma de onda quadrada resultarão numa corrente de neutro significativa.

Para implementação do Sistema Elétrico DC objetiva-se o compartilhamento do cabo neutro com sistemas DC e AC, sendo que no sistema de corrente contínua o cabo neutro funcionaria como polo positivo, adotando-se o sentido convencional dos elétrons.

A. Estudo de Caso

As residências atualmente estão repletas de eletrodomésticos, mesmo as mais modestas. Existem aparelhos de consumo alto, mas que são pouco usados durante o mês. Por outro lado, existem aparelhos de baixo consumo, mas que ficam ligados constantemente. Conforme o padrão de consumo cada casa tem um gasto. Para fins demonstrativos e um resultado mais preciso, foi feita a simulação do consumo DC de uma residência com alto consumo. Ver Tabela III.

TABELA III
POTÊNCIA ATIVA CONSUMIDA EM UMA RESIDÊNCIA DE ALTO CONSUMO

APARELHOS ELÉTRICOS	POTÊNCIA MÉDIA (W)	QUANTIDADE
Alisador de Cabelos	50	1
Aparelho de Som	80	1
Aparelho de Som Portátil	20	1
Aparelhos em Standy By	5	3
Aspirador de Pó	100	1
Barbeador/Depilador	10	1
Bomba Aquário Pequeno	5	1
Bomba d'água ½ CV	613	1
Cafeteira Elétrica	600	1
Circulador Ar Pequeno	90	1
Desktop (Sem Mopnitor)	50	1
Conversor TV Digital	20	1
Decodificador TV à Cabo	20	1
DVD Player	20	1
Espremedor de Frutas	65	1
Exaustor de Fogão	170	1
Forno Elétrico Pequeno	800	1
Forno Microondas	1200	1
Home Theater	80	1
Impressora Multifuncional	20	1
Monitor LCD 22"	60	1
Multiprocessador	420	1
Notebook	25	1
Rádio Elétrico Pequeno	10	1
Rádio Relógio	5	1
Roteador	12	1
Secretária Eletrônica	20	1
Telefone S/ Fio	1,5	1
Vídeo Game	15	1
TV LCD 42"	180	1
POTÊNCIA ATIVA TOTAL	4766,5 W	

A potência ativa da iluminação de todas as lâmpadas da residência é cerca de 644W. Não existem aparelhos com ligações fixas, logo a potência ativa dos aparelhos móveis será dada por.

$$\text{potência total} = \text{potência fixa} + \text{potência móvel}$$

$$\text{potência móvel} = \text{potência total} - \text{potência fixa}$$

$$\text{potência móvel} = 4766{,}5 - 0$$

$$\text{potência móvel} = 4766{,}5\ \text{W}$$

Somam-se os valores das potências ativas de iluminação e Pontos de Tomadas de Uso Geral (PTUG), onde são ligados os aparelhos móveis ou portáteis.

TABELA IV
POTÊNCIA ATIVA CONSUMIDA EM UMA RESIDÊNCIA DE ALTO CONSUMO

ITEM	POTÊNCIA (W)
Iluminação PTGU	644 4766,5
TOTAL	5410,5

Multiplica-se o valor calculado pelo fator de demanda a esta potência.

TABELA V
FATORES DE DEMANDA PARA ILUMINAÇÃO E PTGU'S

POTÊNCIA (W)	FATOR DE DEMANDA
0 a 1000	0,86
1001 a 2000	0,75
2001 a 3000	0,66
3001 a 4000	0,59
4001 a 5000	0,52
5001 a 6000	0,45
6001 a 7000	0,40
7001 a 8000	0,35
8001 a 9000	0,31
9001 a 10000	0,27
Acima de 10000	0,24

$$\text{potência ativa de iluminação e PTGU's} = 5410{,}5$$

$$\text{Fator de demanda (tabelado)} = 0{,}45$$

$$5410{,}5 \times 0{,}45 = 2434{,}725\ (\text{w})$$

O fator de demanda representa uma porcentagem de quanto das potências previstas serão utilizadas simultaneamente no momento de maior solicitação da instalação. Isto é feito para não superdimensionar os componentes dos circuitos de distribuição, tendo em vista que em uma residência nem todas as lâmpadas e pontos de tomadas são utilizados ao mesmo tempo.

Multiplica-se as potências dos Pontos de Tomada de Uso Específico (PTUE's), que são destinados à ligação de equipamentos fixos e estacionários, pelo fator de demanda correspondente

O fator de demanda para as PTUE's é obtido em função do número de circuitos de PTUE's previstos no projeto. Neste caso o número de ligações fixas (TPUE's) é 0.

Em seguida, soma-se os valores de potência ativa de iluminação, TPGU's e TPUE's já corrigidos pelos respectivos fatores de demandas.

Uma vez obtida a potência do circuito de distribuição, pode-se efetuar o cálculo da corrente.

$$i = \frac{P}{U} \tag{9}$$

Onde:

$P = 2563$ VA é a potência de iluminação e PTGU's dividido pelo fator de potência (0,95)

$U = 110$ V é a tensão da rede

Logo, a corrente necessária para suprir a demanda de uma casa com alto consumo é de aproximadamente 23,5A.

B. Capacidade de Condução do Cabo Neutro

Para que pudesse ser comprovada a viabilidade técnica do compartilhamento do cabo neutro, foram obtidos dados da Concessionária Eletrobrás Amazonas Energia. Dessa forma, foi possível averiguar os picos de consumos de bairros residenciais, e, finalmente, elaborar um perfil de consumo residencial.

Seguem gráficos *corrente x tempo*, com base em dados de sensoriamento do nível da corrente de neutro durante 24h, de dois bairros da cidade de Manaus; um bairro residencial e uma região comercial.

GRÁFICO I
CORRENTE DE NEUTRO – BAIRRO RESIDENCIAL

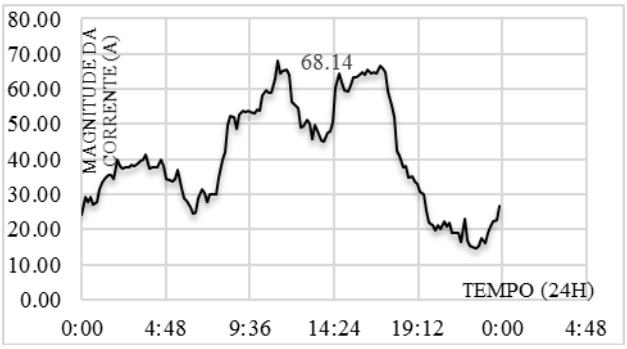
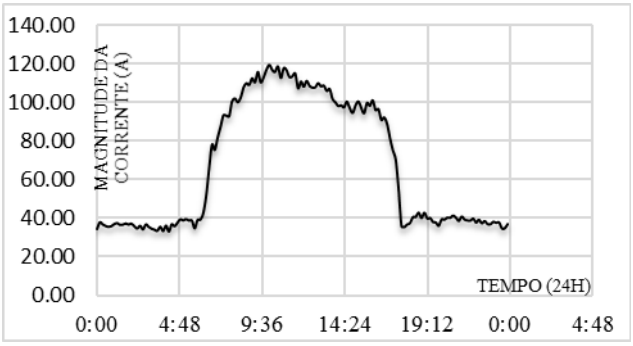


GRÁFICO II
CORRENTE DE NEUTRO – REGIÃO COMERCIAL



Foram plotados os valores de corrente de neutro no período de um mês, utilizando dados de dois trafos para cada localidade.

Para o bairro residencial observa-se uma corrente máxima de 70A, já para a região comercial verifica-se um valor máximo de 120A. Ainda de dados obtidos pela Eletrobrás, sabe-se que a bitola padrão de cabos nus utilizados é 2/0

AWG, e que sua corrente máxima é de 170A. Logo, infere-se que com este mesmo cabo, pode-se fornecer energia elétrica em corrente contínua para 4 imóveis de alto consumo do bairro residencial. Contudo, para a região comercial deve-se considerar a troca do padrão de condutores nus.

C. Microgeração e Geração Distribuída

A crescente preocupação com o meio ambiente e a incessante procura por energias renováveis, tem norteado grande parte das pesquisas de eficiência enérgica neste século. Neste contexto, surge o conceito de Microgeração, que segundo a Resolução Normativa Nº 482 da ANEEL define-se como a produção de energia em pequena escala, utilizando equipamentos de energias renováveis ligados à rede pública. [5]

Sob o aspecto amazônico, a microgeração seria a saída para as comunidades isoladas, que por sua posição geográfica afastada constitui grande problema no que diz respeito a linhas de transmissão. Contudo, esta tecnologia não limita sua aplicabilidade apenas a comunidades isoladas, é possível efetiva participação da potência entregue à uma residência da região urbana, desde que esta possua em sua infraestrutura mecanismos para o aproveitamento das energias renováveis, como solar, biomassa, dentre outras.

Paralelo ao conceito de microgeração pode-se introduzir a chamada geração distribuída, que segundo Ackermann, 2001, pode ser definida como uma fonte de geração conectada diretamente na rede de distribuição ou ao consumidor. Para o IEEE, geração descentralizada é uma central de geração pequena o suficiente para estar conectada à rede de distribuição e próxima do consumidor (MALFA, 2002).

D. Geração Distribuída e o Sistema DC

O atual sistema de distribuição deve sua aceitação a enorme facilidade de implantação e domínio do uso dos transformadores, que aumentam ou diminuem o potencial elétrico, diminuindo proporcionalmente a magnitude da corrente, que por sua vez reduzem as perdas de transmissão por efeito joule. Daí sua vantagem em relação ao sistema de transmissão em DC, uma vez que transformadores não operam em corrente contínua. Contudo no quadro tecnológico atual, os equipamentos eletrônicos tem tomado um espaço cada vez maior nos processos produtivos. Esses equipamentos operam naturalmente em DC.

Com a difusão cada vez mais intensa da Microgeração e da Geração Distribuída, avança-se para um quadro em que a geração de energia não é mais dada de forma centralizada, pelas grandes hidrelétricas e termelétricas, mas por módulos aproveitadores de energia renovável, como células solares. Dessa forma, gera-se energia próximo às áreas de consumo, ocasionando independência da energia fornecida pela concessionária e posterior desafogamento da rede de distribuição.

Assim, o velho dilema das perdas ocasionadas por efeito joule no sistema DC não são mais pertinentes, uma vez que a geração e o consumo da energia ocorrem próximos ao centro de consumo. Portanto, é tecnicamente aceitável um sistema de distribuição em corrente contínua.

VII. CONCLUSÕES

No sistema proposto as perdas de energia são consideradas desprezíveis, tornando sua implantação economicamente viável, pois se obterá um nível de qualidade de energia muito melhor. Observa-se também que é tecnicamente possível a implantação do Sistema Elétrico em questão, do ponto de vista da capacidade de condução de corrente, restando agora pesquisas concernentes ao comportamento dos condutores quando atravessados por ambas as correntes.

REFERÊNCIAS

[1]. ACKERMANN, T., ANDERSSON, G., SÖDER, L., "Distributed generation: a definition", 2001.

[2]. A. Akses, O. Kalenderli, A.I. Yurekli, H. Kumbasar, Design and construction of a 12 kV Impulse generator, EMC Europe 2002, Int. Symp. On Electromagnetic Compatibility, Sorrento, Italy, pp. 257-260, Sept. 9-13, 2002.

[3]. BEN 2001 – Balanço Energético Nacional, Ministério de Minas e Energia – MME/Empresa de Pesquisa Energética – EPE,2011.

[4]. COSTA, PAULO MOISÉS ALMEIDA. O efeito pelicular ou efeito skin

[5]. DIAS, Marcos Vinícius Xavier, Geração distribuída no Brasil: oportunidades e barreiras, publicado em:Revista brasileira de energia, Vol 11, nº2.

[6]. EPRI. The Green Grid – Energy Savings and Carbon Emissions Reductions Enabled by a Smart Grid. Palo Alto: Eletric Power Reseach Institute – EPRI,2008.

[7]. Expósito, A., Conejo, A., Cañizares. Electric energy systems: analysis and operation. Boca Raton: CRC Press, 2009.

[8]. FONTE, Luiz A. Magnata da. Sistemas Polifásicos Equilibrados – Uma Introdução. 2009. 25f.

[9]. GRINSPUM, Rebeca. Estudo Sobre O Sistema De Distribuição De Energia Elétrica. Mestrado em Engenharia Elétrica, São Paulo-SP, 2011, pág 15.

[10]. McNichol, T. (2006). AC/DC The Savage Tale of the First Standards War. San Francisco: Jossey-Bass

[11]. MONTICELLI, Alcir. Introdução a sistemas de energia elétrica / Alcir Monticelli e Arivaldo Garcia. – Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2003. Pg. 5

[12]. MOREIRA, Tibiriçá K. Transmissão em redes telefônicas. 2. ed. Curitiba: TELEPAR – ARHD, 1992.

[13]. Reis, L. B. Geração de energia elétrica: tecnologia, inserção ambiental, planejamento, operação e análise deviabilidade. 3 ed. – Barueri, SP: Manole, 2003.

[14]. RIGUI, LUIZ A. Eletromagnetismo para Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria, Pg. 76

[15]. ROBERT, RENE., Efeito Pelicular, Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 22, no. 2, junho 2000 Pg. 285

[16]. S. K. Nayak and M. Joy Thomas, “An Integro-Differential Equation Technique for the Computation of Radiated EMI Due to Corona on HV Power Transmission Lines”, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 20, No 1, pp. 488-493, January 2005.

[17]. Simões, M. G., R., Kyriakides, E., Miraoui, A., Blunier, B., McBee, K., et al. (2011, September 17-22). Smart-Gird Technologies and Progress in Europe and the USA. Energy Conversion Congress and Exposition.

[18]. U.A.Bakshi,M.V.BakshiTransmission And Distribution Of Electrical Power, Technical Publications Pune1st edition, India, 2009

Captação de imagens aéreas da bacia hidrográfica do rio Marombas através de veículos aéreos não tripulados

Nilton K. G. Suzuki

Universidade do Contestado – UnC Campus Curitibanos
nkazuo@gmail.com

Herculano De Biasi

Universidade do Contestado – UnC Campus Curitibanos
herculano.debiasi@gmail.com

Thiago V. Molin

Universidade do Contestado – UnC Campus Curitibanos
thiago2027@yahoo.com.br

Rudinei L. Santos

Universidade do Contestado – UnC Campus Curitibanos
engenheiro.rudy@hotmail.com

***Resumo*— Este artigo descreve o desenvolvimento de uma solução integrada para a captura de imagens aéreas georreferenciadas. A solução de baixo custo desenvolvida faz uso de veículos aéreos não tripulados (VANTs) para transportar uma câmera digital que realiza as capturas de imagens. A câmera digital é atuada remotamente e registra a informação do GPS diretamente na imagem. Após tiradas, as imagens são armazenadas em um banco e dados e disponibilizadas para visualização *online* em um *site* na Internet.**

***Abstract*— This paper describes an integrated solution for capturing georeferenced aerial images. The low-cost solution developed makes use of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) to carry a digital camera which takes the pictures. The digital camera is remotely actuated and records the GPS information directly on the picture. After being taken, the pictures are stored in a database and made available to view in a website.**

***Palavras chave*— Veículos aéreos não tripulados, imagens georreferenciadas, plataforma Arduino e ArduPilot.**

I. Introdução

O Brasil possui um grande problema com o cuidado das riquezas naturais, apesar de ter uma legislação ambiental bastante avançada no contexto dos países em desenvolvimento. Faz-se necessário o monitoramento desses recursos naturais constantemente, através da fiscalização in loco e de outras formas de tecnologias de comunicação, captação de imagens e sensoriamento para que efetivamente seja cumprida a legislação [1]. Para auxiliar nestas tarefas, faz-se uso de aeronaves não tripuladas para a captação de imagens aéreas georreferenciadas, onde se torna possível monitorar os recursos com agilidade e baixo custo, quando comparada com a tecnologia atual de captação de imagens via satélite [2]. Os resultados relatados neste artigo são parciais, sendo que o veículo ainda não é totalmente autônomo, sendo radio controlado remotamente. O objetivo final é o controle totalmente autônomo do aeromodelo, baseado na plataforma ArduPilot.

II. Materiais e Métodos

Neste projeto foram utilizados um aeromodelo do tipo treinador a combustão, rádio controle, câmeras fotográficas de alta definição, baterias, servos motores e módulos GPS/Arduino. Iniciou-se a integração do equipamento através do módulo GPS/Arduino para a captura da posição georreferenciada, na sequência foram feitas adaptações na aeronave para o acoplamento da câmera fotográfica, módulos GPS/Arduino, baterias e servos motores. Foi desenvolvida uma solução para o acionamento conjunto para captura da imagem e posicionamento. Na sequência foram realizados os testes de voo com o equipamento completo e fotos do aeroporto municipal foram tiradas (Figura 1). Após comprovada a eficácia da solução desenvolvida mapeou-se duas localidades para a tomada das imagens, no Arroio da Água Santa (Figura 2) e no Rio Canoas (ponte – SC 457, Figura 3). Ambas as localidades foram escolhidas aleatoriamente, levando-se apenas em consideração um local próximo para a decolagem e pouso da aeronave.

Herculano De Biasi (herculano.debiasi@gmail.com), Nilton Suzuki (nkazuo@gmail.com), Thiago Molin (thiago2027@yahoo.com.br) e Rudinei dos Santos (engenheiro.rudy@hotmail.com) pertencem à Universidade do Contestado – UnC Campus Curitibanos. Av.Leoberto Leal, 1904 - Curitibanos - SC - Brasil - 89.520-000.

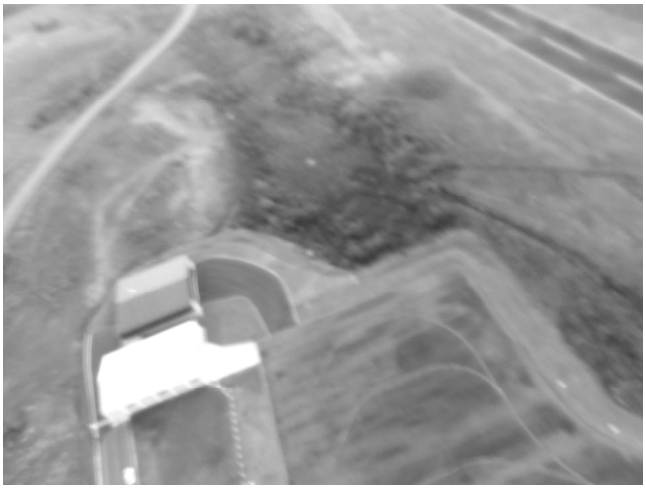


Fig. 1. Aeroporto Municipal de Curitibanos - SC.

O alcance do radio controle é de 2 km, sendo que na prática, por causa de interferências, o limite fica em torno de 1,5 km. Visto que atualmente a aeronave é controlada por um operador, o limite máximo acaba sendo o alcance visual da aeronave por parte do piloto, o que gira em torno de 300 metros, dependendo das condições do tempo.

Fig. 2. Arroio Água Santa - SC.

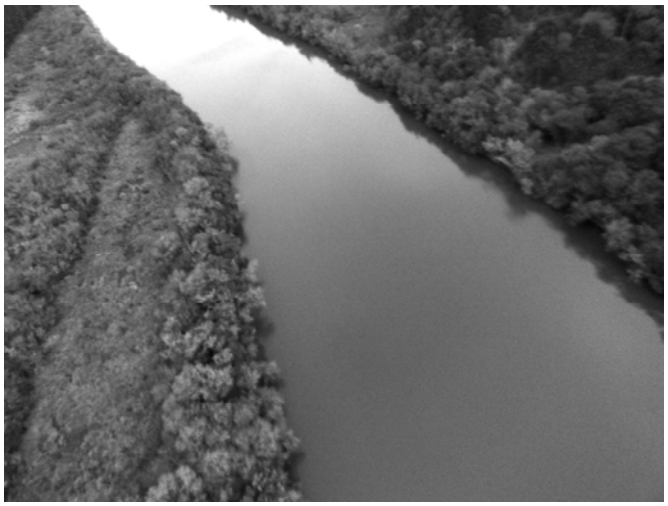


Fig. 2. Rio Canoas - SC.

As imagens foram então inseridas em uma base de dados. Um sistema web foi desenvolvido para acessar e visualizar as imagens. Ao clicar sobre uma imagem é mostrada sua localização geográfica. A Figura 2 mostra uma tela do software que realiza o armazenamento e acesso ao banco de imagens.

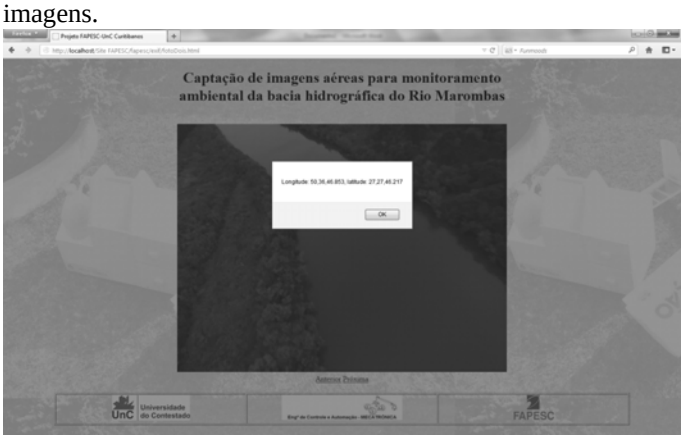


Fig. 4. Tela do software de armazenamento e acesso ao banco de imagens.

Também foi desenvolvida uma solução baseada em câmera com GPS integrado. Neste caso a informação do GPS foi gravada diretamente na imagem utilizando-se o padrão Exif (*Exchangeable image file format* - Formato de Arquivo para Imagens Intercambiáveis). Este padrão é uma especificação seguida por fabricantes de câmeras digitais para armazenar informações sobre as condições técnicas de captura da imagem (horário em que a foto foi tirada, resolução, etc) junto ao arquivo da imagem propriamente dita na forma de metadados etiquetados. A extração dos dados foi possível graças ao uso da biblioteca Javascript EXIF Reader e ao plugin jQuery que usa essa biblioteca, ambas desenvolvidas por Jacob Seidelin [3] e licenciada sob a MPL (Licença Pública Mozilla) [4].

A Tabela I abaixo mostra a localização geográfica das fotos, obtida pelo GPS:

TABELA I
FOTO E RESPECTIVA LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA OBTIDA PELO GPS.

FOTO	POSIÇÃO DADA PELO GPS
Aeroporto Municipal de Curitibanos (Figura 1)	Latitude: 27°17’18.486” Longitude: 50°36’12.893” Altitude: 1128 a.n.m.[1]
Arroio da Água Santa (Figura 2)	Latitude: 27°17’17.5139” Longitude: 50°36’52.6849” Altitude: 1085 a.n.m.
Rio Canoas (Figura 3)	Latitude: 27°27’46.217” Longitude: 50°36’46.853” Altitude: 888.9 a.n.m.

III. CONCLUSÕES

Os trabalhos desenvolvidos para a integração do GPS e do Arduino para a captura da posição georreferenciada em um cartão SD se deram dentro do cronograma previsto. A solução para a integração da câmera fotográfica na aeronave juntamente com o acionamento para a captura da imagem e

[1] Acima do nível do mar

posição, que se imaginava uma operação simples acabou se revelando complexa, tomando mais tempo do que previsto no cronograma. A dificuldade de se criar uma estrutura que não interferisse na aerodinâmica da aeronave e ao mesmo tempo permitisse o acionamento da câmera, do módulo de captura da posição e fazendo com que a lente ficasse livre, foi desafiadora. A realização dos voos de teste no aeroporto consumiu uma dose extra de dedicação e paciência. Três aeronaves foram destruídas por quedas causadas devido à instabilidade das aeronaves e rajadas de ventos. Outro fator que merece destaque é a necessidade de locais apropriados para o pouso e decolagem dos aeromodelos, não sendo tão fácil na prática realizar tais eventos em qualquer local como a maioria da literatura descreve.

A utilização de aeromodelos radiocontrolados para aquisição de imagens georreferenciadas comprovou-se eficiente, proporcionando ótimas imagens da pista do aeroporto municipal, dos rios Canoas e do Arroio da Água Santa. Os próximos estudos se concentrarão no desenvolvimento de um projeto para uma aeronave personalizada e na realização de voos autônomos (VANTs) com o equipamento projetado. Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) pelo auxílio, sem o qual não seria possível a realização deste projeto.

REFERÊNCIAS

[1] Silva Filho, J. B. “Atividades do Comitê Canoas”, Lages: Comitê Canoas, 20 f., 2008.

[2] Jorge, L. A. de C. e Trindade Jr., O. “Metodologia para utilização de aeromodelos em monitoramento aéreo”, São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 6p. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Circular Técnica 15), 2002.

[3] NIHILOGIC Labs. Disponível em: http://www.nihilogic.dk/labs/exif/. Acesso em 10 de set. de 2012.

[4] Mozilla Public License. Disponível em: http://www.mozilla.org/MPL/. Acesso em 10 de set. de 2012.

A Distributed Control to Industrial Ethernet Networks with Artificial Intelligent Techniques

Alexandre Baratella Lugli
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
baratella@inatel.br

Cassiano Domingos Albergaria
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
cassiano@gec.inatel.br

Murilo de Lima Vilela
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
murilol@gec.inatel.br

***Abstract*— This paper deals with communication mechanisms for distributed control systems in industrial environments, known as "industrial Ethernet". It develops and illustrates a communication method adequate for flexible distributed control applications. The proposal is a communication method use, without the master controller. Only fieldbus and switches modules will operate the network, being a distributed control industrial process. Through this concept it is possible to remove the master controller and use a distributed control. Besides, this proposal works with a genetic algorithm concept, to optimize the communication in this distributed network architecture.**

***Keywords*— Ethernet; Genetic Algorithms; Industrial Networks; Optimization.**

I. INTRODUÇÃO

O protocolo TCP/IP é um dos mais difundidos entre sistemas de computadores e utilizado em comunicações de longa, média e curta distância. Tentando implementar este protocolo ao ambiente industrial, as indústrias acabaram criando o que ficou conhecido como Ethernet industrial. [1]

Atualmente existem catorze tipos de redes Ethernet industriais: PROFINET, Ethernet/IP, HSE (*High Speed Ethernet*), Modbus/TCP, EPA, EPL, EtherCAT, IEC 61850, JetSync, P-Net, Sercos III, SynqNet, TCnet e Vnet/IP. [2] [3]

Este trabalho apresenta a proposta de uma arquitetura com controle distribuído, para gerenciar os elementos que estão em campo. O objetivo é propor um método de comunicação sem o controle central exercido pelo mestre da rede, restando somente os dispositivos de campo. Desta forma, todos os dispositivos têm conhecimento prévio do funcionamento da rede e autonomia para executar suas tarefas nos tempos predefinidos. Quando um dispositivo apresentar falha este não irá influenciar no funcionamento do restante da rede.

Para o funcionamento de uma rede de arquitetura distribuída, que utiliza o protocolo Ethernet, é necessário criar janelas de tempos de execução das tarefas de cada dispositivo. Estas janelas são definidas através de um algoritmo de escalonamento, que considera as características dos dispositivos e de suas mensagens, como prioridade de execução, tempo total de execução de todas as tarefas e duração de cada tarefa.

Este trabalho também apresenta uma proposta para a otimização das redes Ethernet que utilizam arquitetura distribuída, através da analise do tráfego de dados existente entre os *switches* do barramento.

II. A PROPOSTA DE UM ESCALONADOR DAS MENSAGENS DO BARRAMENTO

Como o objetivo deste trabalho é propor um conceito de rede Ethernet sem a presença de um controlador central, são necessárias técnicas de escalonamento para que ocorra a comunicação entre os módulos de campo. Desta forma, evita-se a perda de tempo e aumenta-se a eficiência. [4] [6]

Existem dois grupos de algoritmos de escalonamentos aplicados a rede Ethernet industrial, o RM (*Rate Monotonic*) e o EDF (*Earliest Deadline First*). [4] [6]

No grupo de algoritmos RM as prioridades de transmissão não se alteram durante a execução do processo. Elas são definidas em modo *off-line* e a ordem de execução será sempre a mesma. [4] [6]

Já no grupo dos algoritmos de escalonamento EDF, as prioridades são definidas dinamicamente. Com isso, a prioridade de cada mensagem é alterada com o tempo e incrementada com a proximidade do tempo limite (*deadline*). [4] [6]

O algoritmo desenvolvido para este trabalho utiliza o conceito de escalonamento do primeiro grupo, RM, e analisa cada módulo individualmente, realizando o escalonamento das mensagens destes em três níveis diferentes.

No primeiro nível, o escalonador separa todas as mensagens de acordo com as prioridades atribuídas aos módulos de origem. As prioridades variam entre zero e três. Neste processo, cria-se o subgrupo por prioridade. Neste grupo, as mensagens cujos módulos possuem prioridades iguais são agrupadas.

No segundo nível, o escalonador trabalha em cada subgrupo por prioridade, desta vez, separando as mensagens de acordo com o tempo total de execução de cada módulo, criando o que chamamos de subgrupo por tempo de execução. Nesta etapa, as mensagens são agrupadas de modo que tenham o mesmo módulo de origem. A disposição destes grupos é

[1] A. B. Lugli, Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL) e Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Santa Rita do Sapucaí e Itajubá, Minas Gerais, Brasil, baratella@inatel.br

C. D. Albergaria, Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), Santa Rita do Sapucaí, Minas Gerais, Brasil, cassiano.msn@hotmail.com

M. L. Vilela, Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), Santa Rita do Sapucaí, Minas Gerais, Brasil, murilo_vilela@hotmail.com

realizada na ordem crescente, tendo como critério avaliador o tempo de execução dos módulos.

No terceiro nível, o escalonador trabalha em cada subgrupo por tempo de execução e separa as mensagens em ordem crescente, tendo como critério avaliador o tempo de transmissão de cada mensagem. Após esta etapa o escalonamento das mensagens da rede está finalizado.

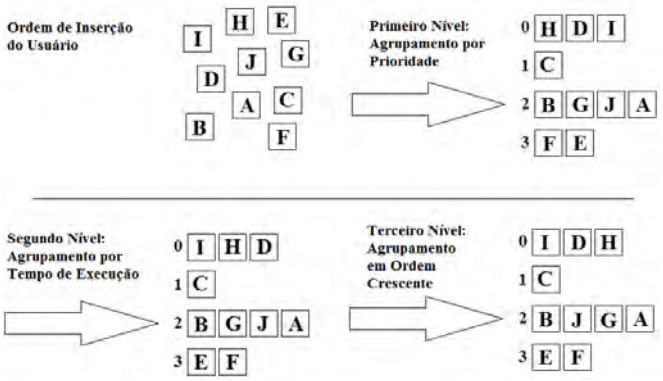


Figura 1. Ilustração de como o escalonador trabalha as mensagens.

Na Fig. 1, há dez blocos, cada um representando uma mensagem de um módulo, como descrito abaixo:

1. Bloco I pertence ao módulo 1.
2. Bloco B pertence ao módulo 2.
3. Blocos D e H pertencem ao módulo 3.
4. Blocos G, A e J pertencem ao módulo 4.
5. Bloco F pertence ao módulo 5.
6. Bloco E pertence ao módulo 6.
7. Bloco C pertence ao módulo 7.

A ordem inicial das mensagens é definida a medida que estas são configuradas nos módulos pelo usuário.

Os parâmetros dos módulos são descritos, na Fig. 2, da seguinte forma, em relação ao tempo de execução, para os módulos e tempo de transmissão, para as mensagens:

1. O somatório do módulo 3 é menor que o do módulo 1 e ambos possuem prioridade 0.
2. O somatório do módulo 4 é menor que o do módulo 2 e ambos possuem prioridade 1.
3. O somatório do módulo 5 é menor que o do módulo 6 e ambos possuem prioridade 3.
4. A mensagem H é menor do que a mensagem D.
5. A mensagem A é menor do que a mensagem G e esta é menor do que a mensagem J.

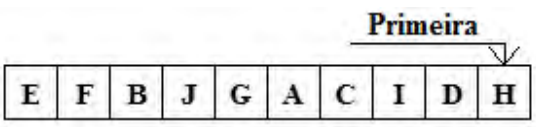


Figura 2. Ordem de execução das mensagens após o escalonamento.

III. O CONTROLE DISTRIBUÍDO

Um dos problemas encontrados pelos usuários de redes industriais é a centralização da lógica de controle dos sistemas em um único ponto, pois, no caso de ocorrerem falhas no controlador mestre, toda a rede é afetada. Grande parte dos sistemas existentes foi desenvolvida para este tipo de arquitetura e problemas como erro na inicialização, ruptura dos cabos principais ou falta de energia para o mestre, são os mais comuns.

Em todos os tipos de sistemas, independentemente do tipo, a informação trafega em um meio comum, para todos os elementos da rede. Na Ethernet industrial, por exemplo, este meio pode um cabo de par metálico ou fibras ópticas. Assim, há duas formas distintas de comunicação que ocorrem dentro do tempo definido pelo usuário, a comunicação cíclica e a comunicação acíclica. [5]

A comunicação cíclica é responsável pelo tráfego das informações na rede e pela conexão entre módulos da rede. Já a comunicação acíclica é responsável pela configuração feita a distância e a pela parametrização dos módulos. Estas duas bandas de comunicação se alternam no barramento de informação de forma contínua e repetitiva, resultado nos tempos de escalonamento. [5]

É muito comum que o usuário escolha a tecnologia que no momento se adeque melhor ao seu problema. Assim, quando um usuário decide iniciar seu projeto, este encontra muitos problemas que são comuns de ocorrerem, mas que não eram perceptíveis durante a etapa de desenvolvimento do projeto, devido a falta de informação e capacidade de simulação da rede. [5]

Os problemas comuns de ocorrem nesta etapa são:

1. Atraso no início da execução rede devido erros na camada física da rede.
2. A lógica de controle está centralizada.
3. Para sistemas centralizados, geralmente não há redundância ou alternativas, devido o alto custo de um controlador mestre.
4. Atrasos nos *switches* podem ser altos, dependendo do tráfego da rede e estes podem prejudicar a comunicação.
5. Falta de conhecimento da tecnologia utilizada.

Para solucionar os problemas descritos acima este trabalho propõe o desenvolvimento de um controle lógico distribuído, aplicado para Ethernet industrial, que hoje é centralizada.

Para o desenvolvimento desta solução, as equações (1) a (6) foram desenvolvidas para a visualização da solução.

$$Tout = [(Uout + 54) \cdot 8)] \div [Ttx] \quad (1)$$
$$Ti = Tout + Tp + Tdead \quad (2)$$
$$Tut = \sum (Ti),\ i=1\ldots n \quad (3)$$
$$Tf = Tscan - Tut \quad (4)$$
$$Tc = (Tut \div \sum Ci) \cdot 100 \quad (5)$$
$$Ta = 100 - Tc \quad (6)$$

Onde:

Uout: quantidade de bytes de saída.
Ttx: taxa de transmissão.
Tout: tempo gasto para envio de uma mensagem.
Ti: tempo de envio de uma mensagem com atrasos.

Tp: tempo de processamento.
Tdead: tempo limite (*dead time*) = 9,6×10µs.
Ci: Tempo máximo para envio de uma mensagem.
Tut: tempo cíclico total.
Tf: tempo livre.
Tscan: tempo de varredura da rede.
Tc: percentual de tempo cíclico.
Ta: percentual de tempo não cíclico.

O objetivo destas equações, (1) à (6), é realizar o equacionamento das mensagens temporais, na rede Ethernet industrial com arquitetura distribuída. Cada mensagem possui um tempo máximo de transmissão e dentro deste período há o tráfego de mensagens cíclicas (*Tc*). Assim, as mensagens escalonadas de cada módulo podem trafegar na rede obedecendo a tabela gerada após o algoritmo de escalonamento ser executado. A diferença entre o tempo de varredura e a soma de todos os tempos cíclicos resulta no tempo para o tráfego das mensagens acíclicas.

A Fig. 3 ilustra uma comunicação da rede Ethernet industrial com a proposta de uma arquitetura distribuída contendo: dois módulos de campo, contendo dois bytes de envio para cada módulo de campo, dois bytes de resposta para cada módulo de campo, taxa de transmissão de 10Mbps, atraso de processamento de 1µs para cada módulo de campo, tempo de *dead time* do *switch* industrial de 9,6µs e tempo de varredura de 1ms. A Fig. 3 ilustra, ainda, os tempos cíclicos e acíclicos totais no barramento.

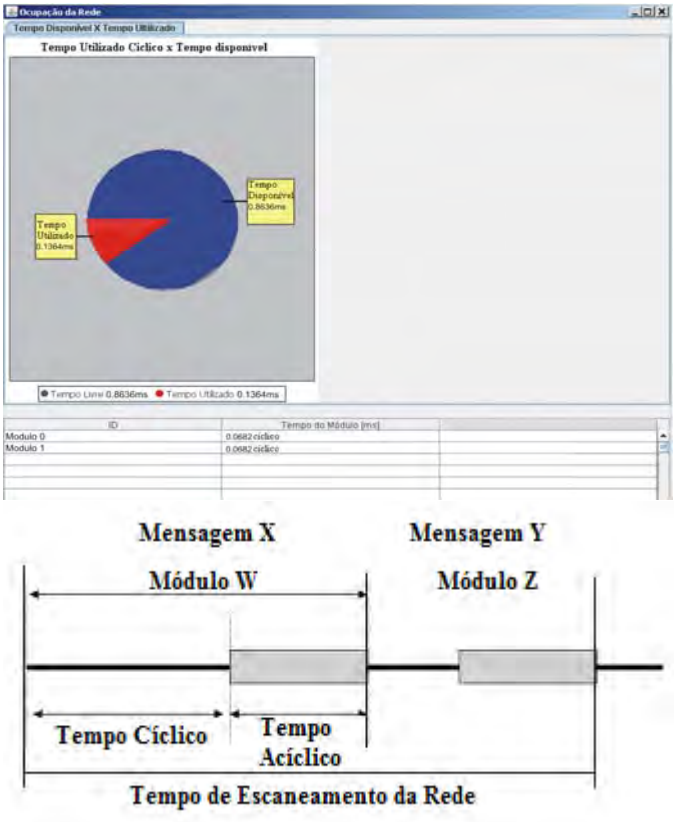


Figura 3. Escalonamento para a arquitetura de rede proposta.

IV. ALGORITMO GENÉTICO E OTIMIZAÇÃO DA REDE

Um algoritmo genético consiste em uma busca heurística que se baseia nos processos biológicos de evolução e que procura por soluções para problemas de busca e otimização. Ele utiliza processos evolutivos, tais como cruzamento de cromossomos, reprodução, seleção de melhores parceiros, mutação e assim por diante, para gerar soluções. Este tipo de algoritmo é parte de uma classe maior de algoritmos, chamados de evolucionários. [7]

Os algoritmos genéticos trabalham com o conceito de população, representada por um vetor de *n* posições. Cada posição neste vetor representa um indivíduo, o que corresponde a uma representação e possível solução para um problema. Cada indivíduo é também representado por um vetor que contém as informações que o define, chamados de cromossomos. Os cromossomos são uma representação codificada do problema e sua eficiência como possível solução é avaliada por uma função de avaliação. Esta função fornece um valor para cada cromossomo que representa o quão perto ele está da solução ótima. [7]

Outros processos utilizados pelos algoritmos genéticos são o cruzamento de cromossomos e a mutação. [7]

A tarefa do processo de cruzamento de cromossomos é realizar a combinação de dois ou mais cromossomos, com o objetivo de gerar novos indivíduos que representem uma melhor solução para o problema. Mas isto não é uma regra geral, considerando-se que os novos indivíduos também podem representar piores soluções. [7]

O operador de mutação permite introduzir um espaço de busca inexplorado para a população. Ele associa uma probabilidade extremamente baixa (0,5%) e um número entre zero e um valor sorteado aleatório. Se o número for menor do que a probabilidade associada, o operador de mutação atuará no cromossomo. [7]

O objetivo da utilização do algoritmo genético neste trabalho é a otimização da comunicação nas portas dos *switches* industriais. Através de sucessivas iterações, é possível que o algoritmo identifique uma melhor distribuição dos módulos na rede, fazendo, assim, com que todo o tráfego de informação seja otimizado. Os *switches* industriais operam com as prioridades em cada porta de comunicação, o que garante o determinismo na rede industrial.

4.1. Representação dos Cromossomos

Neste trabalho, a representação dos cromossomos foi criada para estar diretamente interligada ao número de *switches* presentes na topologia de rede a ser explorada. [7] [8] [9]

Cada cromossomo é representado por um vetor de posições, que é igual ao número total de *switches* multiplicado por quatro. Assim, o tamanho dos cromossomos é definido como a soma das portas de todos os *switches*. Cada posição no vetor é chamada de gene, uma parte indivisível do cromossomo, que representa uma porta de um *switch* e tem um valor armazenado, indicando uma ligação física existente com outra porta de outro *switch* ou com outro dispositivo de rede. [7] [8] [9]

Para a representação da rede é determinado que, a cada quatro posições no vetor são definidos as conexões das portas

de cada *switch* presente na rede, como ilustrado na Fig. 4. [7]

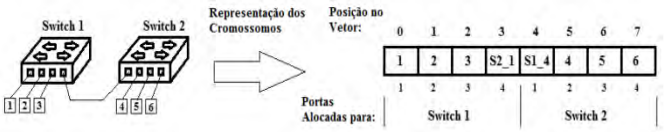


Figura 4. ilustrando como a topologia da rede é representada pela estrutura computacional da representação dos cromossomos.

4.2. Operador de Mutação

O operador de mutação tem como função introduzir um espaço de busca inexplorada à população. [7]

Para este trabalho, um número é sorteado para decidir se o operador de mutação irá atuar no cromossomo ou não. Se for decidido que o operador irá agir, outros dois números, que representam dois genes no cromossomo, são sorteados e estes têm as posições alteradas. Quando um gene, que contém as informações de uma conexão para outra porta do *switch*, é escolhido para ser alterado, a operação é cancelada e outro gene é sorteado. [7]

4.3. Função de Avaliação

A função de avaliação pode ser considerada a parte mais importante de um algoritmo genético, pois é desenvolvida em torno do conhecimento do problema a ser solucionado. [7]

Cada cromossomo, como afirmado anteriormente, é a representação de uma rede e todos devem ser avaliados. A avaliação é realizada através de uma função de avaliação que atribui uma nota para a solução apresentada. Quanto mais próximo a nota de um cromossomo se aproximar do valor ótimo, melhor é a solução apresentada.

Para a avaliação de uma rede Ethernet industrial baseada no conceito de arquitetura distribuída, é necessário utilizar os conceitos seguintes:

1. *Switch* de Origem: *switch* em que é alocado o dispositivo que irá enviar as informações.
2. *Switch* Final: *switch* em que é alocado o dispositivo que irá receber as informações.
3. *Switch* de Tráfego: *switch* pelo qual a informação trafega para alcançar o switch final. Este *switch* não pode reter ou alterar as informações trafegadas.
4. *Switches* Parceiros: *switches* que alocam dispositivos que se comunicam entre si, mas devido a limitações físicas (número de portas de *switch*) estão alocados em *switches* distintos.

Estes conceitos são utilizados para definir valores para as variáveis que compõem a função de avaliação. Para avaliar as soluções geradas existem duas funções e cada uma possui uma função para um tipo específico de situação que possa ocorrer no barramento.

As equações (7) e (8) definem a função de avaliação.

A equação (7) avalia as soluções que possuem tráfego local nulo de informação, quando toda a comunicação entre os dispositivos do switch é feita de forma externa.

$$\lambda i = s.\ n \tag{7}$$

Onde:

s: variável cujo valor depende da relação entre a quantidade de tráfego de informações entre os parceiros chaves e a quantidade total de organizações não informadas trafegadas no barramento.

n: variável que representa 40 por cento do tráfego total de byte através no barramento.

A equação (8) avalia as soluções que possuem trânsito local de informações maior do que zero.

$$\lambda i = (\alpha.\ n1) + (s.\ n2) \tag{8}$$

Onde:

α: número de bytes que trafegam localmente nos *switches* da rede.

n1: variável que representa 60 por cento do total de bytes que trafegam no barramento.

s: variável cujo valor depende da relação entre a quantidade de tráfego de informações entre os *switches* parceiros e a quantidade total de informação trafegada de forma não local.

n2: variável que representa 40 por cento dos bytes de tráfico total através no barramento.

V. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Há propriedades para a função de avaliação que analisam as soluções com valores iguais a zero, se todo o tráfego do barramento for realizado de forma não local e, valores iguais a cem, se todo o tráfego for realizado localmente.

A Fig. 5 ilustra a representação, através de uma ferramenta computacional desenvolvida, de como o barramento é representado pela utilização dos cromossomos.

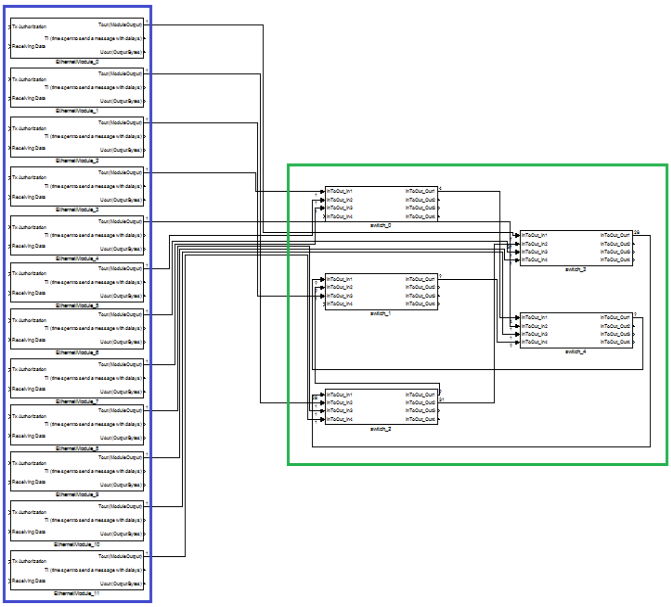


Figura 5. Ilustração da topologia da rede.

Para a topologia do barramento ilustrado na Fig. 5 foi considerada uma comunicação entre os módulos do grupo azul, através dos *switches* representados no grupo verde. A comunicação entre os módulos acontecem da maneira descrita na Tabela I.

TABELA I – Descrevendo a comunicação de informações existentes entre os módulos presentes no barramento.

DE (Módulo)	PARA (Módulo)
5	7
1	4
3	9
0	10
4	7
3	9
4	8
3	1
2	5
2	3
6	8
1	3
7	0
8	6
9	2
10	5

Ao analisar o barramento, o algoritmo genético encontra todas as possíveis rotas para que esta comunicação se torne factível. Toma-se, como exemplo, as rotas para a comunicação entre os módulos 4 e 7 evidenciados na Tabela I.

1. A primeira rota factível se realiza do módulo 4 para o *switch* 4, para o *switch* 0, depois para o módulo 7.
2. A segunda rota se realiza através do *switch* 4, para o *switch* 2, depois para o *switch* 0 e, finalmente, para o módulo 7.

Cada possível rota recebe uma nota que leva em consideração os conceitos e equações descritas acima.

Para o exemplo da Fig. 5, a primeira rota recebe uma melhor avaliação, pois, a quantidade de *switches* de tráfego utilizados para a comunicação é menor do que a quantidade utilizada na segunda rota.

VI. CONCLUSÃO

O trabalho proposto ilustra o desenvolvimento de um algoritmo para a realização do escalonamento das mensagens do barramento e de cada módulo de campo, aplicado as redes Ethernet industrial, com controle distribuído, possibilitando uma maior velocidade e volume no tráfego de informações cíclicas e acíclicas da rede, devido a sua característica temporal proposta, e resolvendo, assim, os problemas de uma rede centralizada. O trabalho apresenta, ainda, um conceito para otimização para otimização do tráfego de informação nos *switches* de comunicação, utilizando a técnica de inteligência artificial algoritmo genético.

O objetivo do trabalho é descentralizar o controle no barramento Ethernet industrial e realizar a busca pela melhor distribuição da comunicação temporal dos módulos de campo na solução proposta.

REFERÊNCIAS

[1] SAUTER, T. “The Three Generations of Field-Level Networks – Evolution and Compability Issues.” IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 57, Issue 11, 2010, 3585-3595p.

[2] FELSER, M. and SAUTER, T. “The Fieldbus War: History or Short Break between Battles?” 4th IEEE International Workshop on Factory Communication System, Sweden, 2002, 73-80p.

[3] LARSSON, L. “Fourteen Industrial Ethernet solutions under the spotlight.” The Industrial Ethernet Books, Issue 28, September 2005.

[4] PINEDO, M. L. “Scheduling – Theory, Algorithms and Systems.” Book, Prentice Hall Editor, 3rd Edition, EUA, 2008, 678p.

[5] LUGLI, A. B., SANTOS, M. M. D. and FRANCO, L. R. H. R. “A Computer Tool to Support in Design of Industrial Ethernet.” ISA Transactions, Journal 48, USA, 2009, 228-236p.

[6] ALMEIDA L., PASSADAS, R. and FONSECA, J. A. “Using a Planning Control Scheduler to Improve the Flexibility of Real-time Fieldbus Networks.” IEEE Engineering and Practice Magazine, Langford, Vol. 7, 1999, 101-108p.

[7] KROMMENNACKER N., et al. “Using Genetic Algorithms to Design Switched Ethernet Industrial Networks.” International Symposium on Industrial Electronics, ISIE IEEE, Vol. 1, 2002, 152-157p.

[8] RUSSEL, S. J. and NORVIG, P. “Artificial Intelligence: A Modern Approach”. Book, Prentice Hall Editor, Englewood Cliffs, New Jersey 07632 USA, 1995.

[9] MEDSKER, L. R. “Hybrid Intelligent Systems”. Book, Kluwer Academic Publishers, Norwell, Massachusetts 02061 USA, 1995.

Levantamento de requisitos de software, uma análise comparativa

Reinaldo Bronze
Instituto de Estudos Superiores da Amazônia
reinaldobroze@gmail.com

Paulo Rocha
Instituto de Estudos Superiores da Amazônia
paulo_srocha@prof.iesam-pa.edu.br

Felipe Maia
Instituto de Estudos Superiores da Amazônia
felipeam88@yahoo.com.br

Wellington Lima
Instituto de Estudos Superiores da Amazônia
wjlima@prof.iesam-pa.edu.br

RESUMO - O aprendizado de técnicas de elicitação não se resume apenas a conceitos, mas também necessita de prática e este trabalho propõe comprovar, com determinadas bases teóricas, a aplicação de técnicas em alguns cenários. Este processo apresenta a escolha de técnica de elicitação com base nas características do projeto, no perfil do(s) usuário(s) e na colaboração entre os envolvidos. O procedimento ocorreu nas entrevistas abertas para atingir os objetivos propostos, através de um estudo exploratório para levantar os resultados do estudo de caso e na técnica Brainstorming que teve um importante resultado na sua aplicação em todos os estudos de casos. O ambiente de trabalho constituiu-se a fonte direta para a coleta de dados e a descrição para análise dos dados indutivos, exploratórios sustentados na base teórica estudada, o que permitiu um grau de segurança nas conclusões obtidas.

Palavras-chave: Técnicas de elicitação. Elicitação de requisitos.

1 INTRODUÇÃO

A elicitação de requisitos sempre foi reconhecida como uma área crítica nos projetos de desenvolvimento. O seu estudo em ambientes diferentes oferece grandes oportunidades de pesquisa por ser uma área importante, com crescimento acelerado e poucos trabalhos desenvolvidos no país. Novas técnicas, processos e ferramentas são claramente necessários, aumentando a relevância dos estudos.

Uma das etapas da engenharia de requisitos é a elicitação, fase complexa da definição de requisitos e de todo processo de desenvolvimento de software, uma vez que é base para todas as etapas posteriores (BELGAMO; MARTINS, 2000). Elicitar requisitos requer um processo interativo que deve acontecer de forma colaborativa, envolvendo analistas, usuários e aplicação de técnicas (FREITAS; BORGES; ARAÚJO, 2007). No primeiro contato do analista com o cliente, dificilmente se extrai todas as informações relevantes para a implementação do sistema, daí a importância das técnicas que auxiliam no levantamento desses dados válidos.

Realizando o levantamento de requisitos, visamos avaliar quantitativamente o modelo de processo proposto em relação ao uso de modelos tradicionais de engenharia de requisitos. Existem técnicas que buscam auxiliar os analistas e os usuários na identificação dos requisitos do sistema, contudo, a complexidade dessa etapa de elicitação se deve, não apenas a fatores técnicos, mas também humanos. (BARBOSA et al., 2009) Este é um momento em que o analista deve atentar-se ao escolher a técnica que irá auxiliá-lo, pois este fator é uma das etapas do projeto mais importante.

O objetivo específico é aprofundar o conhecimento em engenharia de requisitos, demonstrado pela base teórica apresentada, e aplicar técnicas em alguns cenários. O processo de elicitação foca a escolha da técnica que será utilizada com base nas características do projeto, no perfil do(s) usuário(s) e na colaboração entre os envolvidos.

Segundo Yin (2009), a pesquisa exploratória tem como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, com vistas à formulação de novas teorias, modelos e hipóteses pesquisáveis em estudos posteriores. Muitas vezes, ela constitui-se na primeira etapa de uma investigação mais ampla que é o caso deste estudo.

Na revisão teórica, observou-se que o problema apresentado raramente é abordado (levando em consideração mais de uma técnica em um mesmo cenário). Deste modo, esta pesquisa se caracteriza como um estudo predominantemente exploratório.

O método de pesquisa utilizado foi o estudo de caso, adotado conforme proposto por Yin (2009). O estudo de caso foi desenvolvido em quatro empresas para obter uma visão da eficiência e aplicabilidade das técnicas de requisitos. Por tratar-se de uma pesquisa qualitativa, devem-se ter claras

as limitações, principalmente, quanto à generalização dos resultados obtidos.

A metodologia consiste nas entrevistas abertas para atingir os objetivos propostos, através de um estudo exploratório para levantar os resultados do estudo de caso, e do ambiente de trabalho que constituiu a fonte direta para a coleta de dados e a descrição para análise dos dados indutivos, exploratórios sustentados na base teórica estudada, permitindo um grau de segurança nas conclusões obtidas.

2 ELICITAÇÃO DE REQUISITOS

A elicitação obedece ao processo de levantamento de requisitos. Nesta fase, são levantados em conta os objetivos principais do sistema, identificando os problemas apresentados pelos usuários e/ou clientes. Em outro momento, são identificadas as possíveis soluções para os problemas e objetivos detectados (LAUESEN, 2002). Esta é uma fase muito importante do processo no qual o analista deve documentar o entendimento do problema, as necessidades do cliente, e através destas traçar uma estratégia de desenvolvimento.

Durante o processo de elicitação, é necessário manter um contato com os usuários e clientes do sistema para entender suas reais necessidades obtendo os requisitos do software (PFLEEGER, 2004). Os problemas de elicitação de requisitos não podem ser solucionados apenas com uma abordagem tecnológica, uma vez que o conjunto formado por aspectos sociais, pessoas, informações e contextos assume importância significativa na elicitação (BELGAMO; MARTINS, 2000).

As técnicas de elicitação escolhidas para auxiliar na identificação dos requisitos junto aos usuários devem explorar características específicas do problema sendo tratado no desenvolvimento de um sistema. As características dos problemas variam, por isso é necessário um repertório de métodos para cada classe de problemas (BELGAMO; MARTINS, 2000), como: as Oficinas de Requisitos, a técnica a Prototipagem, a Entrevista, o Questionário e as sessões de *Brainstorming:*

- **A Prototipagem** é uma técnica que ilustra o que o analista entendeu dos requisitos para a avaliação do cliente. Existem dois tipos de protótipos: os descartáveis e os evolutivos. *Protótipos descartáveis* são indicados com a função de ilustrar para os usuários e/ou clientes do sistema a compreensão do analista sobre os requisitos que deverão ser observados no produto. Essa prototipagem deve ser realizada rapidamente e concluída em um prazo mínimo de poucos dias. *Protótipos evolutivos* são reaproveitados durante a construção do sistema.
- **A Entrevista** é a técnica mais utilizada na elicitação de requisitos. Ela ajuda na captura de conhecimento sobre o domínio do problema, porém para identificar a solução desses problemas, muitas vezes, torna-se necessário utilizar outras técnicas. (LAUESEN, 2002).
- **O Uso de Questionários** é muito utilizado quando os analistas identificam a necessidade de coletar informações de muitos usuários ao mesmo tempo (LAUESEN, 2002). Quando aplicado, cada usuário o responderá individualmente e, posteriormente, os requisitos são identificados através de análise de respostas fornecidas.
- Em sessões de ***Brainstorming***, um grupo de pessoas é reunido, um cenário simulado e um assunto discutido para atrair os requisitos. As pessoas participantes devem sentir-se confortáveis para discuti-lo sem se intimidar. Nenhuma ideia é descartada, pois todas são boas ideias (LAUESEN, 2002).

Dieste, Lopez e Ramos, (2008) defendem algumas recomendações sobre as situações que cada técnica é útil. Aquelas são baseadas em uma revisão sistemática de vários estudos empíricos da literatura.

Carrizo, Dieste e Juristo (2008) propõem um *framework* para apoiar a tomada de decisão quanto a melhor técnica de elicitação de acordo com as características do projeto em questão. O *framework* define como cada técnica responde a distintas características de projetos.

Na internet, serão utilizados motores de busca, como o Google Acadêmico. A pesquisa se estende por sites especializados, como o IBICT – Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia, disponível em http://www.ibict.br, responsável pela publicação eletrônica da Revista de Ciência e Informação. Outro site consultado foi o da Data Gama Zero, disponível em http://www.dgz.org.br, o qual reúne textos da área de Sociedade da Informação, Blogs de sistema de informação que reúne livros, trabalhos acadêmicos, artigos de periódicos.

3 ESTUDO DE CASO

1º - Sistema de Gestão Empresarial

O estudo de caso foi aplicado em uma empresa de gráfica rápida, do ramo de impressão, composta por: um Diretor Administrativo/Financeiro, um Gerente Geral e uma equipe de Atendimento. Como primeira técnica, utilizou-se o questionário que parecia a melhor opção devido à quantidade de pessoas nesta empresa. Porém algumas respostas

ficaram confusas sobre os campos que deveriam ter o sistema, além de não informarem exatamente suas necessidades.

A técnica entrevista foi a segunda aplicada com cada gestor e funcionário. Alguns ficaram dispersos, pois não haviam preparado suas ideias de como o módulo do sistema poderia ser criado para cada setor.

A terceira, o *brainstorming*, teve um resultado mais favorável devido aos gestores e funcionários estarem presentes no dia a dia da empresa, o que possibilitou a dispersão destas dúvidas. Fizemos uma análise do perfil de trabalho desta empresa e explicamos aos funcionários o que seria feito para melhorar as suas atividades e organizar seus setores.

O gráfico abaixo (Figura 1) demonstra o total de requisitos válidos levantados, juntamente com os coletados por cada técnica e seu tempo gasto.

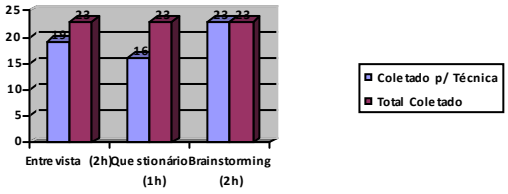


Figura 1 – Resultado da Pesquisa do Estudo de Casos 1

Fonte: Os autores

2º - Sistema de gestão empresarial

A segunda empresa, um bureal de impressão, tem um Diretor Administrativo/Financeiro, um Diretor Operacional, um Gerente da Área Operacional e um setor de atendimento. Primeiramente, utilizou-se a técnica do questionário no qual foram percebidas em suas respostas divergências de opiniões, e alguns dados confusos sobre campos que deveriam ter o software. A segunda técnica foi a entrevista aplicada com cada gestor. Não obteve grande êxito, pois os gestores repassavam suas necessidades definindo o sistema ainda em análise, além de incluir as de outros gestores.

Foi aplicada uma última técnica, o *brainstorming*, que teve uma melhor abordagem por seus gestores estarem presentes no dia a dia da empresa. Mesmo assim, a dificuldade se fez presente, pois entre os gestores não havia conciliação em suas ideias, já que davam sempre opiniões diferentes no que seria melhor para empresa.

O gráfico a seguir (Figura 2) demonstra o total de requisitos válidos levantados, juntamente com os coletados por cada técnica e seu tempo gasto.

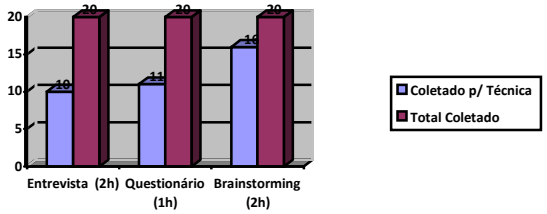


Figura 2 - Resultado da Pesquisa do Estudo de Casos 2

Fonte: Os autores

3º - Sistema de gestão empresarial

Realizado em uma empresa do ramo de bureau de impressão na área de comunicação visual com o total de oito funcionários, consistindo em: um Diretor Administrativo/Financeiro, Diretor de Projetos Arquitetônicos, Gerente da Área Operacional, Diretor de Atendimento. Foi aplicada a técnica de *brainstorming*. Houve muita dificuldade para realizar esta técnica, devido seus gestores não participarem das reuniões marcadas e a dificuldade de conciliar um horário que possibilitasse a presença de todos os envolvidos. Posteriormente, foi utilizada a técnica do questionário, nele percebeu-se respostas com muita indecisão, incompletas e confusas sobre o que queriam para seus departamentos. A terceira técnica aplicada foi a entrevista, percebeu-se um melhor resultado, já que possibilitou marcar reuniões individuais com cada membro desta empresa.

O gráfico a seguir (Figura 3) demonstra o total de requisitos válidos levantados, juntamente com os coletados por cada técnica e seu tempo gasto.

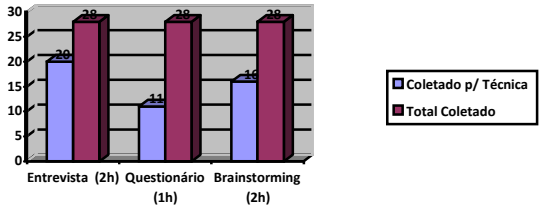


Figura 3 - Resultado da Pesquisa do Estudo de Casos 3

Fonte: Os autores

4º - Sistema de Controle de Atendimento e Versões de Software

Este estudo de caso foi realizado em uma empresa de desenvolvimento de software, onde o foco são os sistemas de gestão escolar. Visa a informatização do controle de atendimentos telefônicos dos seus clientes, controle já existente feito em planilhas eletrônicas.

O levantamento de requisitos deste caso de uso foi aplicado à técnica de entrevista para os três funcionários envolvidos no atendimento e no desenvolvimento do software. O resultado abstraído dos entrevistados não foi suficiente, cada um dos envolvidos pensava individualmente no software.

A segunda técnica, o questionário, foi realizada e obteve um resultado não muito expressivo. Após a aplicação da terceira técnica, alguns foram descartados, devido às novas ideias surgidas.

Ao ser aplicada a técnica *brainstorming*, foram despertadas ideias, possibilidades, até então não levantadas. O sistema, inicialmente um controle de atendimento, passou a integrar um controle de versões do software já existente a parte, juntamente com um banco de dados de erros e suas soluções, agilizando o atendimento e o diagnóstico de problemas.

O próximo gráfico (Figura 4) demonstra o total de requisitos válidos levantados, juntamente com os coletados por cada técnica e seu tempo gasto.

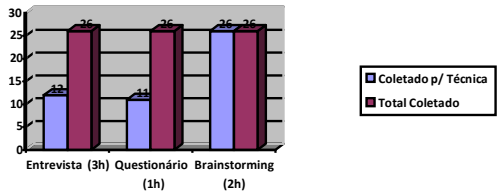


Figura 4 - Resultado da Pesquisa do Estudo de Casos 4

Fonte: Os autores

4 RESULTADOS

A partir dos dados coletados nos estudos de casos, obteve- se como resultado os gráficos abaixo (Figura 5). O primeiro consiste na porcentagem de cada técnica no conjunto de todos os estudos de dados.

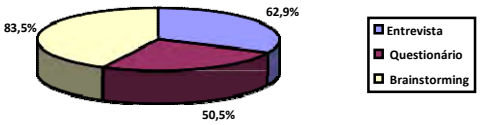


Figura 5 - Resultado Geral da Pesquisa

Fonte: Os autores

Analisando o gráfico, pode-se afirmar que a técnica que mais conseguiu levantar requisitos foi a *brainstorming*, conseguindo o equivalente de 83,5% do total aplicado, enquanto que a entrevista levantou 62,9% e o questionário 50,5%.

Entretanto, a técnica de *brainstorming*, na execução dos estudos de casos, apresentou algumas dificuldades:

- Dificuldade no agendamento das reuniões;
- Ausência de pessoas importantes na sessão;
- Pessoas se inibiram durante a reunião;

Embora o *Brainstorming* tenha coletado a maior quantidade de requisitos, sua aplicação não foi possível em todos os estudos de caso, não mencionados neste trabalho que teve como objetivo comparar cenários. A entrevista foi a técnica que mais facilmente foi aplicada, já que é uma das formas de comunicação mais natural entre os *stakeholders*, porém coletou apenas requisitos-base na maioria dos estudos de caso e foi a que mais utilizou tempo em sua aplicação.

O gráfico abaixo (Figura 6) mostra o tempo gasto na aplicação de cada levantamento de requisitos, não sendo considerado o tempo gasto na elaboração dos mesmos. Analisando-o, verifica-se que a técnica de questionário foi a que menos gastou horas em sua aplicação, mas não reflete o gasto na elaboração dos mesmos. Com esta técnica, foi possível levantar requisitos com um número grande de pessoas, principalmente, em estudos de caso que continham setores a serem aplicados.

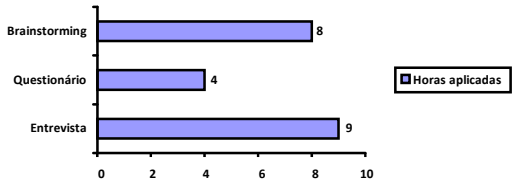


Figura 6 - Resultado Geral da Pesquisa por horas dedicadas.

Fonte: Os autores

5 TRABALHOS FUTUROS

A seguir são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros que complementariam o trabalho apresentado. São elas:

- Aplicar mais técnicas de levantamento de requisitos;
- Cruzar resultados apenas das técnicas de caráter individual ou coletivo;
- Aplicar as técnicas em mais empresas;

- Detalhar os cenários, as reuniões, de quando aplicado as técnicas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observa-se que, para a aplicação das técnicas de requisitos, vários aspectos devem ser considerados e observados (envolvimento dos usuários, quantidade de usuários, tempo disponível, complexidade, entre outros), sem isso, o projeto pode desperdiçar tempo e dinheiro, com requisitos não relevantes.

O artigo em questão mostra dificuldades de diversas naturezas que se teve ao aplicar cada técnica na visita feita às empresas: falta de envolvimento do usuário, conciliar horários das partes interessadas, falta de padronização de processos na empresa, requisitos incompletos, usuários que não sabem ou não querem dar informações devido a apreensão de perder o emprego, entre outros.

Vale salientar que o propósito deste trabalho não foi criticar técnicas de levantamento de requisitos, visto que todas apresentaram vantagens e desvantagens em determinados cenários, mas contribuir para a conscientização de analistas sobre a necessidade de avaliar o cenário onde a técnica será aplicada.

O resultado desta pesquisa possibilitou uma visão mais abrangente da relevância que cada técnica aplicada em ambientes diferentes. O estudo deste artigo, visa dar um parâmetro maior no futuro para auxiliar o analista na aplicação das técnicas de acordo com cada perfil de empresa e assim agilizar o processo do projeto.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, G. A. R. et al. Evoluindo um processo de elicitação de requisitos com foco na seleção da técnica mais adequada de elicitação. **Revista Brasileira de Sistemas de Informação**, v.2, p.17 - 37, 2009.

BELGAMO, A.; MARTINS, L.E.G. Estudo comparativo sobre as técnicas de elicitação de requisitos do software. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO, 20., 2000, Curitiba. 2000.

CARRIZO, D.; DIESTE, O.; JURISTO, N. Study of Elicitation Techniques Adequacy. In: WORKSHOP ON ENGENHARIA DE REQUISITOS, Barcelona, 2008.

DIESTE, O.; LOPEZ, M.; RAMOS, F. Updating Systematic Review about Selection of Software Requirements Elicitation Techniques. In: WORKSHOP ON ENGENHARIA DE REQUISITOS, Barcelona, 2008.

FREITAS, D. P.; BORGES, M. R. S; ARAÚJO, R. M. Colaboração e negociação na elicitação de requisitos. In: WORKSHOP IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA DE REQUISITOS Y AMBIENTES DE SOFTWARE, 10., 2007, Isla de Margarita. 2007.

LAUESEN, S. **Software requirements styles and techniques**: elicitation. England: A Personal Education Limited, 2002. p.331-372.

PFLEEGER, Shari Lawrence. **Engenharia de software:** teoria e prática. São Paulo: Prentice-Hall, [c 2004]. 111-138 p.

YIN, Robert K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. Porto Alegre: Bookman, 2009. 248 p.

Análise do Path Loss em Redes de Sensores Sem Fio Locada em Ambiente Amazônico

Dângelo Wesley Oliveira Mendes
Universidade Federal do Pará
dangelomendes10@gmail.com

Dionne Cavalcante Monteiro
Universidade Federal do Pará
dionnecm@gmail.com

Abstract - This paper presents path loss evaluation obtained from value of RSSI and its analysis in wireless sensor networks which was propagated between two antenna of motes, sender and receiver where it was evaluated in Amazon environment. The first part of this paper presents a brief introduction about state of the art. The second part describes scenario of tests as well as the test methodologies used to collect pieces of information from measurements. The third part shows results evaluation based on measured values to each environment which was tested on different days of week. And finally, the final considerations of results.

keywords - path loss, wireless sensor networks, RSSI

***Resumo*— O presente artigo trata da medição e avaliação do Path Loss em redes de sensores sem fio, a partir da coleta e análise do valor do RSSI, propagados entre as antenas de dois motes transmissor e receptor, com testes realizados em ambiente amazônico. A primeira parte deste trabalho apresenta breve introdução, sobre o estado da arte. A segunda parte descreve o cenário de testes assim como a metodologia que proporcionou adquirir os dados com base nas medições. A terceira parte mostra a avaliação dos resultados com base nos resultados das medições para cada ambiente testado nos diferentes dias que ocorreram. E por fim as considerações finais a respeito dos resultados.**

***Palavras chave*— Path Loss, redes de sensores sem fio, RSSI.**

I. Introdução

Neste trabalho vamos avaliar o comportamento do Path Loss em um ambiente real com características amazônicas, este fenômeno é expresso pela atenuação da intensidade de potência do sinal de uma onda eletromagnética que se propaga, e acontece devido a diversos fatores, sendo assim, é facilmente influenciado e pode sofrer variações.

Ao se estabelecer uma rede de sensores sem fio, deve se considerar os fatores críticos a rede, dentre os quais temos a propagação no ambiente, a intensidade do sinal, a energia disponível, a alta densidade de nós que aumenta as interferências, a baixa densidade de nós que pode gerar alto consumo de energia devido a distância, assim sendo, estes fatores como consequência diminuem a eficiência e a vida útil da rede sendo importante o uso de técnicas que derivem resultados melhores [5].

Neste sentido a dificuldade é aumentada para redes densas, tornando a escalabilidade complexa, e aumentando a manutenção e os custos, o que nem sempre refletem um aumento de desempenho [1].

Existem ferramentas que simulam um ambiente real para testes de RSSF's, como o Placefile que permite especificar o ambiente físico, levando em consideração as camadas de rede, e também a ferramenta Castalia, que é usado como simulador para algoritmos e protocolos [2], porém este método propõe o ambiente amazônico como locação real de testes, este que possui ambientes arborizados, como florestas, e vegetações diversas, onde estas características ambientais geram dificuldade para a propagação das ondas de rádio, tendo sido utilizada uma técnica que expressa o valor do Path Loss em determinadas condições de distância tomando como base o valor do RSSI, que é aplicado à equação da distância de Friis[5].

Dentre os diversos fatores que causam o Path Loss, podemos citar também uma forte relação da interferência do corpo humano e dos locais de medição, onde já se realizou uma investigação a respeito da intensidade do sinal [3]. No trabalho citado um analisador de espectro foi utilizado para gravar o sinal das ondas de rádio, emitido a partir do vetor gerador de sinal, que registra continuamente as ondas de rádio, dentro de um intervalo de tempo predefinido.

O seguinte método utilizou uma rede em forma quadrada em um ambiente indoor como um escritório com a presença de um humano adulto com cerda de 1,75 m e que através de um modelo matemático que leva em consideração o path loss, chegou-se a conclusão de que o aumento da distância entre os nós aumenta a média do erro de propagação [3].

A perda da propagação do sinal (Path Loss) pode ser calculada em cada ponto da observação a partir dos seguintes fatores: energia emitida, base de ganho da antena da estação, ganho da antena receptora, nível recebido, onde tais valores são usados numa simples equação para se chegar ao Path Loss

D. W. O. Mendes (dangelomendes10@gmail.com) aluno, e D. C. Monteiro (dionnecm@gmail.com) professor Dr. pertencem ao Grupo de Estudos em Redes de Computadores e Comunicação Multimídia - GERCOM, Instituto de Ciências Exatas e Naturais – ICEN, Universidade Federal do Pará - UFPA. R. Augusto Corrêa, 1 - Guamá - Belém - PA - Brasil - 66075-110.

do ambiente, que pode ser comparado ao modelo de descrito na previsão anterior [4].

II. Descrição do cenário e metodologia

A elaboração do projeto proposto foi pautada na avaliação da atenuação da intensidade do sinal entre as antenas de dois radiotransmissores IRIS XM2110, da empresa MEMSIC, em ambiente tipicamente amazônico, utilizando-se de métricas estatísticas, para que possamos estabelecer uma comparação com os resultados coletados.

A. O ambiente amazônico

Os testes foram realizados em ambientes amazônicos Fig. 1 e Fig. 2, os quais são repletos de obstáculos como árvores, plantas, animais, e que por sua vez possuem umidade e temperatura característica com diversas variações ao longo do dia.

Fig. 1. Ambiente 1 onde os dados foram coletados

Fig. 2. Ambiente 2 de coleta dos dados.

B. Características de hardware

Para se realizar a coleta dos valores do Path Loss, os envios do nó transmissor ao nó receptor ocorrem em modo broadcast com envios a cada 0,25s, entre dois motes IRIS XM2110 Fig. 3(a), da empresa MEMSIC, que utilizam o rádio padrão IEEE 802.15.4, nas faixas de 2.4 a 2.48 GHz, com taxa mínima de 250kbps, e alcance de até 500 metros em visada direta.

O rádio que compõe os motes é o XM2110CB, e sua CPU é a ATmega1281, ambos da ATMEL. A comunicação entre os motes e a *base station* utilizada, é feita através de um nó gateway MIB520, Fig. 3(b), que possui uma interface USB, que habilita duas comunicações seriais, uma para controle e outra para dados.

Fig. 3. IRIS XM2110 (a.) e MIB 520 (b.)

C. Materiais e métodos

Foram realizados testes em dois ambientes, em dois dias diferentes, onde no primeiro dia os primeiros dois testes ocorreram em uma manhã, e no segundo dia os dois testes ocorreram no inicio da tarde.

As coletas dos dados ocorreram em dois ambientes diferentes nos dias de testes, onde se coletaram amostras em um experimento com o intuito de analisar o Path Loss em função da distância, a partir da coleta do valor de A (RSSI a 1 metro), com o auxilio de um programa em java por nome de RssiDemo que é executado em linha de comando como mostrado na Fig. 4.

```
Rssi Message received from node 1: Rssi = 8
Rssi Message received from node 1: Rssi = 8
Rssi Message received from node 1: Rssi = 8
Rssi Message received from node 1: Rssi = 8
Rssi Message received from node 1: Rssi = 8
Rssi Message received from node 1: Rssi = 8
Rssi Message received from node 1: Rssi = 8
Rssi Message received from node 1: Rssi = 8
Rssi Message received from node 1: Rssi = 8
gercom@gercom:~/RssiDemo3/java$
```

Fig. 4. Linha de comando, durante a coleta do valor de A.

O valor do RSSI, é adquirido com a o auxílio do TinyOS, este trata-se de um sistema operacional Open Source com licença BSD, projetado para dispositivos de baixo consumo de energia como: RSSF, computação ubíqua, redes pessoais, automação industrial e residencial, o valor é então estimado através da interface *packetfield* de sua plataforma (TinyOS,

2012).

O valor de A, é tratado dentro do algoritmo que utiliza a equação da transmissão de Friis[5], como cálculo para se chegar ao valor do Path Loss, que será na abordada na *seção D*, este valor representa a intensidade do RSSI entre as antenas dos dois motes na distância de 1m, a coleta de A se deu como mostrado na Fig. 5.

Fig. 5. coleta do valor de A.

Após a coleta do valor de A, dá-se inicio ao experimento que consistiu-se da seguinte forma: o valor do Path Loss é coletado com o auxilio de um programa chamado Path Loss Estimator como mostrado na Fig. 6.

Este por sua vez utiliza como entrada os valores da distância em metros e do valor de A, onde por cerca de um minuto, coletou-se amostras, a partir da distância incial X de 3m, até uma distância Xn, somado 1 metro a distância inicial (X = X +1), entre os motes (transmissor e receptor) como mostrado na Fig.7. até que o valor do RSSI, atenue de tal modo que chegue ao valor de 0.

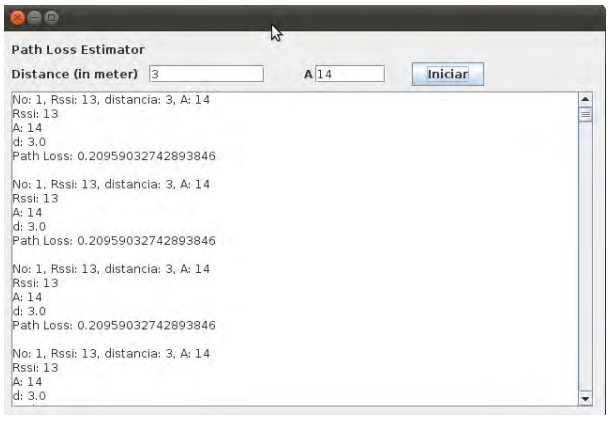


Fig. 6. Path Loss Estimator em execução, na coleta de dados.

Fig. 7. Esquema de coleta das amostras.

D. Equação da tranmissão de Friis

O algoritmo executado na aplicação java do Path Loss Estimator, usa como base a equação da transmissão de Friis (1), para se estimar o valor do Path Loss do ambiente, a partir da coleta do valor de A e da intensidade do RSSI para cada medida em uma determinada distância X, sendo assim diferentes cálculos são realizados a medida que o valor de X é alterado.

$$Rssi[dbm] = -10 * n * \log(d) + A \quad (1)$$

Tomando *n* como variável de interesse para a aquisição do Path Loss, temos a seguinte equação (2):

Onde,

n é o Path Loss do ambiente;
d é a distância;
A é o valor do RSSI a 1 metro de distância.

$$n = \frac{Rssi - A}{-10.\log_{10}(d)} \quad (2)$$

III. AVALIAÇÃO E RESULTADOS

A. Tabelas

Após a preparação do experimento já havendo sido coletado o valor de A, foram então retirados um número considerável de amostras do Path Loss para cada ambiente, durante um minuto para cada distância X do nó transmissor em relação ao nó receptor, a partir das quais, são dadas as seguintes tabelas com os valores da média e variância do Path Loss, nos dois ambientes, para os dois dias de coleta dos dados.

As coletas de amostras foram realizadas até que o RSSI, estabiliza-se no valor 0, isto reflete as diferentes distâncias finais de coleta representadas nas TABELAS I, II, III, IV, pois os ambientes possuem diferentes interferências ao sinal, alterando assim a propagação.

TABELA I
1º DIA AMBIENTE 1.

DISTANCIA	MEDIA	VARIANCIA
3m	0,513083131	0,035552756
4m	0,917305144	0,050248782
5m	0,562822759	0,014849303
6m	0,780943689	0,010741699
7m	0,888322288	0,006444173
8m	0,73241145	0,016352084
9m	0,776389419	0,008080485
10m	0,75173913	0,006176002
11m	0,528138912	0,008201703
12m	0,736669584	0,001242337

TABELA II
1º DIA AMBIENTE 2.

DISTANCIA	MEDIA	VARIANCIA
3m	0,666579434	0,017934766
4m	1,229660215	0,027870436
5m	1,034446214	0,018734752
6m	0,945389135	0,015765076
7m	0,982376059	0,008013712
8m	0,897272112	0,01032285
9m	0,623149786	0,003262889
10m	0,650965251	0,006462243
11m	0,073115574	0,073115574

TABELA III
2º DIA AMBIENTE 1.

DISTANCIA	MEDIA	VARIANCIA
3m	1,050476822	0,010798495
4m	1,360960464	0,03653105
5m	0,809402446	0,018057521
6m	0,91413595	0,02100098
7m	0,995565214	0,020971752
8m	0,933434341	0,014820744
9m	0,975111949	0,00728497
10m	0,764957265	0,006749569
11m	0,891537246	0,00757924
12m	0,916332537	0,000853028
13m	0,861965731	0,002892373
14m	0,709802539	0,006407655
15m	0,797180112	0,005778079
16m	0,810482661	0,001266104

TABELA IV
2º DIA AMBIENTE 2.

DISTANCIA	MEDIA	VARIANCIA
3m	1,102067173	0,031225762
4m	0,761498436	0,006726313
5m	0,748308603	0,004152424
6m	1,176358214	0,017773565
7m	1,013755385	0,013731536
8m	0,768789073	0,009809072
9m	0,624545371	0,00291654
10m	0,861073826	0,002933974
11m	0,910739545	0,003903041
12m	0,756201458	0,006504296
13m	0,813464926	0,006034242
14m	0,694163283	0,006069178
15m	0,698408177	0,003572701
16m	0,825729265	0,000414917
17m	0,751217368	0,002783827
18m	0,761090791	0,002743076
19m	0,706775307	0,002437335
20m	0,730909036	0,001760725
21m	0,756304196	0

B. Gráficos

A partir da análise dos resultados, foram gerados os seguintes gráficos das médias do comportamento do Path Loss, referentes às coletas nos dois ambientes para os dois diferentes dias de testes.

Onde com a análise destes vê-se que o valor do Path Loss mostrou-se estável em algumas situações, e em outras oscilou de forma considerável, como na Fig. 9, que mostra uma queda brusca do valor médio nesse ambiente, em relação as primeiras amostras ainda no mesmo lugar.

Ao visualizar os gráficos das Fig. 10 e 11, observa-se que o valor do Path Loss, mostra leve diferença ao final da coleta no ponto mais distante do nó receptor, porém nota-se que o valor médio do Path Loss vai decaindo ao longo do experimento, até que na comparação com o ponto inicial, observa-se uma atenuação considerável no ponto mais distante.

No gráfico da Fig. 8, o valor médio do Path Loss permanece estável ao longo do experimento, porém nota-se que o menor valor do Path Loss ocorreu no ponto inicial, considera-se o ocorrido, ao fato do nó transmissor no ponto de 3m, ter ficado ao lado de uma árvore de porte considerável, o que interferiu consideravelmente neste ponto inicial, porém no restante do ambiente, o comportamento esteve estável.

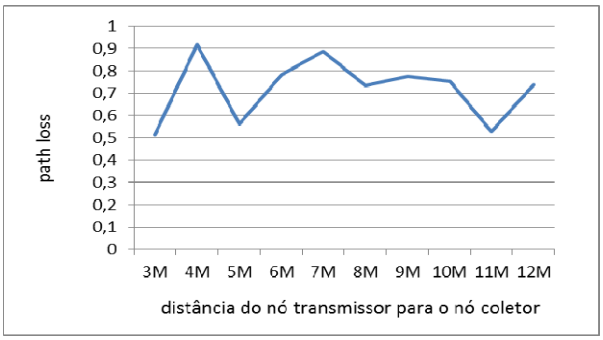


Fig. 8. 1º dia – ambiente 1, média path loss.

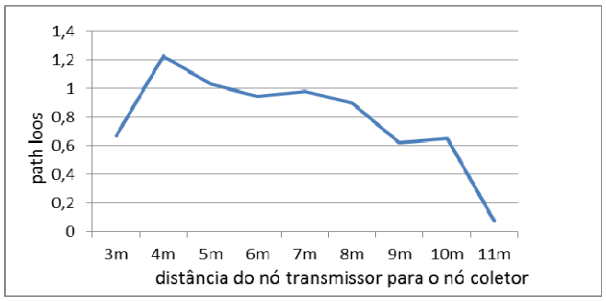


Fig. 9. 1º dia – ambiente 2, média path loss.

Fig. 10. 2º dia – ambiente 1, média path loss.

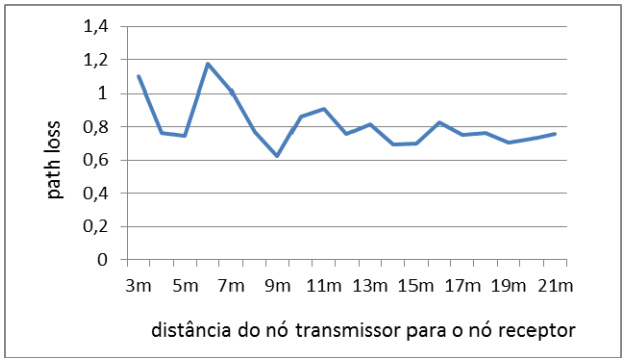


Fig. 11. 2º dia – ambiente 2, média path loss.

IV. CONCLUSÕES

Como esperado, as variações do valor médio do Path Loss, em diferentes ambientes, deu-se por fatores característicos do ambiente como árvores, e o clima, e as coletas sofreram consideráveis interferências quando o experimento é realizado em um ambiente com maior densidade de obstáculos.

O presente trabalho deu uma visão do comportamento do Path Loss, para ambientes tipicamente amazônicos, o que pode variar, devido a fatores adversos, porém com o conhecimento adquirido, tira-se conclusões de que há um alto grau de variação no comportamento do Path Loss, dependendo do clima, e da locação da rede, requerendo assim haver um levantamento de informações do ambiente para que não se comprometa a qualidade das informações geradas a partir dos motes.

Para que haja um estabelecimento de uma rede de sensores sem fio em ambiente amazônico, necessita-se de observações iniciais do ambiente, com a análise das variações da propagação do sinal, o que interfere diretamente no consumo de energia, deste modo pode se ter um maior controle sobre a vida útil da rede, e sobre o consumo de energia como um todo.

V. TRABALHOS FUTUROS

Podemos apontar como possíveis trabalhos futuros a aplicação dos algoritmos de Lateração e KNN, para se estimar a localização de um determinado nó em redes de sensores sem fio em ambiente amazônico para usá-las como métricas para a redução do consumo de energia, favorecendo o envio de mensagens a distâncias mais curtas, numa possível escolha de melhores rotas.

VI. REFERÊNCIAS

[1] Awang, A.; , "Multi-sink routing using path loss in multihop wireless sensor networks," *Communications (APCC), 2011 17th Asia-Pacific Conference on* , vol., no., pp.139-144, 2-5 Oct. 2011

[2] Doddapaneni, K.; Ever, E.; Gemikonakli, O.; Malavolta, I.; Mostarda, L.; Muccini, H.; , "Path Loss Effect on Energy Consumption in a WSN," *Computer Modelling and Simulation (UKSim), 2012 UKSim 14th International Conference on* , vol., no., pp.569-574, 28-30 March 2012

[3] Zhihua Lai; Bessis, N.; de la Roche, G.; Kuonen, P.; Jie Zhang; Clapworthy, G.; , "The Characterisation of Human Body Influence on Indoor 3.5 GHz Path Loss Measurement," *Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW), 2010 IEEE* , vol., no., pp.1-6, 18-18 April 2010

[4] Afric, W.; Zovko-Cihlar, B.; Grgic, S.; , "Methodology of Path Loss Calculation using Measurement Results," *Systems, Signals and Image Processing, 2007 and 6th EURASIP Conference focused on Speech and Image Processing, Multimedia Communications and Services. 14th International Workshop on* , vol., no., pp.257-260, 27-30 June 2007

[5] Priwgharm, R.; Chemtanomwong, P.;, (2011) "A comparative study on indoor localization based on RSSI measurement in wireless sensor network," *Computer Science and Software Engineering (JCSSE), 2011 Eighth International Joint Conference on* , vol., no., pp.1-6, 11-13 May 2011

[6] Karthick, N.; Prashanth, K.; Venkatraman, K.; Nanmaran, A.; Naren, J.; , "Location Estimation Using RSSI andApplication of Extended Kalman Filter in Wireless Sensor Networks," *Advanced Computer Control, 2009.ICACC '09. International Conference on* , vol., no., pp.337-341, 22-24 Jan. 2009

[7] Anzai, D.; Hara, S.; , "An RSSI-Based MAP Localization Method with Channel Parameters Estimation in WirelessSensor Networks," *Vehicular Technology Conference, 2009. VTC Spring 2009. IEEE 69th* , vol., no., pp.1-5, 26-29 April 2009

[8] Al Alawi, R.; , "RSSI based location estimation in wireless sensors networks," *Networks (ICON), 2011 17th IEEE International Conference on* , vol., no., pp.118-122, 14-16 Dec. 2011

PMBok x PRINCE2

Flávia David de Oliveira Gomes

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
flavia@cp2ejr.com.br

Prof. Msc. Guilherme A. Barucke Marcondes

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
guilherme@inatel.br

Víctor Hugo Rodrigues de Barros

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
victor.hugo@cp2ejr.com.br

Resumo **- Com o grande aumento da competição de mercado, o gerenciamento de projetos vem recebendo maior destaque entre as empresas. Minuciosas revisões da estratégia empresarial vêm acontecendo devido às necessidades impostas pelo mercado. Com o intuito de atender a essas demandas e também à estratégia das empresas, a gestão de projetos vem sendo aperfeiçoada, para que os objetivos de um projeto sejam alcançados. Para isso, o melhor gerenciamento dos riscos, do tempo e dos recursos disponíveis (de pessoal, orçamentário e físico), é essencial para se atingir a qualidade e o produto desejado, havendo assim várias metodologias que podem ser utilizadas no desenvolvimento de um projeto.**

Abstract **- With the great increase of market competition, the project management has received greater prominence among companies. Thorough reviews of business strategy are happening due to the needs imposed by the market. In strategy, project management has been improved, so that the objectives of the project are achieved. For this, the best risk management, time and available resources (staff, budget and physical), is essential to achieve the desired product quality and with so many methodologies that can be used in developing a project.**

Palavras Chave **- PMbok, Prince2, Gerenciamento de Projetos, Estratégia Empresarial, Mercado.**

Keywords **- PMBOK, Prince2, Project Management, Business Strategy, Marketing.**

I. INTRODUÇÃO

Atualmente, mudanças em diversos aspectos da vida humana (culturais, tecnológicos, políticos, econômicos, sociais) estão ocorrendo em velocidade cada vez maior. De uma maneira geral, é comum associarmos as mudanças significativas ao resultado de projetos. Como consequência, gerenciar projetos de forma eficiente nessa era de grandes mudanças é um dos grandes desafios do engenheiro dos tempos modernos. Superar esse desafio é estar preparado para gerenciar projetos de forma planejada e profissional.

Nesse contexto, estudar e comparar metodologias existentes em gerenciamento de projetos e verificar qual dentre estas é a mais eficiente pode ajudar as organizações na produtividade e qualidade dos produtos, aumentando a sua participação no mercado.

Portanto, neste trabalho será feita a comparação entre o guia PMBoK e a metodologia para gerenciamento de projetos PRINCE2. Como se pode notar, diferentemente do que pensam a maioria dos gerentes de projeto, o PMBoK não é uma metodologia e sim um conjunto de conhecimento em gerenciamento de projetos baseado em experiências e promovido pelo PMI (Project Management Institute).

O PRINCE2, ao contrário do PMBoK, é uma metodologia de gerenciamento de projetos que tem critérios para sua adaptação conforme o tipo de complexidade, servindo assim para qualquer tipo de projeto. Porém, o Prince2 também pode auxiliar projetos baseados no guia PMBoK.

O objetivo deste trabalho é verificar como se obter resultados mais satisfatórios nos projetos que seguem tais guia e metodologia citadas anteriormente e entender como funciona um gerenciamento de projetos que faz uso dos mesmos. Ao final de tal estudo, pode-se notar que ambos, tanto o guia PMBoK quanto a metodologia PRINCE2, podem caminhar separados ou em paralelo para obtenção de um projeto qualificado e satisfatório.

II. PROJECT MAGAGEMENT BODY OF KNOWLEDGE (PMBoK)

O PMbok é um guia que possui um conjunto de boas práticas aplicáveis amplamente à maioria dos projetos. Originado nos Estados Unidos, foi elaborado pelo PMI *(Project Management Institute)* e define gerenciamento de projetos como sendo uma aplicação de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas as atividades do projeto a fim de atender seus requisitos. Possui 44 processos divididos em nove áreas de conhecimento, elencadas a seguir. [1]

1. Gerenciamento da Integração do Projeto - Inclui os processos e as atividades necessárias para identificar, definir, combinar, unificar e coordenar os vários processos e atividades dos grupos de processos de gerenciamento.
2. Gerenciamento do Escopo - Descreve os processos envolvidos na verificação de que o projeto inclui todo o trabalho necessário para que seja concluído com sucesso.
3. Gerenciamento do Tempo - Descreve os processos necessários para assegurar a conclusão do projeto no prazo devido.
4. Gerenciamento dos Custos - Descreve os processos envolvidos no planejamento, estimativa, orçamento e controle dos custos de modo que o projeto termine dentro do orçamento estimado.
5. Gerenciamento de Qualidade - descreve os processos necessários para assegurar que todas as necessidades que originaram o desenvolvimento do projeto serão atendidas.
6. Gerenciamento dos Recursos Humanos - Descreve os processos que organizam e gerenciam a equipe proporcionando o uso mais efetivo das pessoas envolvidas no projeto.
7. Gerenciamento das Comunicações - Descrevem os processos relativos à geração, coleta, disseminação, armazenamento e destinação final das informações do projeto de forma oportuna e adequada.
8. Gerenciamento dos Riscos do Projeto - Descreve o processo sistemático de identificação, análise e resposta aos riscos do projeto.
9. Gerenciamento das Aquisições do Projeto - Descreve os processos necessários para a aquisição de produtos, serviços ou resultados, além dos processos de gerenciamento de contratos.

Em paralelo as áreas de conhecimento, há um grupo de processos que tem como objetivo manter a conexão com outros processos facilitando a coordenação do projeto ou produto. Por exemplo, uma mudança no escopo costuma afetar o custo do projeto, mas talvez não afete o plano de comunicações ou a qualidade do produto. Com frequência, essas interações entre processos requerem compensações entre os requisitos e os objetivos do projeto, e as compensações de desempenho especificas vão variar de um projeto para outro e de uma organização para outra. O gerenciamento de projetos bem-sucedido inclui gerenciar ativamente essas interações para cumprir os requisitos do patrocinador, do cliente e de outras partes interessadas.

Os processos de gerenciamento de projetos são agrupados em cinco categorias, conhecidas como grupos de processos de gerenciamento de projetos (ou grupos de processos):

1. Grupo de processos de iniciação - São os processos realizados para definir um novo projeto ou uma nova fase de um projeto existente através da obtenção de autorização para iniciar o projeto ou a fase.
2. Grupo de processos de planejamento - Os processos realizados para definir o escopo do projeto, refinar os objetivos e desenvolver o curso de ação necessário para alcançar os objetivos para os quais o projeto foi criado.
3. Grupo de processos de execução - Realizados para executar o trabalho definido no plano de gerenciamento do projeto para satisfazer as especificações do mesmo.
4. Grupo de processos de monitoramento e controle – São necessários para acompanhar, revisar e regular o progresso e o desempenho do projeto, identificar todas as áreas nas quais serão necessárias mudanças no plano e iniciar as mudanças correspondentes;
5. Grupo de processos de encerramento - Os processos executados para finalizar todas as atividades de todos os grupos de processos, visando encerrar formalmente o projeto ou a fase.

A figura a seguir detalha a relação entre áreas e processos de conhecimento.

	Iniciação	Planejamento	Execução	Monitoramento e Controle	Encerramento
Integração	4.1 Desenvolver o termo de abertura do projeto 4.2 Desenvolver a declaração de escopo preliminar do projeto	4.3 Desenvolver o plano de gerenciamento do projeto	4.4 Orientar e gerenciar a execução do projeto	4.5 Monitorar e controlar o trabalho do projeto 4.6 Controle integrado de mudanças	4.7 Encerrar o projeto
Escopo		5.1 Planejamento do escopo 5.2 Definição do escopo 5.3 Criar EAP		5.4 Verificação do escopo 5.5 Controle do escopo	
Tempo		6.1 Definição da atividade 6.2 Seqüenciamento de atividades 6.3 Estimativa de recursos da atividade 6.4 Estimativa de duração da atividade 6.5 Desenvolvimento do cronograma		6.6 Controle do cronograma	
Custos		7.1 Estimativa de custos 7.2 Orçamentação		7.3 Controle de custos	
Qualidade		8.1 Planejamento da qualidade	8.2 Realizar e garantia da qualidade	8.3 Realizar o controle da qualidade	
RH		9.1 Planejamento de recursos humanos	9.2 Contratar ou mobilizar a equipe do projeto 9.3 Desenvolver a equipe do projeto	9.4 Gerenciar a equipe do projeto	
Comunicações		10.1 Planejamento das comunicações	10.2 Distribuição das informações	10.3 Relatório de desempenho 10.4 Gerenciar as partes interessadas	
Riscos		11.1 Planejamento do gerenc. de riscos 11.2 Identificação de riscos 11.3 Análise qualitativa de riscos 11.4 Análise quantitativa de riscos 11.5 Planejamento de respostas a riscos		11.6 Monitoramento e Controle de Riscos	
Aquisições		12.1 Planejar compras e aquisições 12.2 Planejar contratações	12.3 Solicitar respostas de fornecedores 12.4 Selecionar fornecedores	12.5 Administração de contrato	12.6 Encerramento do contrato

Figura 1 – Áreas de conhecimento x Processos

III. PRINCE2

O PRINCE2 é considerado uma metodologia para a gestão de projetos e foi elaborado na Inglaterra para assegurar maior confiabilidade aos projetos, de qualquer natureza, desenvolvidos. Criado em 1989, define gerenciamento de projetos como planejamento, delegação, acompanhamento e controle de todos os aspectos do projeto e da motivação das pessoas envolvidas, a fim de atingir objetivos de desempenho esperado para o tempo, custo, qualidade, escopo, riscos e benefícios [2].

O PRINCE2 apoia-se em duas bases para seu funcionamento e aplicação. A primeira, conhecida como "temas" ou "componentes", tem como objetivo básico guiar os processos usados pela metodologia. Já a segunda, conhecida como "processos", define quais atividades serão utilizadas em cada fase do projeto.

Os temas são abordados da maneira como descrita a seguir.

1. *Business Case* - Estabelece os mecanismos que avalia se o projeto é, e continua sendo, desejável, viável e realizável pela organização com o propósito de apoiar as decisões de investimento nas suas atividades.

2. Organização - Desenvolve uma estrutura organizacional para o projeto, definindo responsabilidades e o relacionamento entre as diversas equipes do projeto.

3. Qualidade - Define e implanta os meios pelos quais o projeto irá criar e verificar os produtos certificando que os mesmos estão de acordo com a proposta inicial.

4. Plano - Objetiva definir meios que facilitarão a comunicação e o controle. Define o produto a ser realizado, as atividades pertinentes e quando elas serão realizadas, os recursos, o tempo e as pessoas necessárias, a sinergia necessária entre as atividades e os pontos a serem monitorados e controlados.

5. Risco - Controla e contém os riscos que podem influenciar e ter fortes impactos, positivos ou não, no projeto. Os riscos, de acordo com a metodologia, são os principais fatores a serem considerados e controlados durante o gerenciamento do projeto.

6. Mudança - Visa a analisar e avaliar os impactos causados pelas mudanças que ocorrem durante a execução do projeto.

7. Progresso - Estipula uma série de controles que apoiam a verificação do progresso do projeto, visando a prever quaisquer alterações que venham a ocorrer e controlando os desvios considerados inaceitáveis pelo projeto.

Além disso, o Prince2 fornece um conjunto de atividades para dirigir, gerenciar e entregar um projeto.

1. *Starting up a Project* – tem como objetivo prevenir e evitar que projetos mal concebidos sejam iniciados e também de garantir o início de projetos que trarão bom retorno a seu investidor.

2. Dirigindo o Projeto – Delega responsabilidade ao *Project Board* pelo sucesso do projeto. Atividades como autorizar o início do projeto, autorizar o projeto, autorizar o plano de estágio e execução e autorizar o fechamento do projeto estão vinculadas a esse processo.

3. Iniciando o Projeto – Seu intuito é estabelecer boa estrutura ao projeto, possibilitando uma boa compreensão do trabalho que necessita ser realizado para sua entrega. Atividades vinculadas: preparar estratégia de gestão da qualidade, preparar a estratégia de gerenciamento de comunicação, configurar o controle de projetos e criar o plano de projeto.

4. Controlando Estágios – Tem como principal papel a distribuição e divisão do trabalho, monitoramento do projeto, além de tomar ações corretivas quando necessário. Dessa forma, riscos e problemas podem ser mantidos sob controle. As principais atividades vinculadas são: autorizar um pacote de trabalho, rever o estado desses pacotes periodicamente, receber pacotes concluídos e fazer relatórios de desempenho.

5. Gerenciamento da Entrega do Produto – Processo utilizado com o intuito de controlar a ligação entre gerente do projeto e gestão da equipe a fim de entregar o trabalho do projeto.

6. Gestão do Limite de Estágios – Processo que garante o sucesso do atual estágio do projeto através da interação do gerente com o *Project Board*.

7. Fechamento do Projeto – Tal processo é capaz de reconhecer que os objetivos traçados no início do projeto foram alcançados, além de fornecer um ponto fixo onde a aceitação do projeto será confirmada. Atividades do processo: avaliar o projeto, entregar o produto e preparar um possível encerramento prematuro.

IV. PMBOK x PRINCE2

É evidente a importância de ambos os métodos para o ambiente gerencial de projetos. Cada um deles possui visões diferentes sobre um projeto e como gerenciá-lo a curto, médio ou longo prazo. Enquanto o PMBoK é largamente reconhecido nos EUA, o PRINCE2 é bastante aceito no Reino Unido e na Europa. O Prince2 é estruturado sobre sete componentes, que usados de forma consciente, permite reduzir largamente os riscos de um projeto. Por outro lado, o PMBOK, utiliza nove áreas que permitem um enfoque mais global sobre o projeto. Outro bom ponto de comparação é a questão didática. O PMBOK preocupa-se em manter uma boa didática a seus leitores mesmo que de forma teórica enquanto o PRINCE2 é mais direto e menos compreensível.

O objetivo das comparações é apontar diversas maneiras de se gerir um projeto, como aplicar da melhor maneira as metodologias e evidentemente apresentar pontos fortes e fracos de cada uma delas. Como comparar processo a processo não é o ideal, optou-se por comparar áreas de conhecimento. Com o intuito de facilitar a compreensão, uma ordem será adotada. Primeiro será apresentada uma área do PMBoK e posteriormente a equivalente do PRINCE2.

Integração x Mudanças e Controle

Integração

O gerenciamento de integração é composto por seis processos que são apresentados na Figura 2.

Figura 2 – Processos vinculados ao Gerenciamento de Integração [1]

Ele contém processos importantes e essenciais para a gestão do projeto. Os processos incluem elaboração de documentos como o termo de abertura do projeto, onde o seu início e execução são autorizados para que assim haja o desenvolvimento do plano de gerenciamento, que é de grande importância para o sucesso do projeto. *A posteriori*, há o acompanhamento da realização do trabalho definido no plano de gerenciamento, que pode gerar ações corretivas e preventivas, comumente necessárias durante o projeto onde há a necessidade de revisão e ajustes de suas atividades, a fim de controlar as mudanças do mesmo e encerrá-lo atendendo às expectativas e requisições do cliente.

Mudanças e Controle

Já as mudanças são inevitáveis durante a vida do projeto, além do que, todos os projetos necessitam de uma abordagem sistemática para identificar, avaliar e controlar os problemas que poderão resultar em mudanças. Entenda-se por problemas, qualquer evento relevante que pode vir a ocorrer, não programado e que requer ações dos gestores. Portanto, em um projeto, precauções precisam ser tomadas quando se trata de mudanças, com o intuito de avaliar e garantir que todas as questões que podem afetar suas linhas de base estão sendo controladas. O controle das mudanças no projeto, o gerenciamento das mudanças e configurações são definidas no processo “Iniciando o projeto” e revisadas, com atualizações, sempre que necessárias, ao fim de cada estágio.

Tabela I – Integração x Mudança e Controle

	Área de conhecimento	Diferenças	Similaridades
PMBoK	**Integração**	Está definido em todos os grupos de processos	Controlar o andamento do projeto com intuito de que o mesmo obtenha sucesso
PRINCE2	**Mudança e Controle**	Definido apenas no grupo "Iniciando o Projeto"	

Escopo, Tempo e Custos x Planos, Business Case e Progresso.

Escopo

O escopo do projeto de acordo com o PMBoK, assegura que o projeto inclui todo trabalho necessário, e apenas o necessário, para atingir seu objetivo com sucesso. Está totalmente relacionado com a definição de controle do que está e do que não está incluído no projeto.

Estão incluídos nesse gerenciamento a coleta de requisitos, que tem como objetivo documentar a necessidade das partes interessadas em alcançar o objetivo do projeto, a definição do escopo propriamente dita, que nada mais é que uma descrição detalhada do projeto ou produto, a criação de EAP (Estrutura Analítica do Projeto), que é um processo de subdivisão das entregar e do trabalho do projeto além de verificação e controle do escopo que formaliza a aceitação das entregas terminadas do projeto.

Tempo

O tempo inclui os processos necessários para gerenciar o término pontual do projeto. Faz definição de atividades que identificam ações específicas a serem realizadas, sequenciar as atividades que identifica e documenta relacionamentos entre as atividades do projeto, estimar os recursos e durações, desenvolver cronograma com intuito de analisar a sequência das atividades e controla-lo com intuito de monitorar o andamento do projeto.

Custos

Busca definir e gerenciar os processos necessários para assegurar que o projeto termine dentro do orçamento aprovado e previsto. Para facilitar o gerenciamento, existem alguns processos chave como, por exemplo: Estimativa de custos, orçamentação, e controle de custos.

Planos

Como base em qualquer projeto, os planos são de extrema importância. São extremamente detalhados quando se diz respeito à como, quando e por quem metas serão atingidas. Tais metas sendo produtos do projeto como prazos, custos e benefícios alcançados.

O PRINCE2 recomenda três níveis de planos para atender o gerenciamento. Esses planos estão apresentados na Figura 3.

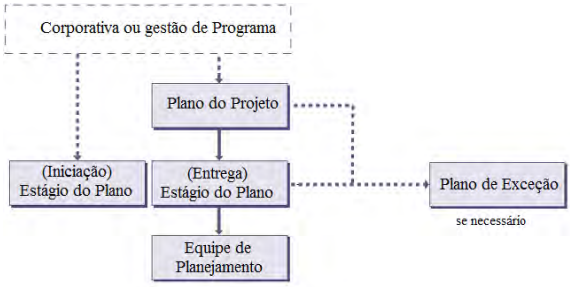


Figura 3 – Planos de atendimento ao gerenciamento [2]

Business case

Tem como objetivo apresentar justificativas para realizar e/ou dar continuidade a um projeto. O tema também analisa possíveis impactos que o projeto sofrerá se verificado a necessidade de mudanças ou caso enfrente algum risco.

O tema ainda objetiva obter informações corretas para que decisões possam ser tomadas, avaliar custo benefício do projeto, além de confirmar se objetivos foram alcançados buscando medidas confiáveis para comprovar tais benefícios.

Progresso

Visa a medir o progresso real do projeto se comparado às metas definidas no início deste. Toda medição é possível graças à delegação hierárquica de responsabilidades dentro do projeto.

Tabela II - Escopo, Tempo e Custos x Planos, Business Case e Progresso

	Área de conhecimento	Diferenças	Similaridades
PMBoK	**Escopo, Tempo e Custos**	Preocupa-se basicamente com construir a Estrutura analítica do projeto (EAP) aplicando a medida tempo a ela com o objetivo de reduzir custos	Controlar o andamento do projeto com intuito de que o mesmo obtenha sucesso
PRINCE2	**Planos, Business Case e Progresso**	Visa o custo benefício do projeto analisando o que foi planejado e através disso, avalia seu progresso.	

Qualidade x Qualidade

Qualidade

O PMBoK sugere a dedicação de um tempo extenso no controle da qualidade utilizando diversas ferramentas e técnicas para realizá-la, onde as mesmas são voltadas em grande parte para um ambiente de produto físico. Praticamente todas as entregas internas do projeto (aquelas necessárias para gerenciar o projeto em si) e muitos resultados intermediários e centrados no cliente, no entanto, são relatórios, especificações, gráficos, entre outros.

Qualidade

O PRINCE2 utiliza de uma excelente técnica para realizar o controle de qualidade de tais produtos – A revisão da qualidade. Onde a mesma estabelece as etapas e os recursos necessários para avaliar a conformidade dos resultados apresentados, utilizando a descrição de produtos como base para tal avaliação. Técnicas como esta para fornecer orientações sobre o manuseio dessa situação desafiadora de qualidade, são difíceis de encontrar. Esta técnica pode ser aplicada como um todo e utilizada em qualquer ambiente de projeto (uma capacidade compartilhada por outros aspectos do PRINCE2).

Tabela III – Qualidade x Qualidade

	Área de conhecimento	Diferenças	Similaridades
PMBoK	**Qualidade**	Utiliza de diversas ferramentas e técnicas, dedicando assim extenso tempo para realização do controle de qualidade. As mesmas são voltadas em grande parte para ambientes de produto físico.	Tanto o guia PMBoK quanto a metodologia PRINCE2 utilizam de técnicas para realização do controle de qualidade para obtenção de um projeto satisfatório e de sucesso.
PRINCE2	**Qualidade**	Utiliza de uma técnica principal para controle de qualidade: A revisão da qualidade. Esta técnica pode ser aplicada em qualquer ambiente de projeto.	

Risco x Risco

Risco

Assim como no PMBoK, para a metodologia Prince2, o gerenciamento de risco é uma parte essencial do gerenciamento de projeto, tendo em vista que um trabalho

projetizado é inerentemente menos previsível que um trabalho repetitivo. Para conter os riscos durante o projeto, eles devem ser gerenciados de uma maneira disciplinada.

PMBoK e o Prince2 abordam o gerenciamento de riscos de forma bem semelhante. Ambos acreditam que gestão de risco é uma aplicação sistemática de procedimentos com o objetivo de identificar e avaliar os riscos e, em seguida, planejar e implementar respostas a estes riscos para as ameaças e oportunidades identificadas. Porém o PMBoK divide os mesmos em subprocessos, sendo estes: identificação dos riscos, análise qualitativa de riscos, análise quantitativa de riscos , planejamento de respostas a riscos e monitoramento e controle de riscos, diferenciando-se assim do Prince2 que aborda os mesmos assuntos de forma objetiva e direta dentro de um único processo, sendo este, gestão de riscos.

Riscos

O PRINCE2 defende que é necessária a comunicação dos riscos, com o objetivo de assegurar que as informações relatadas dos riscos e das oportunidades enfrentadas pelo projeto serão passadas adiante para seus gestores e partes interessadas, detalhando assim separadamente cada qual e suas responsabilidades, diferente do guia PMBoK que não entra em profundos detalhes sobre os mesmos.

Ao estudar o guia PMBoK e a metodologia Prince2 a principal diferença que pode ser notada entre os mesmos é que o PMBoK abrange todos os assuntos de forma extensa e igual, enquanto o PRINCE2 dentre todos os processos demonstra que o processo de risco é o mais importante dentro de um projeto decorrente dos impactos que o mesmo pode causar no projeto.

Tabela IV – Risco x Risco

	Área de conhecimento	Diferenças	Similaridades
PMBoK	**Risco**	Divide gestão de riscos em 5 subprocessos de forma extensa. Trata este processo como todos os outros encontrados no guia.	Julgam a área de conhecimento uma parte essencial do gerenciamento de projetos. Ambos possuem o objetivo de identificar e avaliar os riscos e, em seguida, planejar e implementar respostas a estes riscos para as ameaças e oportunidades identificadas.
PRINCE2	**Risco**	Aborda o assunto objetivamente dentro de um único processo. Demonstra que o processo de risco é o mais importante dentro de um projeto.	

Comunicações x Mudanças

Comunicações

O gerenciamento das comunicações do projeto contido no guia PMBOK inclui os processos necessários para assegurar que as informações do projeto sejam geradas, coletadas, distribuídas, armazenadas, recuperadas e organizadas de maneira oportuna e apropriadas. Os processos incluem os seguintes itens: identificar as partes interessadas, Planejar as comunicações, distribuir as informações, gerenciar as expectativas das partes interessadas, reportar o desempenho.

Dentro de cada item o guia oferece as ferramentas e técnicas a serem utilizadas para que haja comunicação eficiente entre todas as partes interessadas durante todo o ciclo de vida do projeto. Quando se refere à comunicação, quer dizer que todas as informações do projeto estão sendo passadas para os devidos responsáveis e interessados, sejam informações de mudanças ou não.

Mudanças

Em contrapartida, o Prince2 destina tempo específico para relatar, explicar e demonstrar sobre como deve ser feita a comunicação das mudanças do projeto. O objetivo com essa técnica é controlar as mudanças, verificando e validando seu impacto.

O fato de o Prince2 ter uma área específica para gerenciamento de mudanças ajuda no sucesso do projeto, pois como há de perceber, durante a execução de um projeto é quase evidente de que mudanças sempre ocorrerão e que, a comunicação das mesmas é muito importante para a realização eficaz do projeto, pois desta forma diminui a probabilidade de falhas, tempo e custo, chegando assim ao ponto importante e primordial de um projeto que é a obtenção de satisfação do cliente. Porém, a comunicação de um projeto não é importante apenas quando há mudanças sobre o mesmo, portanto quando o fator é a comunicação geral de um projeto, o guia PMBOK possui maiores vantagens e eficiência.

Tabela V – Comunicações x Mudanças

	Área de conhecimento	Diferenças	Similaridades
PMBoK	**Comunicações**	Este processo é focado na comunicação geral do projeto, ou seja, que qualquer tipo de informação seja passada para as partes interessadas. Utiliza de ferramentas, recursos e divide esta área em 5 itens para melhor estudo e esclarecimento.	Ambas as áreas destinam processo para comunicação do projeto, Porém, cada qual de sua maneira.
PRINCE2	**Mudanças**	Foca especificamente na comunicação das mudanças durante todo o ciclo de vida do projeto.	

Recursos Humanos x Organização

Diferente do PMBOK, o Prince2 não possui a área de conhecimento de Recursos humanos. Porém, há a área de organização que abrange o assunto de forma semelhante e limitada fazendo com que seja possível a comparação entre ambos.

Para todo projeto faz-se necessário orientação, gestão, controle e comunicação que só será possível fazendo-se uso de uma estrutura organizacional bem definida e eficaz. Essa estrutura é baseada em um cliente e, ou, fornecedor.

Recursos Humanos

Para isso o guia PMBOK, divide em processos o gerenciamento de recursos humanos, onde estes são necessários para proporcionar a melhor utilização das pessoas envolvidas no projeto por meio da organização e gerenciamento da equipe. Os principais processos que proporcionam o gerenciamento são: Planejamento de recursos humanos, contratar ou mobilizar a equipe do projeto, Desenvolver a equipe do projeto e gerenciar a equipe do projeto. Os mesmos abordam sobre a importância de documentos, recursos, ferramentas e técnicas a serem utilizadas em cada parte dos processos com o intuito principal de melhorar as competências e a interação de membros da equipe aprimorando o desempenho das pessoas e do projeto andando em paralelo com o acompanhamento de tal desempenho para que seja possível coordenar as mudanças que puderem vir a serem feitas.

Organização

Em contrapartida, a estrutura de gerenciamento do Prince2 tem o intuito de definir de forma objetiva as responsabilidades, os limites de autoridade, as habilidades, os conhecimentos, experiências e o relacionamento de todas as funções dos gerenciadores e responsáveis pelo projeto. Um dos princípios fundamentais da estrutura organizacional é que deve ser constituída em quatro níveis, sendo eles: Corporativa ou Gestor do Programa, Direção do projeto, gerente e membros da equipe. Onde dentro de cada nível há uma explicação sobre os responsáveis e seus objetivos. As responsabilidades concernentes às atividades organizacionais são distribuídas pelo seu time de gestão.

Tabela VI – Recursos Humanos x Organização

	Área de conhecimento	Diferenças	Similaridades
PMBoK	Recursos Humanos	Divide em 4 processos o gerenciamento de recursos humanos para proporcionar melhor utilização das pessoas envolvidas no projeto e melhor organização e gerenciamento da equipe.	Ambos possuem estrutura organizacional. Porém, cada qual da sua maneira.
PRINCE2	Organização	Divide em 4 níveis a estrutura organizacional. Define de forma objetiva as responsabilidades e afins de todos os gerenciadores e responsáveis pelo projeto.	

Aquisições

A metodologia Prince2 não possui e não há nenhuma outra área de conhecimento que possa ser comparada com a área de Gerenciamento das aquisições do projeto do guia PMboK. Portanto, com o intuito de se finalizar o estudo de cada área especificamente, será dado uma explicação sobre o área citada acima do guia PMBoK.

O Gerenciamento de aquisições, segundo o PMBoK, descreve os processos envolvidos na compra ou aquisição de produtos, serviços ou resultados para o projeto. Onde o mesmo inclui: Planejar, conduzir, administrar e encerrar aquisições.

Planejar as aquisições: este processo tem como objetivo de identificar fornecedores e determinar o que comprar ou adquirir, quando e como realizar esta aquisição. Para isso, é feito o uso de documento e recursos necessários para a realização de tal planejamento, além das ferramentas que serão utilizadas para obtenção do resultado esperado.

Realizar as aquisições: Este é o processo necessário para obter informações, cotações, licitações, ofertas ou propostas dos fornecedores. Para a realização deste processo, também se utiliza documentos e recursos necessários.

Administrar as aquisições: É o processo onde é feito o monitoramento do desempenho do contrato e realização de mudanças e correções conforme necessário. Gerencia o contrato e a relação entre o comprador e fornecedor. Não diferente dos processos anterior, o mesmo também possui seus documento, recursos e ferramentas.

Encerrar aquisições: Processo onde se finaliza todas as aquisições do projeto, cada contrato e a resolução de quaisquer itens em aberto. Todos os processos interagem entre sim e com os processos das outras áreas de conhecimento. Utilizam de ferramentas, recursos e documentos para finalização das aquisições.

Diante de tal explicação é evidente a importância de tal área para a realização total de um projeto, dado que em todo projeto é necessário a aquisição de serviços e produtos. Portanto, neste ponto o guia PMBoK possui maior vantagem perante a metodologia Prince2.

IV. CONCLUSÕES

O PMBOK apresenta uma linguagem mais clara e de fácil acesso. Além disso, está organizado de forma mais didática, facilitando a compreensão e sua aplicação. É mais abrangente na abordagem sobre como realizar uma gestão de projetos, apresentando, de uma maneira mais ampla, diretrizes e conhecimentos a serem aplicados para o gerenciamento de projetos de uma forma global. O PMBOK requer para sua implantação de conhecimentos prévios sobre ferramentas e técnicas, associadas à gestão de projetos, que não estão explícitas no conteúdo do método e dependerão do conhecimento do profissional ou usuário. Esse detalhe foi completamente visível após as extensas leituras. Ler o PMBoK não garantirá a ninguém o sucesso na gestão de um projeto.

Apesar de determinadas dificuldades relativas ao pleno entendimento do PRINCE2, exigindo dos usuários, muitas vezes, uma bagagem de conhecimentos e experiência mais

significativa do que a do PMBOK, o PRINCE2 apresenta outras vantagens quando aborda a gestão de riscos, para a entrega dos produtos previstos, por meio de uma visão prática, apresentando inclusive ferramentas e técnicas úteis, bem como sugestões de aplicação e experiências de outros usuários.

O ponto mais incomum entre as duas metodologias é o fato de ambas poderem ser aplicadas a qualquer tipo de projeto independente do seu nível de detalhes. Evidentemente, por possuir uma maior gama de processos e áreas de conhecimento, é mais difícil utilizar o PMBoK em um projeto mais simples.

Contudo, com os pontos expostos nesse artigo, pode-se concluir que existe uma grande compatibilidade entre as metodologias. Apesar de serem frequentemente interpretadas como sendo metodologias de gerenciamento de projetos concorrentes, nota-se, porém, que estas apresentam, por vezes, fundamentos, técnicas, processos e práticas que se integram, proporcionando, um em relação ao outro, conteúdos complementares úteis e necessários para se realizar uma adequada gestão de projetos.

REFERÊNCIAS

[1] PMI, A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK GUIDE), 4ed, 2008.

[2] Prince2.com, What is Prince2. Disponível em: <http://www.prince2.com/what-isprince2.asp>. Acesso em: 20 ago. 2012

Utilização prática de ferramenta para análise de qualidade subjetiva de voz em redes de pacotes (VoIP)

Victor Ferreira Almeida Mota
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
Victor_sjdr@hotmail.com

Rinaldo Duarte Teixeira de Carvalho
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
Rinaldo@inatel.br

***Resumo* – Este artigo contém informações e conhecimentos da tecnologia Voz sobre IP. Com ênfase na codificação do sinal de voz, no estudo dos parâmetros de QoS abordando os Serviços Diferenciados (DiffServ), e os tipos de Redes de Comutação. Métodos de avaliação de codec, dividindo em testes subjetivos e objetivos**
***Palavras-chave* – VoIP, Codec, QoS, Comutação, MOS, PSQM, PESQ.**

I. Introdução

A. Necessidades e características

O Serviço VoIP foi desenvolvido ao longo da década de 90. Hoje, devido aos acessos de banda larga domésticos não só no Brasil mas também em outros países do mundo, esse novo meio de comunicação tem se expandido entre os usuários domésticos porém, o grande forte dessa tecnologia é a redução de custos que pode ser atingida por uma empresa de telecomunicações ou até mesmo empresas que não são desse ramo mas que precisam interligar seus escritórios espalhados geograficamente.

Fig. 1. Integração Telefone/Computador por meio do VoIP.

Artigo recebido em 02 de Abril de 2013; revisado em 02 de Abril de 2013. V. F. A. Mota (victor_sjdr@hotmail.com) e R. D. T. Carvalho (rinaldo@inatel.br) pertencem ao Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel. Av. João de Camargo, 510 - Santa Rita do Sapucaí - MG - Brasil - 37540-000.

Com essa evolução, a comutação por circuitos (rede telefônica) onde necessita de um meio dedicado está perdendo seu lugar e com o passar do tempo está dando lugar para a comutação por pacotes (voz sobre rede de dados) no qual não necessita de um caminho dedicado entre os usuários resultando em um melhor aproveitamento da capacidade da rede. A evolução também é vista a partir dos codecs onde a compreensão do sinal de voz é uma forma de codificar um certo conjunto de informações de maneira que o código gerado seja menor que o fonte.

II. Codificação do Sinal de Voz

A. Definição dos codificadores de áudio (codec)

Um codec de áudio é um dispositivo que irá codificar/decodificar dados de áudio digital de acordo com um determinado tipo de arquivo de áudio. O objetivo do algoritmo de um codec é representar os sinais importantes do áudio com a quantidade mínima de bits (compressão). Isto pode efetivamente reduzir o espaço de armazenamento e a largura de banda exigidos para transmissão do arquivo de voz armazenado.

B. Codificadores para o sinal de voz

As técnicas de codificação do sinal de voz são usadas tanto para a transmissão quanto para o armazenamento compacto de sinais de voz. Há vários tipos de codificadores para a voz e cada um com sua taxa de transmissão, nível de complexidade, tamanhos de amostras de voz (payload) resultando em um tempo de pacote. O codec PCM (G.711) define uma representação de voz não compactada cujo a taxa de transmissão será de 64Kb/s. O mais utilizado para voz com compressão será o CS-ACELP (G.829) cujo a taxa de transmissão será de 8Kb/s. O mesmo representa um resultado na escala do percentual de avaliação da qualidade da conversa (PESQ) próximo ao do sistema PCM onde a não há compactação da voz.

III. Qualidade de Serviço (QoS)

A. Definição de QoS

Define-se Qualidade de Serviço como a capacidade de transporte de informação pelos elementos da rede com um nível pré-estabelecido, previsível e consistente. Para que o protocolo IP possa ser usado para a integração de serviços existe a necessidade da garantia da QoS.
O objetivo da garantia de QoS nas redes IP é fazer com que esta rede possa ser usada para o transporte das mais variadas informações, mas mantendo o comportamento esperado por cada cliente destes serviços.

B. Parâmetros de QoS

A indicação dos parâmetros de Qualidade de Serviço necessários a uma aplicação de Voz sobre IP (VoIP) para que esta possa ser executada de forma satisfatória são indicados através de uma SLA (Service Level Agreement – Solicitação de Nível de Serviços). O SLA é definido em contrato da prestadora de serviços e o cliente para que os parâmetros de QoS sejam garantidos. Caso aconteçam falhas no serviço prestado (ou na qualidade do serviço) haverá uma penalidade para o contratante.
Para que a prestadora de serviço possa garantir a QoS a todos os clientes (conforme especificado em contrato) ela devera definir uma série de procedimentos de gerencia de rede (Service Level Management).Os principais parâmetros de QoS são:

•Largura de Banda ou Vazão – Indica a capacidade de transmissão de dados necessária.
•Atraso – Indica o tempo gasto para que uma informação seja entregue pela rede ao destino final.
•Jitter – É a parcela variável, principalmente em função do tráfego na rede, do atraso.
•Taxa de Erros – Indica a incidência de erros nas informações transmitidas.
•Disponibilidade – Capacidade da rede de transportar informações em um determinado instante.
•Perda de pacotes – Durante as transmissões quando a rede estiver congestionada, alguns pacotes podem ser perdidos durante as transmissões. Atualmente qualquer serviço de comunicação precisa de um tipo de comutação para fazer a transmissão do sinal analógico ou do sinal digital. Cada modo explora a característica de cada transmissão para se ter uma transmissão de certo modo próximo a transmissão perfeita, (sem atraso, perdas, etc).

No mínimo, as aplicações sempre precisam de vazão e no caso da tecnologia VoIP precisamos sempre ter um atraso mínimo, jitter baixo e perda de pacotes mínima para uma perfeita comunicação de voz.

C.Técnicas de Implementação de QoS

A solução de Serviços Diferenciados provê QoS em uma rede IP a partir de um mecanismos de priorização. Esta solução não faz uso de nenhum tipo de reserva de capacidade da rede, apenas prioriza determinados tráfegos. A priorização pode ser feita a partir de uma indicação no cabeçalho IP no campo DSCP (Differentiaded Services Codepoint) que foi definida pelo IETF através da recomendação 2474.
Na definição dos Serviços Diferenciados estão previstos 3 níveis de encaminhamento,sendo eles:

•Encaminhamento Expresso – Mais adequado para aplicações ponta a ponta que necessitam de pouca perda,baixo atraso e taxa de transmissão garantida.
•Encaminhamento Assegurado – Se aproxima ao de uma rede com pouco tráfego, mesmo nas situações de congestionamento. Esse mecanismo classifica as informações dentro de um conjunto de 4 classes e em cada uma dessas classes existem 3 níveis de prioridade. Podem ser usados vários parâmetros como referência para a classificação, como endereços de origem e destino, tipo de serviço, protocolo de transporte, etc.
•Melhor Esforço – Este é o nível de QoS oferecido por uma rede IP sem que nenhum mecanismo de garantia de QoS seja implementado.É o comportamento observado pela internet e o possui o nível mais baixo de QoS.

Vale ressaltar que em uma rede qualquer, existem roteadores que consegue distinguir a diferenciação da rede como também há roteadores que não conseguem fazer essa diferenciação no serviço resultando em um tratamento igual para qualquer dispositivo da rede.

IV. Redes de Comutação

A. Definição de Redes de Comutação

Atualmente qualquer serviço de comunicação precisa de um tipo de comutação para fazer a transmissão do sinal analógico ou do sinal digital. Cada modo explora a característica de cada transmissão para se ter uma transmissão de certo modo próximo a transmissão perfeita, (sem atraso, perdas, etc).

B. Tipos de Redes de Comutação

•Redes de Comutação de Circuitos – Após o estabelecimento da conexão, os recursos são alocados somente para esta ligação, tem como vantagem uma capacidade de transmissão sempre disponível e uma desvantagem como o desperdício da capacidade do meio se o tráfego não for constante. Como exemplo tem-se a rede telefônica que funciona através da comutação de circuitos.
•Redes de Comutação de Mensagens – A comutação de mensagens trata cada mensagem como uma entidade independente. Cada mensagem contém informações de endereço que descrevem o destino da mensagem dentro da rede. A vantagem é que tem um melhor aproveitamento da capacidade da rede e sua desvantagem é que as grandes mensagens levam muito tempo para serem entregues.
•Redes de Comutação de Pacotes – A comutação de pacotes seria a solução para a desvantagem da comutação de mensagens. As mensagens são divididas em pacotes menores e tem como vantagem a melhoria do desempenho da rede de comutação de mensagens.

C. Modos de Comutação de Pacotes

•Datagrama – O modo datagrama, significa que o serviço trata cada pacote como uma mensagem independente. Cada pacote é roteado independentemente na inter-rede e cada roteador decide qual segmento da rede deve ser adotado na próxima etapa da rota de rede. Este modo é critico para aplicações em voz e tem como exemplo a ser dado a internet.

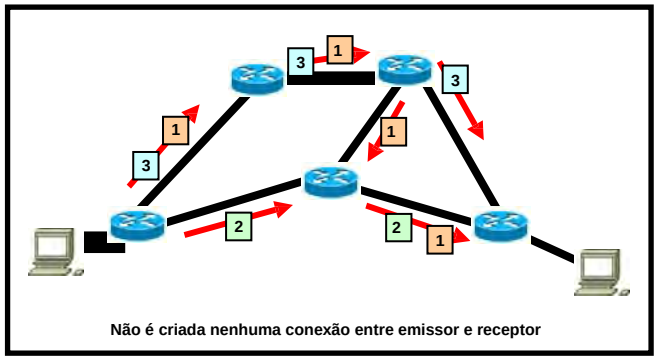


Fig. 2. .Imagem ilustrativa do funcionamento do método datagrama.

•Circuito virtual – O modo circuito virtual, significa que a rede se comporta como um circuito físico dedicado, estabelecido entre os dispositivos que estão se comunicando. Quando os dispositivos iniciam uma sessão, eles negociam os parâmetros do tamanho máximo de mensagens, janelas de comunicação, caminhos de rede, etc.

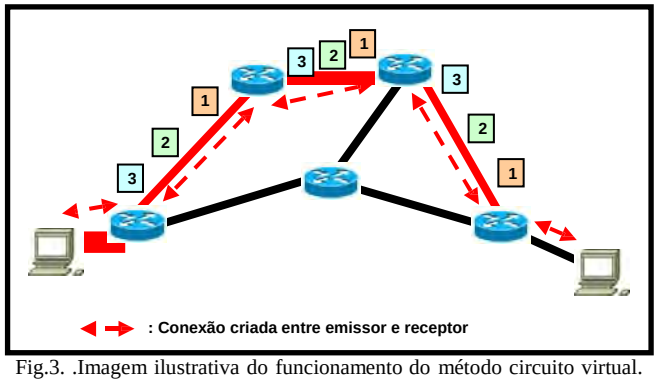


Fig.3. .Imagem ilustrativa do funcionamento do método circuito virtual.

No caso da transmissão de voz, o modo a ser utilizado será a comutação de pacotes por circuito virtual. Onde se estabelece uma rota fixa para a transmissão e a os pacotes irão chegar em ordem correta para não causar um erro na comunicação.

V. Avaliação dos Codecs

A. Intenções da avaliação de codecs

O avanço das técnicas de processamento digital de sinais proporcionou um crescente interesse em métodos e dispositivos de codificação de voz mais eficientes. A avaliação da qualidade de codecs de voz é necessária para o desenvolvimento destes dispositivos e também para o projeto de redes digitais de telecomunicações [1].

B. Diferentes formas de qualificação

Existem modelos subjetivos onde a partir da avaliação da percepção de qualidade de voz por pessoas obtêm-se um resultado, e modelos objetivos que a partir de algoritmos computacionais estimam a capacidade de percepção do áudio utilizando diversos fatores como, por exemplo, o conhecimento das características sonoras de diferentes línguas.

O critério de qualidade varia de acordo com a aplicação pretendida e com o público usuário, que pode ser mais ou menos exigente, dependendo de suas características culturais além de que cada região tem sua língua, dialeto o que influência na análise de QoS. Com isso faz se o uso de medições subjetivas, especialmente em casos em a confiabilidade do sistema deve ser alta.

O fato de ter um custo, complexidade e tempo demandado para poder ter um resultado por meio subjetivo faz-se mais o uso da realização de medidas objetivas que estimem a qualidade subjetiva de maneira eficiente.

C. Análise Subjetiva

• MOS (Mean Opinion Score)

A escala MOS faz-se uma analogia a um grau de satisfação do ouvinte o qual avalia parâmetros como inteligibilidade, conforto, identificação dos interlocutores. Esta avaliação é obtida a partir de pessoas isentas e tem como ponto negativo a questão de ser um processo caro e demorado.

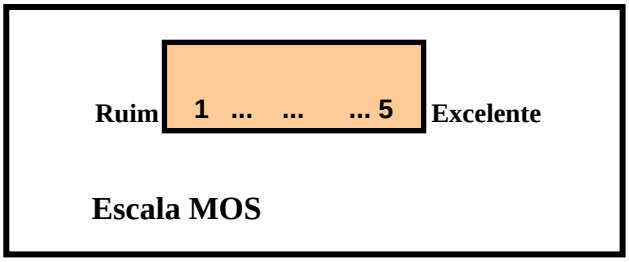


Fig.4. .Classificação MOS.

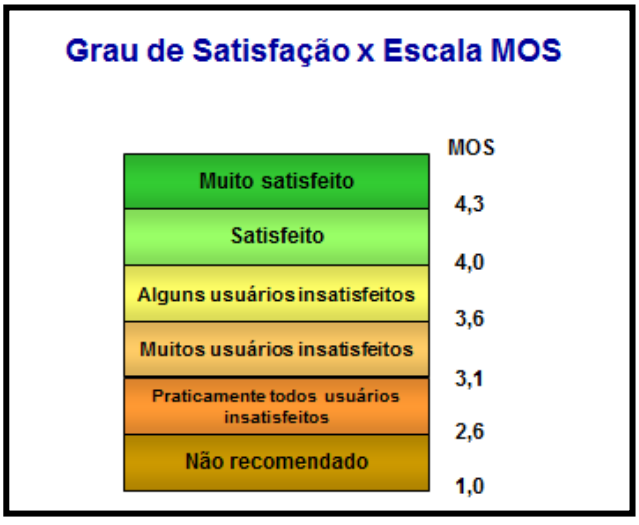


Fig.5. .Comparativo da Escala MOS com o Grau de Satisfação.

D. Análise Objetiva

• PSQM (*Percentual Quality Measurement*)

O método PSQM (Perceptual Speech Quality Measure) foi desenvolvido por John G. Beerends e J.A. Stemerdinks do KPI Researches, em reposta a necessidade de haver um método objetivo que avaliasse a qualidade de fluxos de voz. Publicado pelo ITU como Recomendação P.861 [2] em 1996 tem grande aceitação como uma medida consistente e eficaz baseada em fatores de percepção humana.
O PSQM é um processo matemático que provê a medição da qualidade subjetiva da fala. O objetivo é produzir scores confiáveis que predizem valores de testes subjetivos (MOS). No entanto os scores PSQM têm uma escala diferente e refletem a medida de distância perceptual, isto é, os scores PSQM refletem quantitativamente a divergência de um sinal original de um sinal distorcido, uma vez que este foi presumidamente processado por algum sistema de telefonia. Com isso o PSQM não considera as degradações provocadas pela rede ao sinal de voz, ele compara matematicamente o stream transmitido com o stream recebido.

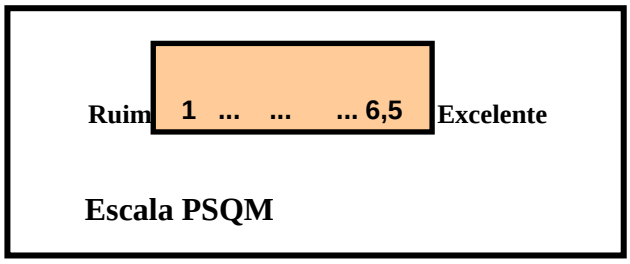


Fig.5. .Classificação PSQM.

O valor PSQM pode ser convertido para a escala MOS de acordo com a equação abaixo, apesar de que existem outras fórmulas de relacionar ambas avaliações.

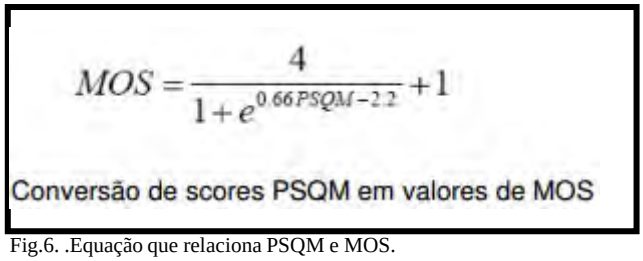


Fig.6. .Equação que relaciona PSQM e MOS.

• PSQM+ (*Percentual Quality Measurement Plus*)

Apesar de ter se mostrado um método com alta correlação entre medidas subjetivas e objetivas, o PSQM não se mostrou eficaz nos casos em que os sinais de voz continham supressão de trechos de voz e/ou distorções provocadas por excesso de volume. Em outras palavras, PSQM poderia reportar uma melhor qualidade sobre estas condições as quais um ouvinte poderia atribuir. Fez-se então necessário um aperfeiçoamento, tendo como resultado o PSQM+.
A escala PSQM+ passa a considerar as degradações inseridas pela rede durante a transmissão do fluxo de bits. Degradações, como o *jitter*, passam a ser considerados.

• PESQ (*Perceptual Evaluation of Speech Quality)*

O PESQ é o atual padrão da ITU-T para avaliação de Codecs de voz. (Recomendação P.862.1). Prevê avaliações de voz em faixa larga (8KHz) P.862.2. Diferentemente dos outros modelos de avaliação de codecs, como o PSQM e PSQM +, o PESQ é capaz de estimar a qualidade subjetiva da voz com uma boa correlação e considerando uma grande variedade de condições, que podem incluir desde distorções de codificação, erros, ruídos, filtragem, atraso e atraso variável.
O PESQ reúne as melhores características do PAMS e PSQM, combinando a técnica robusta de time-alignment do PAMS com o eficiente modelo perceptual do PSQM, e adiciona novos métodos incluindo equalização de função transferência e novo método para cálculo da média da distorção sobre o tempo.
O PESQ apresenta precisão aceitável em seus resultados, quando a clareza da voz é afetada pelos seguintes processos ou parâmetros [3]:
• Codecs de forma de onda (por exemplo, G.711, G.726 e G.727);
• Codecs híbridos (a partir de 4kbps) incluindo aqueles de múltiplas taxas de transmissão (exemplos: G.728, G.729 e G.723.1);
• Transcodificações (conversão de um formato digital para outro);
• Erros no canal de transmissão;
• Efeitos da variação do atraso em testes apenas de escuta;
• Perda de pacotes/células;
• Ruído ambiente no lado transmissor;
• Taxa de transmissão nos casos de codecs com mais de um modo de operação;
• Deformações temporais do sinal de áudio.

IV. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que testes de avaliação subjetiva da qualidade de serviço de voz representam claramente a sensibilidade do usuário quanto à qualidade, mas estes apresentam baixa escalabilidade e custo elevado, obrigando a procurar alternativas para que auxilie nesta avaliação.

Os métodos subjetivos vão de encontro com esta necessidade, seja utilizando métodos perceptuais, que se baseiam nas características fisiológicas do ser humano, ou através de detalhes particulares de cada língua diferente.

De acordo com o que foi verificado neste artigo, pode-se afirmar que entre os métodos de avaliação objetiva de qualidade de fluxo de voz baseados em modelos perceptuais, o PESQ apresenta maior correlação, com os resultados de testes subjetivos, sendo o mais indicado, apesar de sua eficácia está também relacionada com a rede em avaliação.

Como o mundo hoje tende cada vez mais a convergir às pessoas terem telefones inteligentes com conexões de Internet sem fio, o VoIP vai oferecer aos consumidores muitas opções para chamadas de telefone sem fio. Chamadas de VoIP feitas de um smartphone habilitado para Internet custam muito menos do que chamadas de telefone celular normal e telefone fixo.

REFERÊNCIAS

[1] Leandro Andrada Roda Marinho, Metodologias de Avaliação de Qualidade de Fluxos de Voz, Artigo, Universidade Federal Fluminense UFF, Niterói 2007;

[2] ITU-T Recommendation P.861, Objective quality measurement of telephone-band speech codecs. Genève 1996;

[3] Arthur Callado, Gabriel Fernandes, Auristela Silva, Rodrigo Barbosa, Djamel Sadok e Judith Kelner, Construção de Redes de Voz sobre IP, Minicurso VoIP - SBRC – Pará, 2007;

[4] Orientações de Mário Ferreira Especialista em Redes VoIP do Inatel Competence Center;

[5] ITU-T Recommendation P.862, Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs. 2001

Reconhecimento de Locutor Usando Misturas de Gaussianas

Alessandra Adami Pinto
Instituto Nacional de Telecomunicações
alessandra@gec.inatel.br

Carlos Alberto Ynoguti
Instituto Nacional de Telecomunicações
ynoguti@inatel.br

***Resumo*—O presente artigo descreve um sistema de identificação de locutor baseado em modelos de misturas de gaussianas (GMM), que opera em tempo real. Estudos sobre o número ótimo de gaussianas também foram realizados, levando em consideração a quantidade de material de treinamento, o desempenho na taxa de reconhecimento e o tempo de processamento.**

***Palavras chave*—biometria, GMM, reconhecimento de locutor.**

***Abstract*—The present paper describes a speaker's recognition system, that works in real time and is based on Gaussian Mixture Models GMM. Also, studies were performed to define the optimal gaussian number in the mixture based on the available training material, recognition performance and running time.**

***Keywords*—biometrics, GMM, speaker recognition.**

I. Introdução

A identificação de pessoas através de suas características físicas e comportamentais é chamada de Biometria, e está se tornando cada dia mais presente em nossa vida corriqueira. Hoje a biometria é usada na identificação criminal, controle de acesso, e em várias outras aplicações.

A origem da palavra Biometria é grega, *bios* (vida) e *metron* (medida). Apesar de sua própria procedência já ser capaz de defini-la, seu significado formal pode ser obtido em [1] como "Ramo da ciência que estuda a mensuração dos seres vivos" e, ainda, a Biometria estatística, que é a "Parte da estatística que investiga atributos biológicos quantitativos pertinentes a uma população de seres vivos".

Há duas formas de classificação biométrica, uma baseada nas características físicas do indivíduo e outra, baseada em seu comportamento. Dentre as características físicas humanas, o reconhecimento da íris, do formato do rosto, da posição de veias, de retina, do DNA e do formato da mão, são alguns exemplos. As particularidades comportamentais dizem respeito à maneira como as pessoas se expressam: o jeito de andar, a forma de digitação e a grafia representam essa categoria.

Os sistemas biométricos não são totalmente precisos, pois os seres humanos são inconstantes, o que significa que as suas características físicas e comportamentais mudam naturalmente com o tempo, doenças, fatores emocionais, dentre outros, e portanto, tais sistemas devem ser capazes de aceitar essas mudanças.

A voz possui características de ambas as formas: quando se avaliam as características acústicas da fala, esta se classifica como uma característica física do indivíduo. Por outro lado, o ritmo da fala, e as formas dialetais utilizadas pelo indivíduo, são classificadas como características comportamentais.

Neste trabalho é proposto um sistema biométrico por voz, onde são utilizadas as características físicas da pessoa para sua identificação. Este é baseado em modelos de misturas de gaussianas e parâmetros mel-cepstrais, e pode operar em tempo real na maioria dos computadores pessoais disponíveis atualmente.

O artigo está organizado da seguinte maneira: na seção II será feita uma breve introdução sobre biometria, seus aspectos e formas principais. A biometria por voz é apresentada na seção III, e os modelos de misturas de gaussianas são apresentados na seção IV. O sistema desenvolvido é apresentado também na seção IV, e os testes de desempenho na seção V. Por fim, as conclusões são apresentadas na seção VI.

II. Biometria

Existem dois problemas principais na biometria: identificação e verificação [3].

No primeiro, a identificação, procura-se responder à pergunta: "quem é você?" Neste caso, após recolher a amostra biométrica (voz, impressão digital. etc.) o sistema a compara com os vários padrões armazenados (pessoas que podem ter acesso a um determinado sistema, por exemplo), atribuindo a identidade da pessoa ao padrão mais próximo.

Já na verificação, procura-se responder à pergunta: "você é quem diz ser?" Neste caso, o sistema biométrico já possui a identidade proclamada da pessoa. A tarefa consiste então em validar ou não esta identidade. Para isso, deve comparar a característica sendo medida com um padrão armazenado. Se estas forem próximas o suficiente, então o sistema decide que esta pessoa é realmente quem diz ser. Este trabalho refere-se especificamente sobre esta forma de biometria.

Há dois tipos de erros que os sistemas de verificação podem cometer: o de falsa aceitação e o de falsa rejeição. A falsa

A. A. Pinto (alessandra@gec.inatel.br) é aluna do Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel. Av. João de Camargo, 510 - Santa Rita do Sapucaí - MG - Brasil - 37540-000.

aceitação ocorre quando um impostor consegue ludibriar o sistema, ou seja, ele é aceito como se fosse a pessoa que está tentando se passar; por outro lado, a falsa rejeição ocorre quando a própria pessoa é classificada como uma impostora.

Os sistemas de verificação em geral têm o seu desempenho avaliado segundo a Curva DET (Detection Error Tradeoff) [4]. Nessa curva são plotadas a probabilidade de falsa aceitação (miss probability) contra a probabilidade de falsa rejeição (false alarm probability).

Obviamente estes dois parâmetros dependem de um limiar de aceitação definido pelo sistema: se este for muito alto, então a probabilidade de falsa aceitação diminui, mas a probabilidade de falsa rejeição aumenta, e vice-versa. Portanto, deve-se encontrar um ponto de equilíbrio entre eles, chamado de *Crossover Error Rate*, também chamado de ponto de operação, onde estas duas probabilidades são próximas. É fácil verificar que quanto menor for o CER, mais preciso será o sistema biométrico [5].

A curva DET é plotada variando-se esse limiar e quanto melhor o desempenho do sistema, mais próxima da origem (ponto no canto inferior esquerdo do gráfico) tem-se sua curva. Na Figura 1, é possível observar três curvas DET para avaliação de reconhecimento de locutor. Os CER's de cada curva são identificados com círculos.

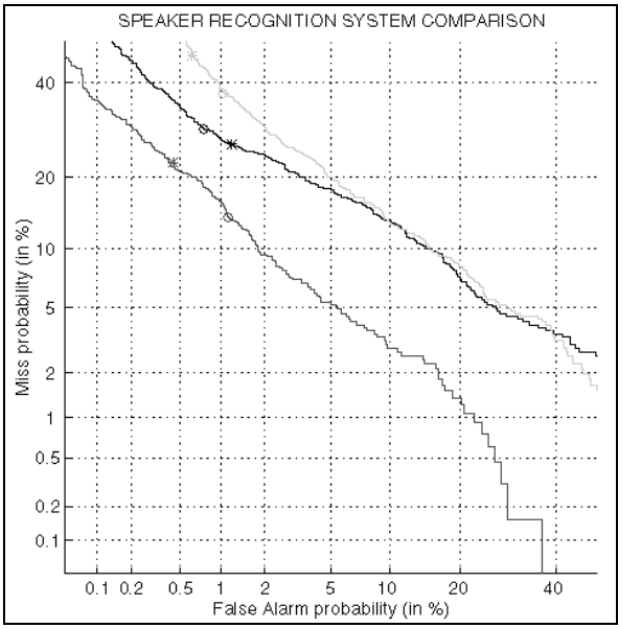


Figura 1: Exemplo de curva DET [4].

A seguir serão apresentadas as questões relevantes para a implementação de um sistema biométrico por voz.

III. BIOMETRIA POR VOZ

Há dois tipos de informação que se pode extrair de um sinal de voz: as de baixo nível e as de alto nível. As de alto nível são as características que também são utilizadas pelos humanos para distinguir uma pessoa de outra. O dialeto, o sotaque, a maneira de falar e o conteúdo da fala são alguns exemplos. Já as de baixo nível são as mais utilizadas em sistemas automáticos de biometria, e como exemplo tem-se o ritmo, a frequência, o timbre e a magnitude espectral.

Entretanto, algumas eventualidades podem modificar a voz de uma pessoa, uma vez que essa pode variar de acordo com seu estado físico - resfriados, perda de dentes - ou emocional - estresse, tristeza. E ainda, a voz muda à medida em que a idade aumenta. Além disso, há variações de entonação na pronúncia de uma mesma palavra até quando repetida pelo mesmo indivíduo.

O reconhecimento de locutor pode ser dependente de texto, que requer a pronúncia de sentenças específicas, geralmente as mesmas usadas para treinar o sistema; ou independente de texto, em que o locutor sob teste pode falar qualquer coisa. Obviamente o primeiro caso é muito mais simples, e também leva a resultados melhores, embora sua aplicabilidade seja menor. Este trabalho foca na segunda abordagem.

Embora estes aspectos da voz tornem sua identificação mais complexa quando feita por sistemas automáticos, é uma forma não intrusiva e de baixo custo (somente é necessário um microfone para aquisição do sinal).

Para entender melhor como funciona a biometria por voz, um entendimento básico tanto do sistema auditivo como do aparelho fonador se faz necessário, e isto será feito a seguir.

A. *O aparelho auditivo*

O ouvido humano é capaz de perceber sons na faixa de frequências de 20 Hz a 20 kHz, entretanto, vale ressaltar que ela diminui a medida em que o indivíduo envelhece e apesar de ser extensa, a maior quantidade de informação útil perceptível aos humanos se encontra entre 300 Hz e 3400 Hz.

Uma particularidade deste sistema é o mesmo processa os sons em sub-bandas, chamadas de bandas críticas. A largura de cada banda difere de acordo com a faixa de frequência. Em geral, até 1 kHz, as bandas críticas têm largura constante de aproximadamente 100 Hz; depois disso, elas vão ficando cada vez mais largas, sendo que a largura de cada uma delas é 20 % maior que a anterior. Este fato inspirou a criação dos parâmetros mel-cepstrais [7], amplamente utilizados na área de processamento de voz, e também neste trabalho.

B. *O aparelho fonador*

Para a produção da fala, vários músculos e órgãos que constituem o aparelho fonador (pulmões, laringe e boca, por exemplo) são acionados. A posição, forma e tamanho desses elementos definem as propriedades físicas da voz e variam de indivíduo para indivíduo. Na Figura 2 tem-se uma ilustração do aparelho fonador humano [2].

A dimensão e forma do trato vocal são diferentes para cada pessoa, e estas diferenças é que fazem com que cada pessoa tenha uma voz única. Desta forma, pode-se dizer que um sistema automático de biometria tenta inferir como é o trato vocal de cada pessoa através do sinal acústico que este produz.

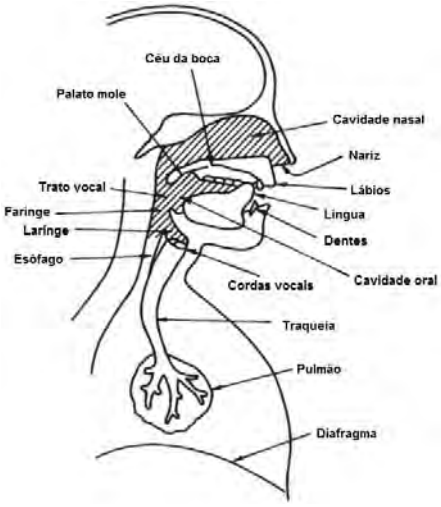


Figura 2: Aparelho fonador humano.

Com base nestas informações é possível agora ver como funciona um sistema de biometria por voz:

C. Sistema reconhecimento de locutor

O diagrama em blocos da Figura 3 mostra esquematicamente como funciona um sistema de reconhecimento de locutor: o sinal de voz é inicialmente parametrizado através de vetores mel-cepstrais, e depois inserido no módulo de decisão. Este compara o sinal de entrada com o modelo da pessoa de quem a voz supostamente pertence, e apresenta na saída a decisão de aceitar ou rejeitar o locutor.

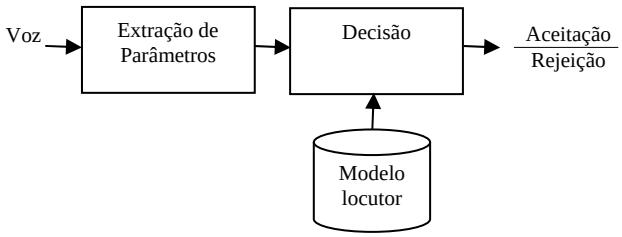


Figura 3: Diagrama em blocos reconhecimento de locutor.

A seguir, cada um destes blocos é explicado com maiores detalhes.

1) Extração de parâmetros

A escolha da representação dos dados acústicos é uma tarefa importante em qualquer sistema de reconhecimento de locutor. Os objetivos dessa representação são: comprimir os dados da fala em um conjunto menor de informações para diminuir o tempo de processamento e representar os sinais em um espaço que permita uma maior discriminação entre os locutores. Neste trabalho foram utilizados parâmetros mel-cepstrais, pois estes conseguem representar a voz da forma como a ouvimos [7].

2) Decisão

O resultado final, afirmativo ou negativo, é feito pelo bloco de decisão. Neste, há a comparação entre a nota obtida pelo locutor e um valor estipulado como limiar. A resposta de aceitação será dada caso a nota do locutor seja maior que o limiar, e de rejeição, em caso contrário.

3) Modelo do locutor

Um elemento importante no reconhecimento de locutor é o modelo que representa o próprio. Foram utilizados para esta tarefa os modelos de misturas de gaussianas (Gaussian Mixtude Models, GMM) [8], descritos na seção a seguir com mais detalhes.

IV. GMM

Uma densidade de misturas de gaussianas é uma soma ponderada de *M* densidades componentes [8]:

$$p(x \mid \lambda) = \sum_{i=1}^{M} p_i \, b_i(x) \tag{1}$$

onde:

- x é um vetor aleatório D dimensional,
- $b_i(x)$, i=1,2, ..., M são as densidades componentes,
- p_i são os pesos da mistura,
- λ é o modelo correspondente ao locutor.

Na Figura 4, tem-se uma representação gráfica deste conceito.

As gaussianas são utilizadas pois conseguem representar os parâmetros extraídos anteriormente. A Figura 5 foi adaptada de [8] para ilustrar esse comportamento: a partir de um histograma como mostrado em 5a, pode-se tentar modelá-lo com apenas uma gaussiana, como em 5b. Contudo, o resultado obtido não corresponde com fidelidade ao histograma inicial. Na Figura 5c, tem-se o mesmo histograma representado por 10 gaussianas. Pode-se ver que esta segunda configuração já corresponde melhor ao histograma da Figura 5a. Dessa forma, mais gaussianas conseguem, aparentemente, modelar mais corretamente este histograma.

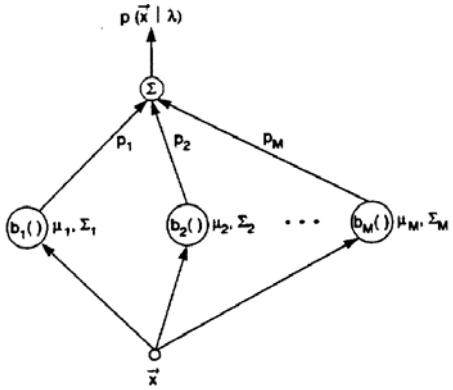


Figura 4: Forma visual para a obtenção de $p(x|\lambda)$ como uma soma ponderada das probabilidades calculadas por cada gaussiana.

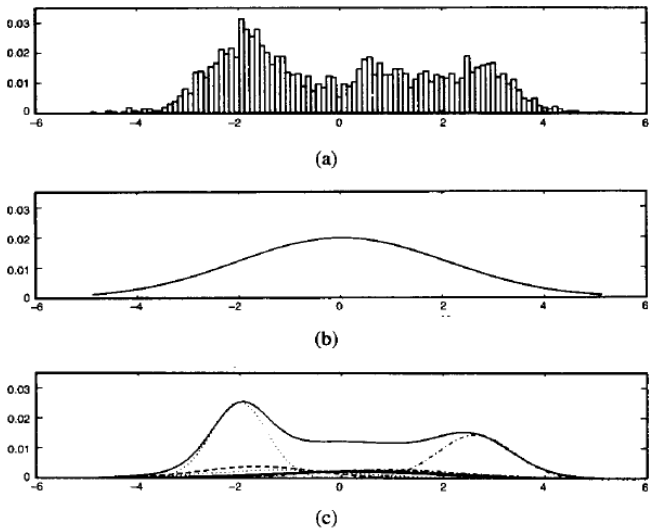


Figura 5: Ilustração de como o número de gaussianas afeta a representação de um locutor ou de um grupo deles.

V. EXPERIMENTOS

O processo de reconhecimento de locutor é dividido em duas etapas: treinamento e teste.

Na etapa de treinamento é gerado um modelo para um locutor dentre todos existentes em uma base de dados. Isso ocorre para que o sistema seja capaz de afirmar, quando for utilizado, se um segundo locutor corresponde àquele primeiro. Este modelo é baseado em modelos de misturas de gaussianas (GMM) e foi utilizado para o locutor F01.

Já para os outros locutores foi treinado um UBM (Universal Background Model), um modelo utilizado em sistemas de verificação biométrica que representa características gerais, independentes de pessoa e que deve ser comparado a um modelo específico de uma pessoa em uma situação de aceitação ou rejeição [9]. Pode-se dizer também, em suma, que se trata de um tipo de GMM só que treinado com uma grande quantidade de dados.

Uma vez criados os modelos (GMM e UBM), uma locução desconhecida é aplicada e, para cada um, calcula-se o valor de $p(x|\lambda)$ (visto na Eq. (1)) correspondente. Na Figura 6, tem-se o diagrama em blocos que ilustra as fases do sistema.

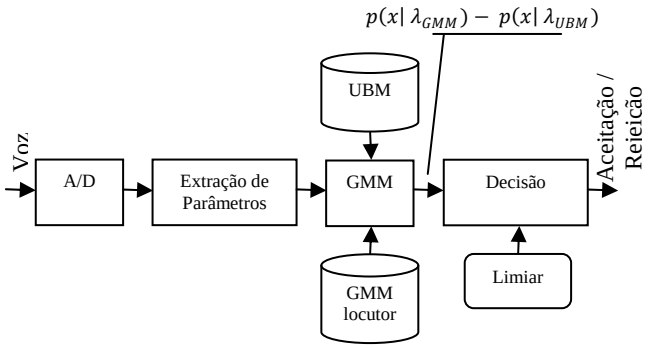


Figura 6: Diagrama em blocos do sistema implementado.

A. Base de dados

Os modelos descritos previamente (GMM e UBM) foram treinados com locuções de uma base de dados. Essa base possui gravações de vinte e dois locutores femininos e vinte e três masculinos, todas livres de ruídos e em português. Dentre todos os locutores, escolheu-se um que tornou-se aquele para o qual o sistema foi treinado para identificar. Este locutor é referenciado como F01, pois tratava-se da primeira locutora contida no banco.

B. GMM, GMM locutor e UBM

Estes três blocos correspondem a modelos que identificam determinados locutores ou grupos de locutores. Na Figura 6, o bloco GMM corresponde ao modelo que é treinado a partir da locução entrante no sistema, o que significa que este treinamento ocorre em tempo real e representa as características de um locutor desconhecido. Vale lembrar que não necessariamente trata-se de um locutor realmente desconhecido, pois esse pode ser o indivíduo que corresponde ao bloco GMM locutor. O bloco GMM locutor representa o locutor para o qual o sistema foi treinado para identificar. Já o UBM é treinado para representar todo o universo restante de locutores. Estes dois últimos modelos já estão treinados quando um usuário utiliza o sistema em tempo real.

C. O funcionamento do sistema

Quando a voz de um indivíduo incógnito, entra no sistema para testá-lo, ela é, primeiramente, convertida de um sinal contínuo no tempo para um sinal discreto, pois é amostrado em uma frequência de 11025Hz. Em seguida, há a extração dos parâmetros mel-cepstrais como definido na seção III item A. É cabível expor que o sistema implementado foi desenvolvido em linguagem Ansi-C para Linux, pois este sistema operacional possui a biblioteca de áudio que foi utilizada no código. No caso, a biblioteca utilizada foi a ALSA (Advanced Linux Sound Architecture).

A partir dos parâmetros, tem-se o treinamento do GMM e este fica baseado nas características do locutor solicitante. Então, o sistema é capaz de calcular a diferença entre o $p(x|\lambda_{GMM})$ e o $p(x|\lambda_{UBM})$ e uma nota final é, finalmente, gerada.

De posse da nota, o bloco de decisão é o responsável por dar uma resposta afirmativa ou não ao usuário. É neste bloco em que as informações sobre todos os modelos treinados anteriormente são analisadas de forma a obter uma conclusão. A decisão final envolve uma comparação entre os modelos: caso o GMM entrante seja "parecido" o suficiente com o GMM locutor, tem-se uma resposta positiva, do contrário, o usuário é um impostor. A comparação é feita com base no valor do limiar e na nota final. Quando a nota final for maior que o limiar, tem-se a aprovação do usuário, isto significa que o locutor entrante é o mesmo para o qual o GMM locutor foi treinado. Por outro lado, se a nota final for menor que o limiar, há um impostor tentando enganar o sistema.

D. Testes e análise de resultados

Os modelos mencionados foram treinados três vezes cada. Em cada uma das vezes, o número de gaussianas utilizado para treino foi alterado para que fosse possível perceber se o desempenho final melhorava ou não. O primeiro treino foi

feito com quatro gaussianas, o segundo com oito, o terceiro com dezesseis e a cada treino o sistema era testado novamente.

Os resultados dos testes para essas três configurações podem ser vistos na curva DET da Figura 7. É possível observar que o desempenho é afetado de acordo com o número de gaussianas utilizadas, pois como visto previamente, quanto mais próxima da origem a curva se encontra, menos sujeito a erros é o sistema. Entretanto, proporcionalmente ao aumento de gaussianas, aumentam também o tempo para o treinamento dos modelos e o esforço computacional necessário. A Figura 7 mostra o resultado para os testes feitos com locuções que estavam na base de dados, mas não haviam sido utilizadas para o treinamento.

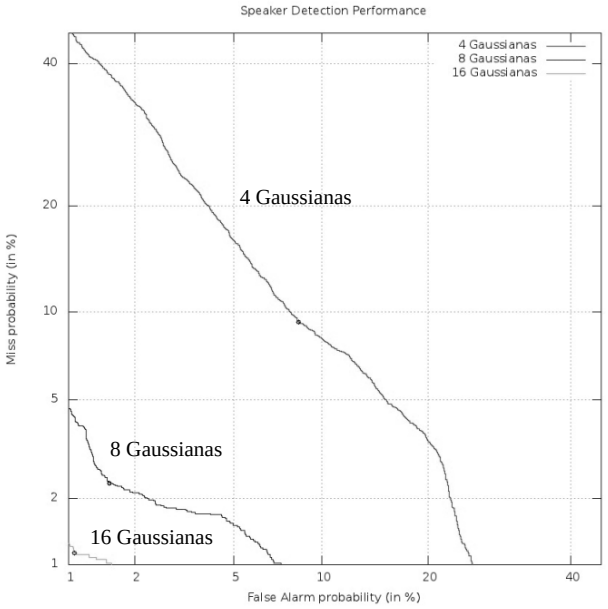


Figura 7: Curva DET para os resultados preliminares.

Os testes em tempo real consistem em calcular a nota a partir de uma locução entrante no sistema durante a execução do programa, ou seja, a grosso modo é como se esse ficasse "ouvindo" até um usuário entrar com o um áudio e confirmar seu envio ao sistema. De acordo com a nota obtida, o usuário é aceito ou não, conforme explicado anteriormente. Contudo não foi plotada, ainda, uma curva que avalie o desempenho do sistema quando esse atua em tempo real.

VI. CONCLUSÕES

Foi possível perceber, com os resultados obtidos até o momento, que a medida que o número de gaussianas utilizadas aumenta, o desempenho melhora, pois um número maior dessas consegue um melhor mapeamento da voz de um indivíduo. É notável a melhoria ao ver a Figura 7, já que as curvas DET foram se aproximando da origem do plano. Porém uma questão, que ainda se encontra sem resposta e que será estudada posteriormente, é sobre como o desempenho será afetado quando o sistema for implementado em uma aplicação real que possui limitação de poder de processamento e de memória, uma vez que esses recursos computacionais são bastante exigidos durante a etapa de treinamento dos modelos.

REFERÊNCIAS

[1] Ferreira, Aurélio Buarque de Holanda. Novo dicionário Aurélio da língua portuguesa/ Aurélio Buarque de Holanda Ferreira; coordenação Marina Baird Ferreira, Margarida dos Anjos. - 4. ed. - Curitiba: Ed. Positivo; 2009.

[2] Furui, Sadaoki. "Digital Speech Processing, Synthesis, and Recognition". Signal Processing and Communications Series. 2. ed. 2001. Disponível em: http://books.google.com.br/books?id=X6mZGqZmcbgC&printsec=frontcover&dq=Digital+Processing+of+Speech+Signals&client=firefox-a#v=onepage&q=Digital%20Processing%20of%20Speech%20Signals&f=false. Acessado 24 fevereiro 2013.

[3] Parreira, Wemerson D. e Carrijo, Gilberto A.. "Reconhecimento de locutor pela voz usando o classificador polinomial e quantização vetorial". Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional. Disponível em: http://www.sbmac.org.br/eventos/cnmac/cd_xxviii_cnmac/resumos%20estendidos/wemerson_parreira_ST20.pdf. Acessado 17 fevereiro 2013.

[4] MARTIN, A. et al. "The DET curve in assessment of detection task performance". Eurospeech. 1997.

[5] Magalhães, Paulo Sérgio e Santos, Henrique Dinis. "Biometria e autenticação". Atas da 4ª Conferência da Associação Portuguesa de Sistemas de Informação". Porto, Portugal. 15-17/10/2003. Disponível em: http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/2184/1/capsi.pdf. Acessado 24 fevereiro 2013.

[6] Furui, Sadaoki . "Fifty years of progress in speech and speaker recognition". Proc. of 148th Acoustical Society of America Meetings, San Diego, 1pSC7 (2004-11). Disponível em: http://www.furui.cs.titech.ac.jp/publication/2005/SPCOM05.pdf. Acessado 17 fevereiro 2013.

[7] Steven B. Davis e Paul Mermelstein. "Comparison of Parametric Representations for Monosyllabic Word Recognition in Continuously Spoken Sentences". IEEE Transactions on acoustics, speech, and signal processing, vol. assp-28, no. 4, agosto 1980.

[8] Douglas A. Reynolds e Richard C. Rose. "Robust Text-Independent Speaker Identification Using Gaussian Mixture Speaker Models". IEEE Transactions on speech and audio processing, vol. 3, no. 1, janeiro 1995. Disponível em: http://www.cs.toronto.edu/~frank/csc401/readings/ReynoldsRose.pdf. Acessado 17 fevereiro 2013.

[9] Douglas A. Reynolds. "Universal Background Models". MIT Lincoln Laboratory - Lexington, MA/EUA. Disponível em: http://www.ll.mit.edu/mission/communications/ist/publications/0802_Reynolds_Biometrics_UBM.pdf. Acessado 17 fevereiro 2013.

[10] Douglas A. Reynolds, Thomas F. Quatieri, e Robert B. Dunn. "Speaker Verification Using Adapted Gaussian Mixture Models". Digital Signal Processing 10, 19–41 (2000).

[11] Lawrence Rabiner & Biing-Hwang Juang. "Fundamentals of Speech Recognition". Prentice Hall, 1993.

Implementação de um Reservatório de tinta em Processo de Impressão de Jornal

Rildo César Dias Arrifano
Instituto de Ensino Superiores da Amazônia - IESAM
rildoarrifano@prof.iesam-pa.edu.br

Wellington Jose F. de Lima
Instituto de Ensino Superiores da Amazônia - IESAM
wjlima@prof.iesam-pa.edu.br

Antonio Nazareno
Jornal O Liberal
antonio.nazareno@bol.com.br

Ricardo Ximendes
Jornal O Liberal
rykrey@bol.com.br

***Resumo*— O presente trabalho descreve o processo de automatização de um reservatório de tinta, de um jornal local, através de um sistema de automação, o qual utilizará sensores que irá monitorar o nível de tinta no reservatório. Os dados colhidos por esse sensores irão chegar até o operador, através de um programa de interface que será criado para conectar a mesa de operação da maquina com o reservatório de tinta. O monitoramento dos níveis de tinta tem como objetivo maior de evitar com que o reservatório fique sem tinta, evitando assim com que haja paradas na produção e falhas na impressão, uma vez que este reservatório alimenta os tinteiros, os quais são responsáveis pela impressão do jornal. Os principais resultados que se obteve com essa impressão, foram o aumento dos lucros da empresa, o fim das paralisações na produção e o fim das perdas de produção por falta de tinta.**

***Palavras chave*— Impressão, Processo de Jornal, Tinta, Automação em Máquinas Rotativas de Impressão.**

***Abstract*— The present work describes the process of automation of a reservoir of ink, a local newspaper, through an automation system, which will use sensors that will monitor the ink level in the reservoir. The data collected by sensors that will reach up to the operator through a program of interface that will be created to connect the operating table of the machine with the reservoir of ink. The monitoring of the levels of ink has as its main objective to avoid in the reservoir is without ink, thus avoiding with that halts in production and failures in print, since this reservoir nourishes the ink tanks, which are responsible for printing the official. The main results obtained with this impression, were to increase the profits of the company, the order of outages in the production and the order of production losses due to lack of paint.**

***Key-words:* Print, Process of newspaper, ink, Automation in Rotary Printing Machine.**

I. INTRODUÇÃO

Desde os tempos mais remotos o homem sente a necessidade de transmitir o conhecimento para outros, a fim de preservar seus sentimentos e ideias, ou até mesmo para vangloriar-se de seus feitos, registrando suas caçadas nas paredes das cavernas para que outras tribos pudessem confirmar os acontecimentos. Estas pinturas rupestres foram a forma principal de comunicação entre os Homens. O desenvolvimento do alfabeto fonético pelos fenícios em 2.000 AC Marcou a história da palavra escrita na civilização ocidental depois disso foi criada a primeira máquina de impressão por Gutenberg, onde ele adaptou uma prensa para vinho em uma prensa impressora. Sua Bíblia de 42 linhas, publicada em 1455, é considerada o marco do nascimento da impressão [1].

Cerca de 180 Bíblias foram impressas. Depois disso foram produzidas as Impressoras Rotativas, Por volta de 1850, às impressoras rotativas de metal substituíram as prensas planas de madeira. O desenvolvimento de bobinas tornou possível que as impressoras rotativas conseguir-se atender à demanda de jornais de circulação em massa. A fabricação em massa das máquinas rotativas veio trazer grandes avanços nesta área [2].

Porém, Foram detectados problemas na área de abastecimento de tinta. Onde os reservatórios que a máquina possui são pequenos e não suportam uma quantidade de tinta para uma produção de larga escala. Este projeto tem como objetivo proporcionar possíveis soluções para aprimorar a qualidade do funcionamento do Reservatório de tinta, de onde será feito uma automação visando à falta de tinta na produção [3].

II. EVOLUÇÃO

As impressoras rotativas de metal substituíram as prensas

planas de madeira. E com a inovação tecnológica, foram desenvolvidas as bobinas, e tornou possível impressoras rotativas a vapor atenderem uma grande demanda de jornais [1].

2.1 Automação

A automação é fundamental para garantir a competitividade das empresas, principalmente em um mercado globalizado, que não dissocia produtividade e qualidade [2].

2.2 Otimização do processo

O projeto de automatização do controle do fim da tinta dos tambores (reservatório de tinta onde fica instalada a bomba) foi desenvolvido com o objetivo principal de aperfeiçoamento de um dos processos de fabricação do maior jornal do estado do Pará e apontar problemáticas que estavam comprometendo o processo produtivo, apresentando soluções para alcançar a qualidade total do produto final e maximizando os lucros da empresa através de metodologia do ciclo PDCA [3].

2.3 Manutenção

Dispositivo para manutenção de Válvula Macho de grande Diâmetro com sede Metal-Metal

Esse projeto é uma patente requerida da PETROBRAS S.A. que apresenta uma alternativa de tecnologia nacional, na área de manutenção de Válvula Macho de Grande diâmetro com sede Metal-Metal [4]. Amplamente utilizada no setor Petroquímico. Até então, a única alternativa das empresas nacionais, para realização de uma manutenção confiável, era recorrer ao seu fabricante internacional; procedimento este que se tornava inviável pela morosidade e custo elevado. Assim buscando solução para o problema, surgiu a idéia, da pesquisa que resultou no dispositivo ora apresentado. “O projeto assegura a confiabilidade da vedação destas válvulas que vêm sendo utilizado, com sucesso, pelas Refinarias Presidente Bernardes e Planalto Paulínia”.

2.4 Metodologia

Este trabalho visa automatizar o controle do fim da tinta dos tambores (reservatório de tinta onde fica instalada a bomba), tendo como objetivo assegurar uma maior confiabilidade no processo de abastecimento do tinteiro [3].

Este projeto foi desenvolvido na experiência prática de tecnólogos que trabalham em uma empresa de impressão gráfica, além de Reuniões entre a equipe para encontrar uma solução simples e viável para resolução do problema. Contou-se com a Juda dos Mecânicos da Empresa Para viabilizar este projeto com o objetivo de aperfeiçoar o processo de abastecimento de tinta da máquina rotativa UNISET, Agilizando a produção do jornal, visando alcançar a qualidade total do produto final e Aumentar o lucro da empresa. O planejamento do projeto surgiu através das etapas do ciclo PDCA com a finalidade de buscar os objetivos propostos de alcançar a qualidade total no processo em um menor tempo possível. Viabilizando um produto de alta qualidade no setor gráfico.

III. Resumo do Processo alvo da melhoria

A produção do jornal impresso exige um consumo bastante elevado de tinta. O processo atual de abastecimento de tinta da máquina UNISET (figura 1), ocorre da seguinte forma: A máquina possui um tinteiro que comporta 13 kg de tinta que é abastecido automaticamente, ou seja, sempre que o nível do reservatório de tinta baixa para 10 kg o sensor ultrassônico da máquina, que fica na parte superior do tinteiro controlando o nível de tinta, envia um sinal para a válvula pneumática da tubulação principal para que a mesma atue, a qual será automaticamente reabastecida pela bomba principal que é alimentada por um tambor de tinta de 200 kg. Ver figura1.

O funcionamento desta bomba é automático, porém ela não possui um sistema de controle do fim da tinta do tambor, ou seja, quando o tambor esvazia a bomba continua funcionando e os operadores que trabalham com a máquina não têm como identificar a necessidade da troca do tambor, assim, como não há mais tinta ela envia ar para o sistema interno da tubulação provocando uma série de problemas que vão implicar negativamente no processo de impressão.

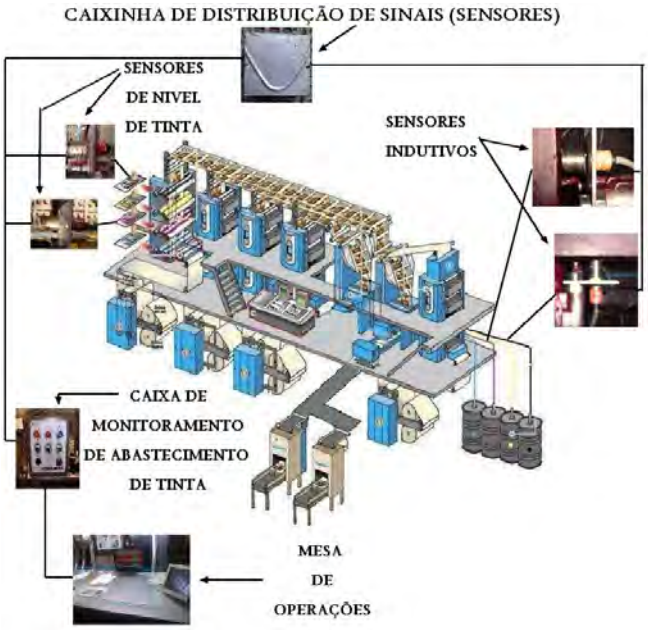


Fig. 1. Máquina Rotativa Uniset.

No estágio necessita de um consumo elevado de tinta para concluir o processo de impressão do jornal, Para que isso ocorra existe um percurso que a tinta faz ate chegar ao produto final. Esse projeto visa otimizar a produção de jornais. Pois foi detectado um problema no abastecimento de tinta, porque não há como os operadores saberem quando a tinta do tambor termina e quando eles devem efetuar a troca do tambor para manter o nível de tinta da maquina, e assim manter o processo de impressão normalmente.

Porem na maioria das vezes os operadores tem que encher manualmente os tinteiros, Para controlar de maneira correta o

nível de tinta, implantamos o Projeto de Sistema de Automação do Controle de tinta da máquina UNISET, para aperfeiçoar o processo de impressão do jornal da melhor forma possível. A automatização garante que o operador possa visualizar na mesa de operação o tempo correto quando a tinta do tambor termina e que seja efetuada a troca imediatamente, serão instalados componentes que indicara ao operador o tempo correto para efetuar a troca do tambor.

IV. Elaboração do Projeto associado a Melhoria Proposta

A figura 2 mostra a implantação do projeto de Sistema de Automação do Controle de tinta da máquina UNISET. Essa figura resume de forma ilustrativa a implantação de componentes que se fazem necessário inserir no processo de melhoria.

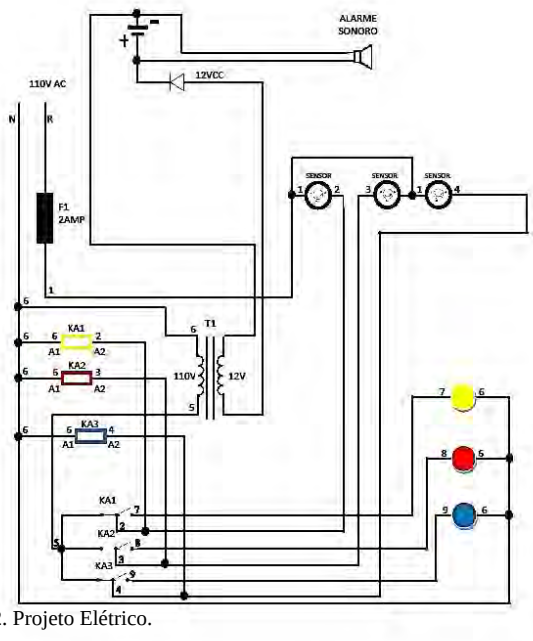


Fig.2. Projeto Elétrico.

Novos componentes que serão instalados no projeto

Componentes atuais da maquina Uniset.

V. Definição da Melhoria Desenvolvida

A proposta de melhoria foi desenvolver um sistema eletrônico para a monitoração da tinta e desenvolver uma interface do sistema para mesa de operação:

- Diminuir os custos de materiais e mão-de-obra.
- Possibilitar uma melhora na qualidade do produto, uniformizando a produção, eliminando perdas de material da produção.
- Indicara o momento exato que devera ser efetuada a troca do tambor de tinta.
- Interromper o funcionamento da bomba para que seja feita a troca do tambor
- Com o sistema implantado será enviado um sinal para que o operador acione a bomba para encher os tinteiros da maquina.

VI. Levantamento dos Custos Relacionados às Perdas Devido à Falta da Melhoria

Falta de tinta no tinteiro: devido este fato ocorre falha no processo de impressão, pois como não é detectado que não há mais tinta no tambor o jornal continua sendo impresso sem a quantidade de tinta necessária para a impressão do material e perder a qualidade do Impresso. Com isso, o ar pressurizado se transforma em jatos de ar misturado com a tinta que causa sujeira em várias peças da maquina, consequentemente, acarreta o aumento dos custos com material e mão- de- obra para limpeza, a tabela I abaixo mostra os gastos sem a implantação da melhoria.

TABELA I
Levantamento anual do custo por falta da melhoria.

MATERIAL	QUANTIDADE %	VALOR %
Papel	4%	4%
Energia	5%	5%
Tinta	3%	3%
Mão- de - obra	6%	6%
Material de Limpeza	6%	6%
% Custo total		6%

A falta da melhoria implica em alguns custos para a empresa. Ver tabela II.

TABELA II
Falta da Melhoria x Custo/Horas.

Falta da melhoria	Custos / Horas
Quantas horas a produção foi paralisada no ano passado acarretando em perda de produção?	6 horas por mês, 72 horas por ano.
Quantos jornais foram rejeitados devido à falta de tinta no tinteiro, quanto custou?	22000 jornais com custo de R$ 12.100,00
Quantos homens horas foram dedicados a corrigir os defeitos relacionados à melhoria?	Uma equipe de 10 pessoas gasta por hora trabalhada R$=270,00 com um custo anual de R$= 19.440,00

Quando foi o gasto com material, peças de reposição, para corrigir os problemas ocasionados devido à falta da solução?	Material R$= 2100,00 Peças R$= 4.000,00
Custo total por falta da implantação da melhoria	R$ 37.640,00 por ano.

VII. Levantamento dos Custos associados a Melhoria

Para aprimorar e desenvolver com qualidade o processo de impressão do jornal, alguns materiais serão necessários para implantação do projeto, A tabela III abaixo mostra os materiais que serão usados na melhoria.

TABELA III
LISTA DE MATERIAIS PARA O PROJETO.

Seq Item	Descrição do Produto	Alm.	Quant Und	Prc Unit	Prc Total
001 000043	SENSOR INDUTIVO MAKSEN MICL-4-12 WA MICL412	01	3,00 UN	117,00	351,00
002 000852	SENSOR FESTO SME-8-K-LED-220 "MAGNETIC" 152820	01	3,00 UN	215,18	645,54
003 007308	VALVULA FESTO VZWM-L-M22C-G12-F4 546148	01	1,00 PC	355,22	355,22
004 007382	BOBINA FESTO MD-2-110VAC-PA 549904	01	1,00 PC	83,38	83,38
005 001415	SOQUETE FESTO MSSD-C 34583	01	1,00 UN	23,04	23,04
006 006566	QUADRO JAB COMANDO 380X320X170 CV 094200237	01	1,00 PC	123,83	123,83
007 006025	SINALEIRO WEG SM 220VCA VM 10046530	01	1,00 PC	13,05	13,05
008 006026	SINALEIRO WEG SM 220VCA VD 10046531	01	1,00 PC	13,05	13,05
009 006535	DISJUNTOR WEG MDW-2P 6A C 10076399	01	1,00 PC	60,40	60,40
010 005229	CABO FLEXIVEL SIL 1MM2 750V PT - RL 0316PT	01	100,00 MT	0,30	30,00
011 002343	ESPIRAL ELESYS ES-06 (PRETO) ES06	01	5,00 MT	1,64	8,20
	D-47				
012 005259	ABRACADEIRA CEMAR 100X2,5MM PLAST. BRANCA 926002	01	50,00 PC	0,04	2,00
013 002366	MINI CONTATOR WEG CAW04 22 110VCA 10045379	01	1,00 UN	28,22	28,22
	SEM VALOR FISCAL				
Estacao.:	Atend.:			Total Bruto Nota:	1.736,93
				Acrescimo Financeiro:	0,00
				Desconto:	0,00
				Total liq. Nota:	1.736,93

VIII. Plano de Implantação da Melhoria

Visando implantar a melhoria proposta foi necessário realizar as seguintes ações:

- Apresentar o projeto à Diretoria para conhecimento e aprovação;
- Solicitar ao setor responsável (financeiro) o investimento necessário para a compra das peças;
- Apresentar e orientar os operadores e colaboradores do setor de impressão sobre o funcionamento do novo sistema;
- Executar o plano de ação.
- Efetuar os testes iniciais do sensor observando seu desempenho durante 15 dias.

IX. Resultados

Visando alcançar a qualidade total no processo de impressão do produto final com o projeto implantado, alcançamos resultados e diminuímos custos. Ver tabela IV.

TABELA IV
RESULTADOS DA MELHORIA.

Resultados	Diminuição desse custo
Não há, mas paralisação na produção nem perda de produção por falta de tinta.	6 horas por mês, 72 horas por ano.
Não há, mas rejeição de jornais devido à falta de tinta no tinteiro.	Com 22000 jornais com custo de R$ 12.100,00
Não há necessidade de homens para corrigir os defeitos relacionados com a falta de tinta.	Com uma equipe de 10 pessoas gasta por hora trabalhada R$=270,00 com um custo anual de R$=19.440,00
Não há mais desperdício de material, e custo com peças de reposição, para corrigir os problemas ocasionados por falta de tinta.	Material R$= 2100,00 Peças R$= 4.000,00
Antes Custo, hoje com a implantação a empresa tem diminuição desse custo total com a implantação do projeto de R$ 37.640,00 por ano.	

X. Conclusões

Este projeto desenvolveu e implantou um sistema de automação do Controle de tinta da máquina UNISET com o objetivo de gerenciar os ativos de produção para maximizar a produtividade e a lucratividade da empresa.

O processo de automação através da instalação de um sensor eletrônico serve de apoio para que a produção consiga atingir seu objetivo final, ou seja, garantir a qualidade visual da impressão do jornal em todas as tiragens, aperfeiçoando continuamente a produção com o planejamento do controle do fim da tinta do tambor. Na bomba da máquina UNISET, foi instalado um sensor eletrônico que indica o fim da tinta para que ocorra a substituição do tambor no tempo certo, a fim de prevenir e evitar os diversos problemas ocorridos durante o processo da impressão em função do atual procedimento de acompanhamento do fim da tinta do tambor que é feito de maneira manual. Como resultado facilitou a manutenção, aumento da confiabilidade, disponibilidade e segurança operacional do equipamento.

Somado a isso a automação do processo acaba promovendo ações que colocam em prática ferramentas estratégicas como os cinco sensos da qualidade total que auxiliará na reorganização do trabalho facilitando a identificação de materiais, descartem de itens obsoletos e melhoria na qualidade de vida no trabalho.

O desempenho das empresas que investem em tecnologia e

modernização está diretamente relacionado com o nível de automação e pode ser considerado um indicador de inovação tecnológica que contribui para consolidar o nome da organização no mercado.

REFERÊNCIAS

[1] © 2001 – SENAI-BA / Unidade Dendezeiros, Área Tecnológica Gráfica- Sergio Ollandezos.

[2] Harding Ducci Olesko – Engenheiro em Manutenção. - 21º Congresso Brasileiro de Manutenção. EXPOMAN 2006.

[3] 2010 Ricardo Ximendes – tecnólogo em manutenção industrial – artigo - Sistema de Automação do Controle de tinta da máquina UNISET 65.

[4] Osmar José Leite da Silva-Técnico em Manutenção. - 2º Congresso Mundial de Manutenção. 19º Congresso Brasileiro de manutenção. "Manutenção, sustentabilidade para comunidades e empresas".

Experimento na formação do Engenheiro Eletricista: Estratégia Pedagógica na Universidade Federal de Rondônia

Ana Paula da Silva Souza

Universidade Federal de Rondônia – Unir

anapaulass.14@gmail.com

Juliana Freire Veloso

Universidade Federal de Rondônia – Unir

juliana.f.veloso@gmail.com

***Resumo* — O presente artigo tem como objetivo descrever uma experiência acadêmica relativa à execução de um projeto no âmbito da energia solar. Trata-se de uma atividade acadêmica da disciplina de Eletrônica I do curso de graduação em Engenharia Elétrica da Fundação Universidade Federal de Rondônia. O projeto se propôs a avaliar o processo de armazenamento de energia solar em uma bateria e acompanhar a transformação dessa energia em corrente alternada. A execução do projeto se deu em várias fases culminando com o teste simultâneo de todos os circuitos e componentes para a transformação da energia solar em energia elétrica. A experiência permitiu maior ampliação de conhecimentos sobre o tema do projeto, em especial relativos à disciplina de Eletrônica I, bem como contribuiu para a formação geral enquanto profissional da área de Engenharia Elétrica.**

Palavras chave — Energia Solar, Engenharia Elétrica, Eletrônica I.

***Abstract* — This paper aims to describe an academic experience concerning the implementation of a project on the solar energy. This is an academic activity of the discipline of Electronics I Course graduation in Electrical Engineering from the Federal University of Rondônia. The project aimed to evaluate the process of storing solar energy in a battery and follow the transformation of this energy into alternating current. The execution of the occurred in several stages culminating with the simultaneous testing of all circuits and components for the transformation of solar energy into electricity. The experience allowed greater expansion of knowledge on the subject of the project, particularly relating to the discipline of Electronics I, as well contributed to the general training as a professional in the field of Electrical Engineering.**

Keywords — Solar Energy, Electrical Engineering, Electronics I.

I. INTRODUÇÃO

A garantia da qualidade do ensino nas universidades brasileiras está se tornando, cada vez mais, um desafio para professores e alunos. Tal desafio esta em identificar quais competências e habilidades devem ser desenvolvidas nos estudantes para que atendam adequadamente a sociedade.

Os experimentos didáticos tem se tornado uma importante estratégia para facilitar o ensino da aprendizagem, e contribuir de forma eficiente na formação do profissional de Engenharia Elétrica. As experiências permitem que o futuro profissional adquira um conhecimento mais aprofundado sobre determinado conteúdo, superando a superficialidade teórica; buscando aplicar os conhecimentos teóricos à pratica. A partir do que diz Freire (2003) as experiências ajudam os alunos a assimilar o conteúdo de uma maneira mais prática, salientando a importância de traçar um paralelo entre os experimentos e o cotidiano. Desse modo, o conhecimento se da através de experiências contínuas e renovadas a partir da interação com a realidade.

Oportunizar diversas experiências aos alunos é o que vem ocorrendo na disciplina de Eletrônica, integrante do projeto pedagógico do curso de Engenharia Elétrica da Fundação Universidade Federal de Rondônia. A referida disciplina é oferecida em 4 semestres letivos, em conteúdos seqüenciais, sendo adotado nos últimos semestres nomenclatura diferentes (Sistemas Digitais e Sistemas Microprocessados). Em cada final de semestre os acadêmicos são orientados a desenvolverem projetos experimentais relativos aos conteúdos ministrados.

Os experimentos didáticos desenvolvidos na disciplina em questão são realizados em etapas diferentes, seguindo uma ordem didática e de complexidade, sendo constituídos por montagens práticas e experimentos compostos por conjuntos de simulações computacionais.

Este artigo descreve submissão de uma experiência relativa a um projeto no âmbito da energia solar. Apesar dos inúmeros projetos e ações bem sucedidas a nível nacional e internacional no campo da energia solar, o projeto acadêmico desenvolvido propôs a montagem, em menor proporção e de forma simplificada, a transformação de energia solar em energia elétrica. Nesse sentido, o projeto experimental teve como objetivo geral avaliar o processo de armazenamento de energia solar em uma bateria e

A. P. S. Souza (anapaulass.14@gmail.com) e J. F. Veloso (juliana.f.veloso@gmail.com) – Graduandas de Engenharia Elétrica – Universidade Federal de Rondônia.

acompanhar a transformação dessa energia em corrente alternada. Entre os objetivos específicos foram definidos os seguintes: a) Estudar o funcionamento da Energia Solar; b) Pesquisar os tipos de baterias e a capacidade de armazenamento de Energia Elétrica destas; c) Montar os circuitos Controlador de Carga e Inversor; e d) Avaliar a eficiência do funcionamento dos equipamentos e dos circuitos no aproveitamento da Energia Solar.

II. METODOLOGIA PARA APLICAÇÃO

Para alcançar os objetivos propostos o projeto foi orientado pelas seguintes etapas e fases:

1. Definição do tema do projeto. Considerando-se as dificuldades encontradas pelas autoras para definição do tema, o professor da disciplina sugeriu que o trabalho fosse realizado no campo da energia solar, o que foi acatado pelas autoras;

2. Levantamento bibliográfico sobre o tema, seleção dos materiais considerados relevantes;

3. Aprofundamento teórico sobre a temática energia solar: conceitos, definições, tipos e modelos de projetos, formas de funcionamento, materiais e equipamentos necessários, e custos;

4. Execução do projeto

4.1 Elemento teórico

Para compor o projeto do ponto de vista teórico organizou-se uma base conceitual sobre o tema que envolveu os seguintes pontos:

A. Introdução

- Constantes problemas ambientais causados pela utilização de energias não renováveis aliados ao esgotamento dessas fontes;
-A energia solar é uma boa opção na busca por alternativas menos agressivas ao meio ambiente, pois consiste numa fonte energética renovável e limpa (não emite poluente).

B. A Energia solar

-Funcionamento: é captada por painéis solares, formados por células fotovoltaicas, e transformada em energia elétrica ou mecânica; é obtida através da conversão direta da luz em eletricidade;
- Atualmente, os sistemas fotovoltaicos vêm sendo utilizados em instalações remotas possibilitando vários projetos sociais, agropastoris, de irrigação e comunicações;
-As facilidades de um sistema fotovoltaico tais como: modularidade, baixos custos de manutenção e vida útil longa, fazem com que sejam de grande importância para instalações em lugares desprovidos da rede elétrica. [2]

C. Transformação da energia solar em energia elétrica

-O sol que chega aos módulos solares produz a eletricidade em Corrente Contínua, C.C. A tensão dos painéis solares é majoritariamente de 12 volts C.C;
- Esta alimentação CC é armazenada nas baterias, que vão acumulando energia quando não existe consumo energético;
- Controlador de Carga ou regulador da carga, tem como finalidade controlar a carga das baterias, evitando que sobrecarreguem. O controle da carga corta automaticamente quando as baterias ficam completamente carregadas;
- As Baterias recebem e armazenam a energia elétrica (C.C.), e podem imediatamente fornecer eletricidade armazenada segundo as necessidades;
- O INVERSOR é um componente principal de um sistema de potência, que converte a corrente contínua neste caso 12 volts da bateria numa corrente de uma C.A. de 110 volts. [2]

4.2 Elemento prático

- Aquisição dos materiais e equipamentos necessários;
-Teste da placa solar. Foi empregado para o experimento um Painel Placa Célula Energía Solar Fotovoltaica 12v, 10 Watts conforme modelo ilustrado na figura 1.

Fig. 1. Placa solar

-Teste da bateria. Utilizou-se uma bateria de 12Volts de motocicletas;
-Montagem física do circuito controlador de carga, previamente selecionado (ELETRÔNICA, 2011), conforme figura 2. [3]

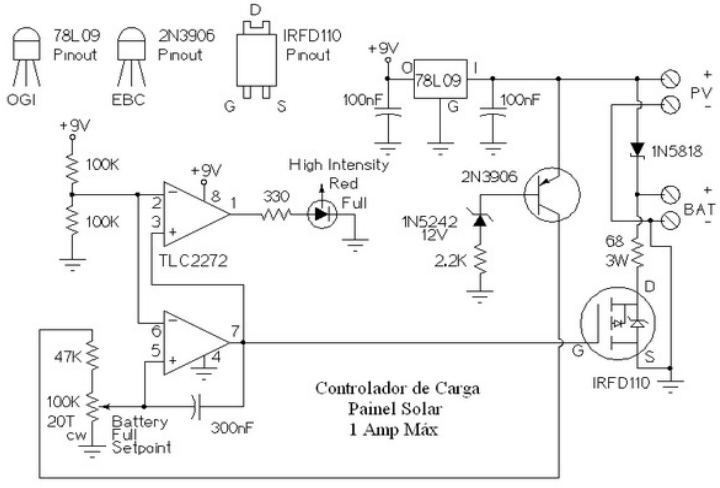


Fig. 2. Circuito Controlador de Carga

-Teste do circuito controlador de carga;
-Montagem física do circuito inversor, previamente selecionado (ELETRÔNICA, 2011), conforme figura 3, no ANEXO. [3]
-Teste do circuito inversor;
-Teste simultâneo de todos os circuitos e componentes.

III. RESULTADOS ALCANÇADOS

A. Avaliação do experimento.

Para avaliar a eficiência do experimento do ponto de vista funcional as alunas foram orientadas pelos seguintes aspectos:

a) Verificar se houve absorção da energia solar pela placa;
b) Investigar se houve armazenamento da energia solar em nível adequado na bateria;
c) Constatar se houve conversão da tensão contínua em corrente alternada;
d) Refletir sobre a utilidade do equipamento no dia a dia das pessoas.

Foram verificados todos os itens de avaliação da eficiência do ponto de vista funcional do projeto obtendo-se resultados satisfatórios. Entretanto, como se trata de uma experiência didático-pedagógica, algumas adversidades surgiram no decorrer do trabalho. A seguir são listadas algumas dificuldades encontradas e suas respectivas estratégias para superação:

- Dificuldades para aquisição dos equipamentos, considerando-se que as estudantes não tinham conhecimentos suficientes para identificar as necessidades para o projeto frente à diversidade de descrições de um mesmo equipamento no mercado. Esses obstáculos foram superados a partir da orientação do professor da disciplina;
- Desconhecimento do funcionamento dos equipamentos utilizados no projeto, o que levou algumas vezes a conexões equivocadas nos circuitos inviabilizando sua funcionalidade. A superação desta deficiência foi sanada através do estudo das folhas de dados dos equipamentos do projeto.

B. Avaliação da aprendizagem.

Para a avaliação da eficiência do experimento do ponto de vista didático-pedagógico serão considerados os pontos descritos a seguir:

- O experimento como instrumento de ensino. Considera-se que a técnica de ensino utilizada pelo docente facilitou a forma de repasse dos conteúdos superando o estilo de aula conservador em que o professor repassa os conhecimentos que devem ser retornados pelos alunos sem necessidade de reflexão. A técnica utilizada favoreceu a criatividade, a utilização dos conhecimentos prévios e a tomada de decisão por parte das estudantes;
- O experimento como instrumento de aprendizagem. Avalia-se como extremamente positivo os resultados obtidos na aprendizagem dos conteúdos propostos pela disciplina de Eletrônica I. A técnica de solução de problemas (no caso, definição de um tema e execução do projeto dentro deste tema), estimulou as discentes a discutir sobre as habilidades e conhecimentos previamente adquiridos por estas para definição do tema e consequentemente a colocação em prática do projeto.

IV. Conclusão

A experiência vivida relativa à colocação em prática de um projeto no âmbito da energia solar permitiu maior ampliação de conhecimentos sobre o tema. Teve-se a oportunidade de realizar maior aprofundamento sobre as fontes alternativas de energia. O aumento dos problemas ambientais causados pela utilização de energias não renováveis aliados ao esgotamento dessas fontes, sensibilizou as alunas sobre este grave problema social.

A partir deste trabalho as alunas consideram que houve uma grande conquista no que diz respeito aquisição de componentes eletrônicos. Do mesmo modo a possibilidade de experimentar a funcionalidade de tais componentes permitiu o avanço dos conhecimentos relativos à disciplina de Eletrônica I bem como contribuiu para a formação geral enquanto profissional da área de Engenharia Elétrica.

REFERÊNCIAS

[1]FREIRE, Paulo. *Pedagogia da autonomia*. 35 ed. Paz e Terra, 2003. 148 p.

[2]CRESESB.http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/tutorialsolar:pdf. acesso em 26 Abr 2011.

[3ELETRÔNICAhttp://www.electronicapt.com/index.php/content/ view/ 22/36/ , acesso em 26 Abr 2011.

Anexo

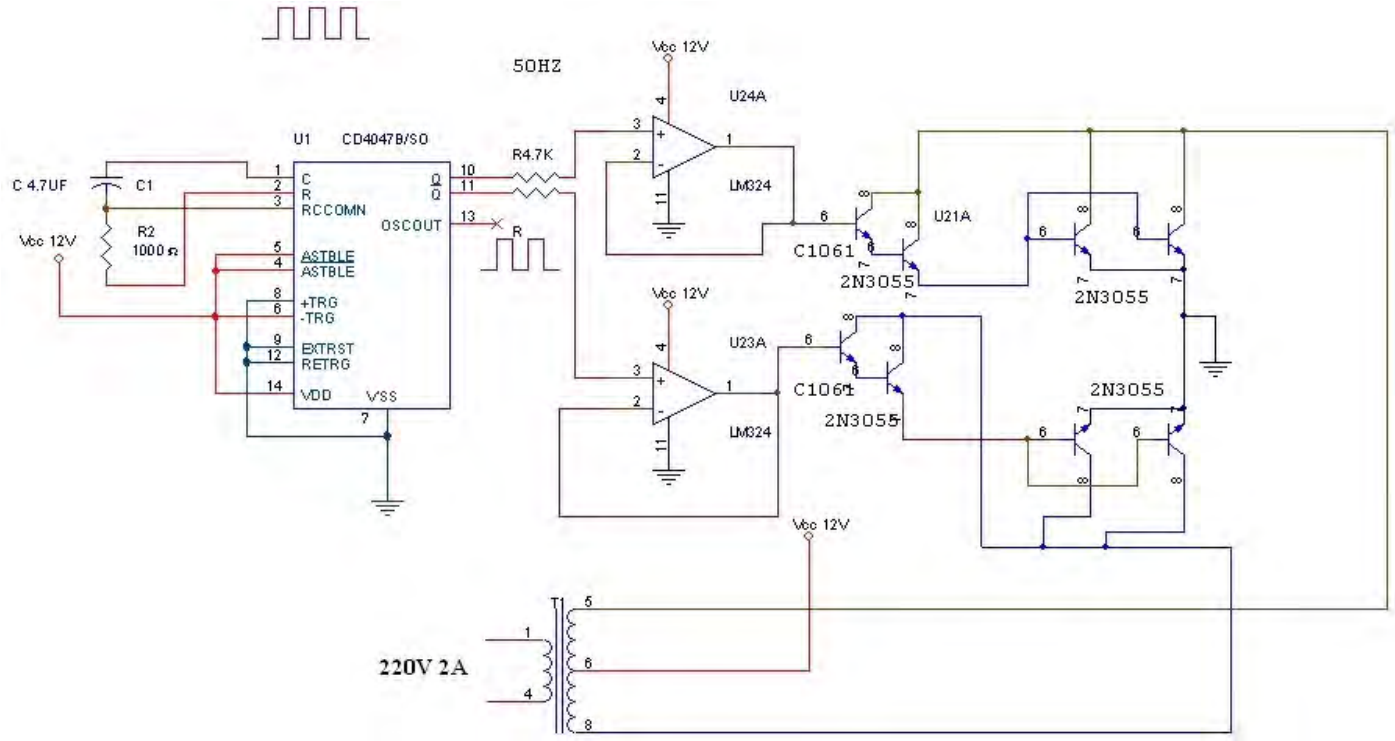


Figura 3. Circuito Inversor

Análise da Viabilidade Técnica e Econômica das Baterias Lítio-Ar

Luciana Maria
Inst. Nac. de Telecomunicações - Inatel
caiqueluc@yahoo.com.br

Renata de Oliveira
Inst. Nac. de Telecomunicações - Inatel
renataoliveira@get.inatel.br

Giovanni Henrique F. Floriano
Inst. Nac. de Telecomunicações - Inatel
giovanni@inatel.br

Resumo— A tecnologia de baterias Lítio-Ar ganhou atenção mundial em 2009 principalmente por apresentar características favoráveis a sua aplicação em sistemas de propulsão de veículos elétricos. Se desenvolvida com sucesso, em alguns anos teremos uma bateria com capacidade de armazenamento de energia muito superior a das usadas atualmente e isso, consequentemente, possibilitará a construção de veículos elétricos com grande autonomia. Outra característica que faz essa nova tecnologia se destacar é a possibilidade de armazenar energia de uma forma muito mais limpa, o que atende as demandas ambientais atuais. Também serão fortemente beneficiadas com essa tecnologia a indústria de eletro-eletrônicos portáteis e a área de energia solar fotovoltáica. Esse artigo apresenta, principalmente, o estágio atual do desenvolvimento da tecnologia das baterias Lítio-Ar, os desafios a serem vencidos e suas potencialidades.

Abstract— Battery technology Lithium-Air gained worldwide attention in 2009 mainly due to its favorable characteristics for incorporation in propulsion systems for electric vehicles. If successfully developed, in a few years we will have a battery capable of storing energy much higher than the currently used and that, consequently, allow the construction of electric vehicles with great autonomy. Another feature that makes this new technology stand out is the ability to store energy in a much cleaner, which meets current environmental demands. It will also strongly benefit from the technology industry and portable electronics area photovoltaic solar energy. This paper presents mainly the current stage of development of battery technology Lithium-Air, the challenges to be overcome and its potential.

Palavras chave—Bateria, Lítio-Ar, Lítio-Íon.
Key-words: Batterys, Litthium-Air, Lithium-Ion

I. INTRODUÇÃO

O consumo de energia no mundo está crescendo e deverá triplicar até o ano de 2050. O petróleo representanda hoje 34% dessa energia e é responsável por 40% da emissão total de gás carbônico (CO_2) na atmosfera, uma das principais causas da instabilidade da temperatura no planeta. Grande parte desse petróleo é utilizada no setor de transportes. Nesse cenário, o desenvolvimento e a popularização dos veículos com tração elétrica, assume papel de destaque. Porém a tecnologia atual de baterias limita a autonomia desses veículos, tornando-a muito menor que a dos veículos similares movidos a motores de combustão. Dentre as várias linhas de pesquisa orientadas para a obtenção de baterias com maior capacidade e eficiência, uma tem-se mostrado muito promissora: a das baterias **Lítio-Ar**. Nesse artigo apresentaremos o estágio atual dessa tecnologia, suas potencialidades e os principais desafios para a sua concretização comercial.

II. DESCRIÇÃO GERAL

A. *Breve Histórico das Baterias*

A invenção da bateria (ou acumulador elétrico) é obra de inúmeros pesquisadores. A ideia de armazenar a corrente elétrica por meio de uma transformação química surgiu no ano de 1800, com físico Alessandro Volta, criador da pilha galvânica. [1] [2] No ano de 1859, Gaston Planté idealizou a bateria ácida recarregável construída por duas placas de chumbo enroladas em forma de espiral, separadas por tiras de borracha e mergulhadas em solução de ácido sulfúrico.

B. *Composição Química*

Uma bateria é composta basicamente de dois eletrodos, geralmente em forma de placas, sendo um eletrodo positivo e um eletrodo negativo, separados por um isolador e imersos em um eletrólito, cuja composição é uma solução aquosa de ácido sulfúrico. Na bateria ocorre uma reação controlada de oxidação-redução (redox), gerando electricidade. A energia química presa em materiais ativos nos pólos dos eletrodos da bateria é convertida em energia elétrica. Os elétrons viajam do eletrodo negativo ao eletrodo positivo através de um circuito externo para alimentar a carga e completar a reação de descarga em uma combinação com os íons que fluem entre os elétrodos no interior. A *Figura 01* mostra a estrutura básica de uma bateria.

Fonte [03]

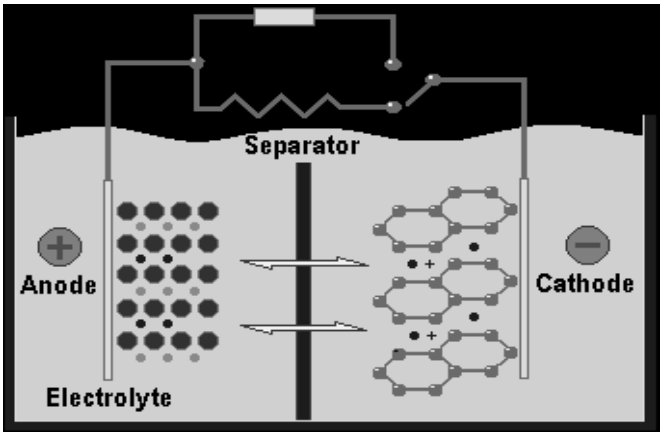


Figura 01 – Estrutura básica da bateria

Uma célula de bateria consiste em três componentes principais:

- Anodo (eletrodo negativo): perde elétrons (ou sofre reação de oxidação) durante a descarga.
- Catodo (eletrodo positivo): aceita elétrons (ou sofre reação de redução) durante a descarga.
- Eletrólito: facilita o fluxo de íons entre os eletrodos e, finalmente, onde ocorre a reação. Existe entre os eletrodos um separador de íon, cuja finalidade é evitar um curto-circuito entre os eletrólitos.

C. Tipos de Bateria

• Bateria Lítio-Íon

São as mais utilizadas atualmente porque sua capacidade de armazenamento é o dobro da bateria de Níquel-Hidreto Metálico e três vezes mais que a da bateria de Níquel-Cádmio. Além de não viciar, as baterias de Lítio-Íon são mais leves que as outras. Com todas essas vantagens, a bateria de Lítio-Íon é mais cara e necessita de um circuito eletrônico para auxiliar na funcionalidade de carga, descarga e aquecimento. O seu interior possui uma placa positiva formada por Óxidos de Cobalto e Lítio depositados sobre uma lâmina de alumínio e a placa negativa constituída por Carbeto de Lítio depositado sobre uma lâmina de cobre. Essas placas são separadas por uma folha de material plástico poroso embebido com uma solução orgânica de sais de lítio, enroladas em forma cilíndrica ou prismática. Esse tipo de bateria é muito utilizado em computadores portáteis e Smart Phones.

• Bateria Alcalina Dióxido de Manganês

As baterias alcalinas são formadas por um Anodo de Zinco com superfície ampla e por um catodo de Óxido de Manganês de densidade elevada. O eletrólito é formado por Hidróxido de Potássio, o que apresenta o dobro de capacidade de energia em relação às baterias produzidas com eletrólito de Zinco-Carbono. São eficientes em aplicações que requerem longos períodos de alimentação com correntes elevadas. São utilizadas para alimentação de jogos eletrônicos, filmadoras, gravadores e toca fitas, além de equipamentos de iluminação de emergência.

• Lítio-Íon Polímero

É uma versão mais barata do Lítio-Íon. Essa química é similar à de Lítio-Íon em termos de densidade de energia. Pode ser fabricada com uma geometria muito fina e permite uma embalagem simplificada. Esse tipo de bateria é utilizado, principalmente, em telefones celulares.

• Chumbo-Ácido

As Baterias Chumbo-Ácido foram inventadas no Séc. XIX, e tem como componentes básicos o Chumbo (ou Óxido de Chumbo) e o Ácido Sulfúrico. É a bateria mais econômica quando o problema do peso pode ser desprezado. São bastante usadas em equipamentos hospitalares, automóveis, cadeira de rodas elétricas, luz de emergência e nobreaks.

• Bateria de Níquel-Cádmio (NiCd)

É a bateria com mais tempo de uso no mercado. Assim é uma tecnologia já desenvolvida e madura. Porém a sua densidade de energia não é muito grande. Esta bateria é utilizada quando se quer longa vida, alta corrente de descarga e preço baixo. As principais aplicações são telefones sem fio, walkie-talkie, equipamentos médicos, câmeras de vídeo profissionais e ferramentas elétricas.

• Bateria de Gel

As baterias de gel são baterias eletroquímicas da família das baterias VRLA (ou valve-regulated lead-acid) que têm o seu eletrólito sob uma forma de gel. Nestes dispositivos de armazenamento o tradicional Ácido Sulfúrico é misturado com fumo de sílica, tornando assim o produto resultante numa massa gelificada e imóvel.

• Bateria de Níquel Hidreto Metálico (NiMH)

Esta bateria possui algumas vantagens em relação à bateria de NiCd: resiste a um número maior de cargas e descargas, possui um potencial energético ligeiramente superior (20% em média), custo apenas ligeiramente superior, tempo de recarga inferior e maior resistência a variações de temperatura. Tem praticamente o mesmo peso que as de NiCd, e mais amigável em relação ao meio ambiente.

• Bateria Zinco-Ar

As pilhas de Zinco-Ar são a mais recente tecnologia desenvolvida para o armazenamento de energia. Este tipo de bateria funciona extraindo o oxigênio existente no ar para reagir com o zinco e produzir eletricidade. Seu princípio de funcionamento é semelhante ao das baterias alcalinas, que também possui zinco no seu interior reagindo com o oxigênio para produzir energia. Porém, nestas baterias o oxigênio é fornecido por um componente interno (dióxido de manganês), nas baterias do tipo zinco-ar, o oxigênio vem da atmosfera, a bateria tem várias aberturas. Existem dois tipos de baterias zinco-ar: as que podem ser recarregadas e as descartáveis. Baterias deste tipo recarregáveis (onde células de zinco são substituídas) são utilizadas em aplicações como veículos elétricos. A grande vantagem deste tipo de bateria é sua durabilidade (tempo de descarga), muito maior do que a dos outros tipos até hoje existentes.

III. BATERIAS LÍTIO-AR

A. Breve Histórico

As pesquisas voltadas para esta tecnologia se iniciaram nos anos de 70, mas a tecnologia necessária estava além da capacidade da ciência de materiais disponíveis nesta época.

Em meados dos anos 90 a equipe coordenada por K.M. Abraham desenvolveu a primeira bateria prática não aquosa de Lítio-Ar, que era formada por um eletrodo negativo de lítio, por um eletrodo positivo de carbono poroso, e por uma membrana de eletrólito feita de um polímero em gel. Esta

última servia tanto de separador como de meio de transporte de íon. O oxigênio da atmosfera entrava nos poros do cátodo para servir de material ativo do mesmo. Durante a descarga da bateria, o oxigênio era reduzido e o produto resultante era armazenado nos poros do eletrodo.

B. Princípio de Funcionamento

Existem quatro tipos de baterias Litio-Ar sendo pesquisados, apenas alguns detalhes químicos são diferentes (tipo de eletrólito), porém, o principio de funcionamento é o mesmo. A *figura 02* ilustra esse princípio de funcionamento.

Fonte [5]

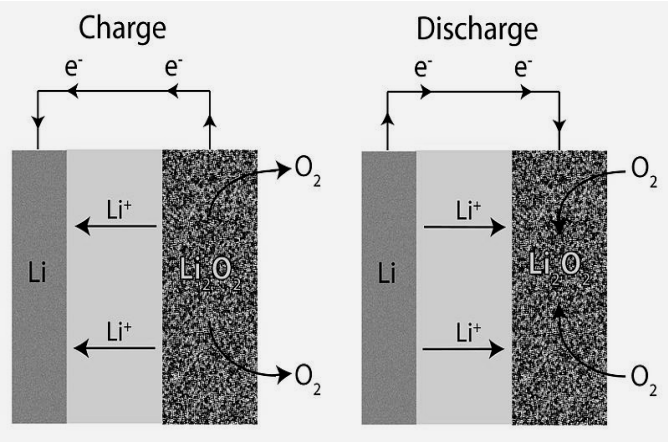


Figura 02 – Bateria Lítio-ar

De um modo geral, o lítio é oxidado no ânodo formando Lítio-Íon e elétrons. Os elétrons seguem o circuito externo para fazer o trabalho elétrico e o Lítio-Íon migra através do eletrólito para reduzir o oxigênio no cátodo. Quando o potencial externo aplicado é maior do que o potencial de padrão para a reação de descarga, o metal do lítio é liberado sobre o ânodo, gerando O_2 no cátodo.

O Metal de Lítio é a opção atual do material do ânodo para baterias Li-Ar. No ânodo, o potencial eletroquímico força o metal de lítio a obter fora os elétrons de acordo com a oxidação. A reação da metade é dada a seguir:

$$Li \leftrightarrow Li^+ + e^- \quad (1)$$

No cátodo, a redução ocorre pela recombinação de Lítio-Íon com oxigênio. Catalisadores de metal são incorporados no eletrodo de carbono para aumentar as cinéticas de redução de oxigênio e de aumentar a capacidade específica do cátodo. O manganês, cobalto, ruténio, platina, prata, ou uma mistura de cobalto e manganês são atualmente utilizados como catalisadores de metal.

O desempenho da célula Li-Ar é limitado pela eficiência da reação no cátodo, pois há maior queda de tensão da célula nele. Assim, a melhoria do cátodo de uma bateira de Li-Ar é essencial para o bom desempenho da célula de Li-Ar.

Atualmente, existem baterias químicas múltiplas, delineada pela escolha do eletrólito, de modo à reação eletroquímica exata no cátodo varia entre as baterias Li-Ar. Em uma célula com um óxido de lítio eletrólito apróticos são produzidos através de redução no cátodo:

$$Li^+ + e^- + O_2 + * \rightarrow LiO_2* \quad (2)$$

$$Li^+ + e^- + LiO_2* \rightarrow Li_2O_2* \quad (3)$$

Onde um "*" indica um local de superfície sobre a qual o produto LiO_2 de crescimento, que é, essencialmente, uma vaga Li neutro na superfície LiO_2. Percebe-se que os Óxidos de Lítio são insolúveis em eletrólitos apróticos que leva para o entupimento do cátodo. Em uma célula com um eletrólito aquoso a redução no cátodo também pode produzir Hidróxido de Lítio:

Eletrólito ácido:

$$2Li + ½\ O_2 + 2H^+ \rightarrow 2Li^+ + H_2O \quad (4)$$

A base conjugada está envolvida na reação. A energia máxima teórica e específica de células Li-Ar e a densidade de energia da célula são de 1400 Wh/kg e 1680 Wh/l, respectivamente.

Eletrólito aquoso alcalino:

$$2Li + ½\ O_2 + H_2O \rightarrow 2LiOH \quad (5)$$

As moléculas de água estão envolvidas na reação redox no cátodo de ar. A energia específica e teórica e a densidade de energia máxima da célula são de 1300 Wh/kg e 1.520 Wh/l, respectivamente.

C. Tipos de Baterias Li-Ar

Os esforços na bateria Li-Ar concentraram-se em quatro projetos químicos diferentes. Cada um possui vantagens distintas e importantes desafios tecnológicos associados. Esses tipos são descritos com mais detalhes abaixo.

C.1 – Aprótico

Com a maior concentração em pesquisas, o projeto de baterias Li-Ar consiste de um ânodo de metal de lítio, um eletrólito líquido orgânico e um cátodo de carbono poroso. Além de serem recarregáveis, as baterias apróticas formam uma barreira de forma espontânea entre o ânodo e eletrólito, protegendo o metal de lítio a partir de reação posterior com o eletrólito. A figura 03 apresenta esse tipo de bateria.

Fonte [5]

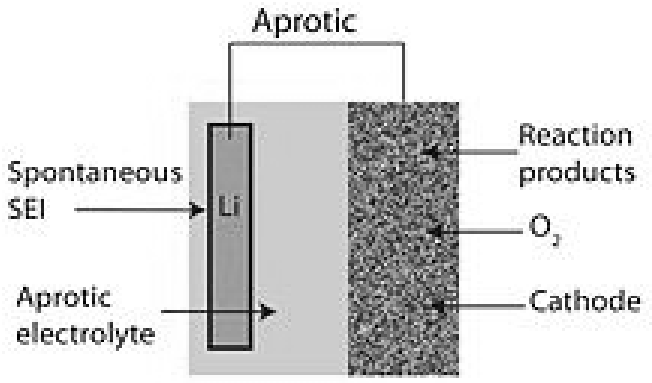


Figura 03- Esquema do projeto de bateria Li-Ar do tipo Aprótico

No entanto, as desvantagens significativas na medida em que Li_2O_2 produzido no cátodo é geralmente insolúvel no eletrólito orgânico, conduzindo a acumulação ao longo da interface do cátodo/eletrólito. Isso faz com que cátodos em baterias apróticas sejam propensos a obstrução e volume de expansão que reduz a condutividade, degradando o desempenho da bateria ao longo do tempo.

Em 2012, os pesquisadores anunciaram um desenho utilizando o sulfóxido de dimetilo como o eletrólito e as nanopartículas de ouro como cátodo, onde alcançaram 100 ciclos de carga, com uma perda de capacidade de 5%.

C.2 – Aquoso

A bateria de Li-Ar aquoso consiste em um ânodo de metal de lítio, um eletrólito aquoso, e um cátodo de carbono poroso, conforme mostrado na figura 04.

Fonte [5]

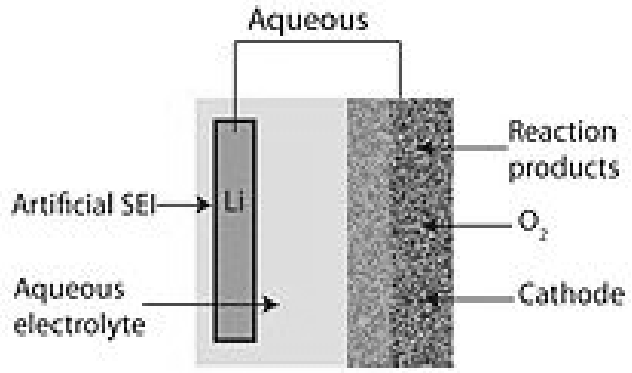


Figura 04- Esquema do projeto de bateria Li-Ar do tipo Aquoso

O eletrólito aquoso é simplesmente uma combinação de sais de lítio dissolvido em água. A bateria de Li-Ar aquoso evita o problema do entupimento do cátodo, o que ocorre em baterias do tipo aprótico. Isso porque os produtos da reação são solúveis em água e assim permitem que baterias aquosas Li-Ar mantenham o desempenho ao longo do tempo. O potencial de descarga de energia prática do projeto da bateria do tipo aquoso é superior ao tipo aprótico, no entanto, o metal de lítio reage violentamente com água e, portanto, é necessária uma interface de eletrólito sólido entre o metal de lítio e eletrólito aquoso. Comumente, uma cerâmica condutora de lítio ou de vidro é utilizada, mas são geralmente de condutividades baixas (da ordem de 10^{-3} S/cm à temperatura ambiente).

C.3 – Misto aquoso / aprótico

O projeto da bateria Li-Ar mista, ou seja, uma mistura entre o tipo aquosa / aprótica é uma tentativa de reunir as vantagens de ambos os modelos. Apesar de existirem vários modelos de híbridos, a característica comum deste modelo é um eletrólito separado em duas partes, uma parte aquosa e uma parte aprótica, ligados por uma membrana condutora de lítio. Um ânodo de lítio metálico em contato com o lado do eletrólito aprótica, enquanto o cátodo poroso está em contato com o lado aquoso. A de lítio-condutora de cerâmica é tipicamente utilizado como a membrana que une os dois eletrólitos. A descrição de funcionamento é ilustrada na *Figura 05.*

Fonte [5]

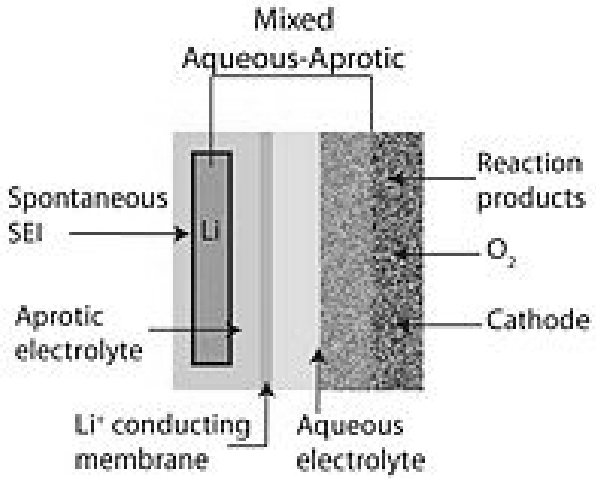


Figura 05- Esquema do projeto de bateria Li-ar do tipo misto

C.4 – Estado Sólido

O modelo da bateria de estado sólido elimina os problemas associados nas interfaces de anodo/catodo com a utilização de um eletrólito líquido. Também é atraente do ponto de vista da segurança já que os solventes orgânicos, atualmente utilizados em baterias de lítio (e utilizados na concepção da bateria aprótica Li-Ar), são inflamáveis a altas temperaturas. Já a utilização de um eletrólito orgânico pode levar à ruptura e ignição da bateria. As baterias de Li-Ar do estado sólido usam um ânodo de lítio, um anodo de vidro, um eletrólito de cerâmica ou vidro cerâmico, e um catodo de carbono poroso. O anodo e catodo são normalmente separados do eletrólito por compostos de polímero-cerâmicos que aumentam a transferência de carga para o par anodo e catodo eletroquimicamente para o eletrólito. Os compostos de polímero-cerâmica servem para reduzir a impedância total do estado sólido da bateria Li-Ar. A principal desvantagem da concepção da bateria de estado sólido é a baixa condutividade da maioria dos eletrólitos vitrocerâmicos.

Fonte [5]

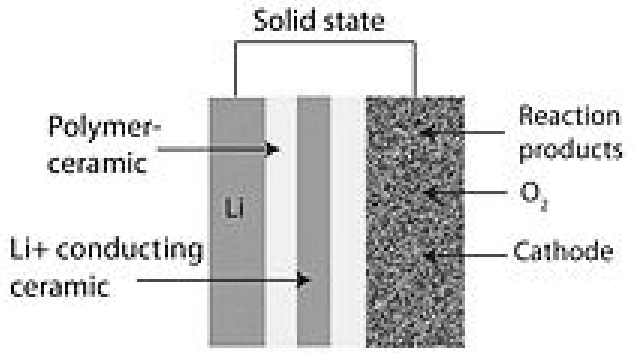


Figura 06 - Esquema do projeto de bateria Li-ar do tipo Estado

D. Dificuldades encontradas

Apesar das baterias Lítio-Ar apresentarem perspectivas promissoras de alta densidade de energia, ainda existe vários fatores que dificultam o desenvolvimento dessa nova tecnologia. Os principais desafios são:

- desenvolver uma membrana que permita a passagem do oxigênio e impeça a passagem de contaminantes como CO_2;
- desenvolver uma estrutura para o cátodo com poros suficientemente pequenos para adquirir uma elevada área superficial e minimizar os efeitos do entupimento devido à deposição de Óxido de Lítio;
- melhorar a difusão de oxigênio para aumentar a densidade de energia;
- desenvolver um sistema capaz de manter a densidade de energia para uma quantidade elevada de ciclos de carga e descarga.

A densidade de energia estimada é de 1.300 Wh/kg para o eletrólito alcalino aquoso e de 1.400 Wh/kg para o eletrólito aquoso ácido. No entanto, o contato do eletrólito aquoso com o anodo de lítio induz a uma reação entre lítio e água/ácido, e faz com que se acelere o consumo do anodo de Lítio e do eletrólito. A bateria Lítio-Ar não aquosa está prevista para ter uma densidade de energia de 2.790 Wh/kg, e as células da bateria estão limitadas pelo catodo de ar, que fica entupido pelos Óxidos de Lítio que são insolúveis no eletrólito. Uma pesquisa realizada recentemente pelos pesquisadores Alexander Kraytsberg e Yair Ein-Eli diz que a combinação de ambos os tipos de eletrólitos podem fornecer uma solução para ambos os limites, tais como, a adição de aditivos para dissolver Óxido de Lítio ou o eletrólito a fim de reduzir a permeabilidade entre o anodo e o eletrólito. A densidade de energia das baterias Lítio-Ar é um pouco mais baixa, resultado da percentagem de peso indispensável ao eletrólito da célula (aproximadamente 70%), e do teor de carbono e do lítio que é de aproximadamente apenas 11%. [8]

A densidade de potência é um parâmetro essencial para a propulsão elétrica. Apesar da promessa de alta densidade de energia, as baterias de Lítio-Ar têm apresentado baixa densidade de energia. Durante o processo de descarga, o oxigênio é reduzido à forma de Óxidos de Lítio, e o ciclo de carga se reverte e a reação química decorrente desse processo produz oxigênio gasoso. Ambos os processos ocorrem na superfície do catodo. Como resultado, para assegurar uma potência de saída satisfatória, uma área de superfície elevada do cátodo é substancial. O protótipo aprótico pode entregar densidades de corrente na ordem de 1 mA/cm^2. Será crítico aumentar esta densidade de corrente quanto a sua ordem de magnitude. Por exemplo, uma bateria com 100 kW de potência de saída com uma tensão de célula de 2,5 V e uma densidade de corrente de $25mA/cm^2$ irá requerer uma área total da superfície interna de 160 m^2 - igual à da superfície interna do pulmão humano.

A eficiência de carga e descarga típica para qualificação de propulsão elétrica é de 90%. No entanto, a eficiência de carga e descarga da bateria Lítio-Ar com catodo de carbono puro é apenas 57%, por isso as baterias Litio-Ar são inferiores em processos de carga e descarga. Este registro pode ser melhorado com a utilização do cátodo em platina/ouro, - utilizado como catalisador - elevando este parâmetro a 73%. Mas devido aos custos elevados destes elementos a bateria Lítio-Ar se tornaria inviável comercialmente.

O tempo de vida é outro parâmetro para a avaliação do futuro das baterias Lítio-Ar. A formação de Óxidos de Lítio durante o ciclo de descarga é transferida para o cátodo, reagindo com o oxigênio de entrada e reduzindo o tempo de vida das baterias. O processo de recarga envolve a redução de Óxidos de Lítio (Li_2O e Li_2O_2), entretanto, o Li_2O não é eletroquimicamente ativo e, posteriormente, não participa de reações reversíveis. O Li_2O tem um teor de Óxidos de Lítio que varia de 0-100%, dependendo do tipo de eletrólito e o cátodo de carbono. A célula da bateria inteira é terminada através da acumulação de Óxidos de Lítio entupindo todos os poros do cátodo, uma vez que o efeito de obstrução impede o transporte de mais íons de Lítio e das moléculas de oxigênio.

A maioria das pesquisas realizadas foi feita em um ambiente de alta pureza de oxigênio. Em operação real, quando o oxigênio é extraído do ar ambiente, o teor de umidade no ar é transportado para a bateria e reage com o anodo de Lítio, reduzindo o tempo de vida da bateria. Uma pesquisa realizada recentemente pela Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) utilizou uma membrana com interface de filtragem, permitindo a difusão de oxigênio, assim eliminando a umidade, e operando em temperatura ambiente, com 21% de oxigênio e 20% de umidade relativa. Os resultados foram encorajadores, obteve-se 362 Wh/ kg em densidade de energia ao longo de um mês. Shao-Horn uma das pesquisadoras envolvidas no projeto declarou: "*É uma área muito promissora, mas há muitos desafios a serem superados em tanto de ciência quanto de engenharia",* diz ela. *"Se elas realmente demonstrarem manter de duas a três vezes a densidade de energia das baterias atuais de Lítio-Íon, as primeiras aplicações serão nos eletrônicos portáteis, só depois avançando para os veículos elétricos."* [9].

IV. TESTES REALIZADOS

O problema é que todos os protótipos têm-se mostrado instáveis, deteriorando-se após alguns poucos ciclos de carga e descarga. Em alguns testes substituíram o material à base de carbono usado no catodo por outro material, contendo nano partículas intrínsecas de ouro. Eles também substituíram o eletrólito, que era feito de policarbonatos, por um solvente chamado DMSO (dimetilsulfóxido), que em estudos anteriores demonstraram ser menos sujeito a reagir com o catodo. A substituição dos materiais apresentou excelentes resultados: as baterias passaram a suportaram 100 ciclos de carga e descarga, com uma perda de potência de apenas 5%. "*Os resultados são muito encorajadores ao mostrarem que nem tudo está perdido*". Com o objetivo de se tornar um avanço do que seria o inicio de uma revolução no mercado de baterias em muitos anos, comentou a química Linda Nazar, em declaração a revista Science. [9]

Em testes realizados pela empresa PolyPlus com as baterias constituídas de lítio metálico demonstrou-se a possibilidade de solução de um dos problemas da criação das Baterias Lítio-Ar, a segurança, pois o lítio nessa forma é altamente reativo se em contato com a água. A partir daí desenvolveu-se o "eletrodo de Lítio protegido". Este dispositivo consiste de uma peça plana e retangular de metal de Lítio sobreposto em ambos os lados por um material cerâmico: eletrólito lisicon. Este eletrólito sólido é impermeável à água, mas permite a passagem dos íons de lítio. Outro revestimento protege o eletrólito de reagir com o metal lítio. E, finalmente, as bordas do dispositivo são seladas com um laminado de alumínio com polímero. O laminado proporciona uma vedação estanque, e é flexível, por isso não cria qualquer tensão quando os eletrodos diminuem com o uso.

Quando o elétrodo de lítio de metal é colocado em água, os íons de lítio vazam e reagem com o oxigênio dissolvido na água ou com a própria água. Para fazer uma bateria de lítio de metal-ar, o dispositivo está equipado com um elétrodo de difusão de gás, semelhantes aos utilizados das baterias de zinco metal-ar dos aparelhos auditivos. A figura 07 demonstra o teste realizado.

Fonte [11]

Figura 07**:** Protótipo feito por PolyPlus usa Lítio metálico como ânodo e água salgada como cátodo para alimentar um LED.

A equipe de pesquisa do Japan's National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) tem testado o uso nano folhas de Grafeno sem metal (GNSS) para a melhora de desempenho e estabilidade nos ciclos de carga e descarga da Bateria Lítio-Ar, pois o GNSS apresenta bom desempenho como catalizador. Embora os resultados obtidos mostrem um baixo desempenho no ciclo de carga/descarga, os testes apresentaram maior estabilidade. A figura 08 ilustra o diagrama de aplicação.

Fonte [12]

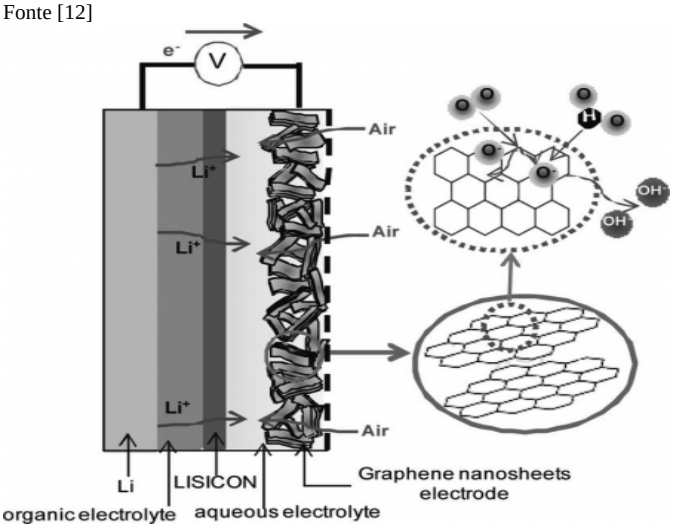


Figura 8- Diagrama de Aplicação da bateria de Lítio-Ar com GNSS

A falta de entendimento da redução e liberação de oxigênio em eletrólitos não aquosos impede o desenvolvimento das baterias de Lítio-Ar motivando assim novas pesquisas e testes. Uma nova técnica desenvolvida por pesquisadores do MIT permite o estudo da reação eletroquímica no processo de carga e descarga das baterias Lítio-Ar.

Em um trabalho publicado no *Relatório Periódico Científico da revista Nature* um dos pesquisadores envolvido no projeto, *o* professor Kendall, diz: "*Estamos focados em descobrir o que realmente acontece durante a carga e descarga"* [13]. Para que essa experiência fosse realizada, seria necessário o uso de um tipo especial de Raios-X com alta intensidade de iluminação (ALS), no entanto, existem apenas dois equipamentos no mundo capazes de realizar esse tipo de experiência. Nesse trabalho foi utilizada a Fonte de Luz Avançado (ALS) do Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) na Califórnia. A figura 09 mostra o dispositivo usado para a realização dos testes.

Fonte [13]

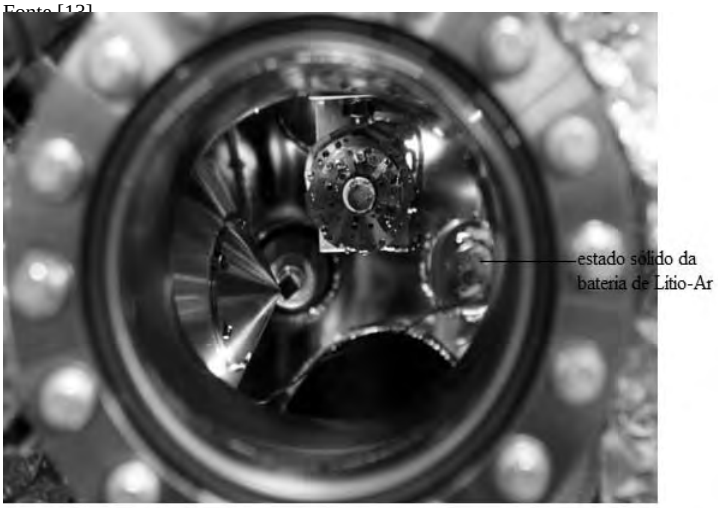


Figura 09 - Bateria de Lítio-Ar em estado sólido posicionado dentro de uma câmara de teste do ALS.

A realização dessa experiência permitiu estudar as reações eletroquímicas na superfície dos elétrodos, e mostrar as reações entre o Lítio e o Oxigênio, conforme a tensão aplicada à célula fosse alterada. Os testes usaram uma versão de estado sólido de uma bateria de Lítio-Ar. Quando se descarrega, as baterias reagem convertendo o Lítio em Peróxido de Lítio. Utilizando o ALS, foram produzidos espectros detalhados do desenvolvimento da reação, e mostrar que esta reação é reversível na superfície de óxido de metal. Sobre essa experiência Crumlin, um dos pesquisadores envolvidos, diz: "*Possibilita a investigação de uma ampla gama de estudos eletroquímicos em reais condições ambientais, inclusive a capacidade de estudar a química da superfície de nosso projeto especialmente Dióxido de célula de Lítio em estado sólido.*" [13]. Este estudo demonstrou que o uso de Óxidos de metal, como o elétrodo tem potencial para permitir que uma bateria de Lítio-Ar mantenha o seu desempenho ao longo de muitos ciclos de operação.

V. Vantagens e Desvantagens

A bateria Lítio-Ar teoricamente possui vantagens de ambas as baterias secundárias e células de combustível existentes no mercado. O problema principal é a densidade de energia intrínseca da bateria Lítio-Íon que é pequeno. Nas baterias Lítio-Ar a densidade de energia que se pode oferecer é significante não apenas para a produção em escala de veículos elétricos (EVs) com autonomia elevada, mas também uma redução no tamanho dos pacotes de baterias. Em um carro como o modelo Nissan Leaf, utiliza-se uma bateria de Lítio-Íon de 150 kg, o que lhe dá uma autonomia de 160 km. Se esta bateria fosse substituída pela tecnologia Lítio-Ar, a mesma autonomia poderia ser alcançada a partir de baterias pesando apenas 30 kg.

Uma pesquisa abrangente da indústria de baterias foi realizada pela Frost & Sullivan, empresa internacional de consultoria e inteligência de mercado, e com base nos fundamentos da química, utilizando configurações de células Lítio-Ar, foi comparado seu desempenho em relação às baterias de Lítio primárias. O resultado dessa pesquisa é apresentado na tabela I:

TABELA I:
DESEMPENHO DAS BATERIAS LÍTIO PRINCIPAL X LÍTIO-AR

Fonte [20]

Dados	**Lítio Principal (disponíveis no mercado)**	**Lítio-Ar**
Densidade de Energia	120–350 Wh / Kg	1800 Wh/Kg
Custo	Depende do tipo de catodo e da aplicação final	Menos que o Lítio Principal
Peso da Célula	Depende do cátodo	Leve desde que o ar atue como cátodo

Dr. Steven Visco, diretor de tecnologia e vice-presidente da Companhia de bateria PolyPlus declarou: "*Baterias de Lítio-Ar são capazes de ter densidades de energia muito maiores do que as tradicionais baterias de Lítio-Íon, até mesmo rivalizando com a densidade de energia do petróleo.*" [22] Em vez de usar Óxidos metálicos no eletrodo positivo, as baterias de Lítio-Ar usam carbono, devido ao baixo custo e peso leve, e reage com o oxigênio do ar ambiente para produzir corrente elétrica.

Apesar do fascínio que a Bateria Lítio-Ar vem despertando e com resultados excelentes até o momento, muitas dúvidas permanecem sobre esse sistema, por exemplo, se seria de fácil aplicação e sua viabilidade. Em um simpósio sobre essa tecnologia no Laboratório Nacional Lawrence Berkeley, Thomas Greszler representante de pesquisa da empresa General Motors explicou a decisão dela de não investir nessa tecnologia. Ele afirmou que, dadas as exigências inerentes à implantação da bateria Lítio-Ar em um carro, seria pouco provável a economia de custos. Os requisitos incluem um compressor e um ventilador para bombear o ar para dentro do carro a partir do exterior, bem como um meio de remoção de todos os vestígios de vapor de água do ar de entrada, que de outro modo poderia reagir violentamente com metal de lítio. Outra questão abordada neste simpósio é que este novo tipo de bateria envolve a adição de mais componentes e, assim, de mais peso, podendo ser pouco provável que ela supere as baterias existentes. Em última análise, houve muita discussão sobre a viabilidade da bateria Lítio-Ar em carros.

VI. Outras Aplicações

Além da importante aplicação citada anteriormente, o uso das baterias em veículos elétricos, as baterias Lítio-Ar vem ganhando destaque em eletrônicos portáteis (celulares, notebooks, etc) e principalmente em sistemas solares fotovoltaicos para geração de energia elétrica. A seguir discutimos brevemente essas aplicações.

A. Eletroportáteis

Os eletroportáteis são equipamentos eletrônicos que nos acompanham diariamente, e a quantidade de usuários vem crescendo incessantemente, em especial celulares, notebooks e tablets. Torna-se então importante que esses aparelhos utilizem formas de energias mais limpas, colaborando assim com o seu descarte final, e consequentemente, causando menos impacto ao meio ambiente. As baterias de Lítio-Ar podem assumir esse papel, além das vantagens de maior tempo de carga, densidade, e diversas outras vantagens citadas neste artigo.

B. Energia Solar Fotovoltaica

O sistema de transformação de energia solar em energia elétrica tem como elemento principal as células fotovoltaicas. Essas células são dispositivos semicondutores utilizam o efeito fotovoltaico para absorver a energia solar e fazer com que flua uma corrente elétrica entre duas camadas com cargas opostas. A energia convertida é armazenada em baterias. Devido a demandas técnicas, econômicas e/ou ambientais, a utilização desses sistemas vem crescendo fortemente em todo

o mundo. Nesse campo também se tem pesquisado a aplicação das Baterias de Lítio-Ar para o armazenamento da energia.

VII. Conclusão

Conforme foi apresentado, a bateria Lítio-Ar promete oferecer diversas vantagens e benefícios em relação às outras baterias, em especial às de Lítio-Íon. . Porém, ainda há muitos desafios que precisam ser superados para que essa tecnologia se transforme em um produto comercialmente viável. Grandes empresas, principalmente as ligadas ao setor automobilístico, e pesquisadores acadêmicos estão trabalhando em conjunto para desenvolver soluções para esses desafios.

Espera-se que nos próximos cinco anos tenham-se respostas às diculdades atualmente encontradas, e assim, a viabilidade técnico-econômica das baterias Lítio-Ar seja totalmente definida. As perpectivas são bastante favoráveis. A concepção de uma tecnologia de bateria verde e sustentável é atualmente essencial, assim como a atenção ao ciclo de vida, a abundância de matérias-primas e a reciclagem são cruciais. Por estas razões, espera-se muito das Baterias Lítio-Ar.

Referências

[1] Alessandro Volta - Físico Italiano que inventou a bateria. (2012, Mar.) [Online]. Disponível: http://www.explicatorium.com/Alessandro-Volta.php

[2] Jennifer Fogaça. (2012, Mar). Alessandro Volta. [Online]. Disponível: http://www.brasilescola.com/quimica/alessandro-volta.htm

[3] Jennifer Fogaça. (2012, Mar). História das Pilhas. [Online] Disponível: http://www.brasilescola.com/quimica/historia-das-pilhas.htm

[4] Jonh Donohoe. (2012, Mar.) Renewable Energy Strategy for Ireland: Energy Storage Systems in Ireland [Online]. Disponível: http://sites.google.com/site/ee535test/john-donoghue

[5] Lithium-air battery. (2012, Abr.) [Online]. Disponível: http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_air_battery

[6] Baterias: Todos seus segredos (2012, Mar.) [Online]. Disponível: http://www.nitromodelismo.com.br/index.php/component/content/article/167-baterias-todos-seus-segredos.html?showall=1

[7] Manual de Baterias Recarregáveis, pilhas e Carregadores (2012, Mar) [Online]. Disponível: www.sta-eletronica.com.br

[8] A. Kraytsberg, Y. Ein-Eli. (2012, Abr.) Review on Li–air batteries - Opportunities, limitations and perspective.[Online] Disponível: http://gtep.technion.ac.il/files/1871288256458.pdf

[9] MIT Anuncia Avanços Rumo a Baterias Mais Leves (2012, Abr.) [Online]. Disponível: http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=baterias-litio-oxigenio-litio-ar&id=010115100405

[10] Baterias de ar-lítio recebem uma nova carga (2012, Maio) [Online]. Disponível: http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=baterias-ar-litio

[11] Karina Bourzac.(2012,Maio).Waterproof Lithium-Air Batteries[Online].Disponível:http://www.technologyreview.com/news/414136/waterproof-lithium-air-batteries/

[12] The Lithium Air Battery Makes Progress (2012, Maio) [Online]. Disponível:http://newenergyandfuel.com/http:/newenergandfuel/com/2011/03/28/the-lithium-air-battery-makes-progress/

[13] Dadid L. Chandler, MIT News Office. (2012, Jun.) New technique reveals lithium in action [Online]. Disponível: http://web.mit.edu/newsoffice/2012/lithium-battery-mechanism-unveiled-1008.html

[14] M. Armand, J.M. Tarascon. “Building better batteries”, Nature, vol. 451, pp. 1- 6, Fev. 2008.

[15] Wikerson Landim. (2012, Jul.). IBM cria bateria de Lítio-Ar leve e com alta densidade. [Online]. Disponível: http://www.techserra.com/2012/04/ ibm-cria-bateria-de-litio-ar-leve-e-com.html

[16] J. Christensen ‘et al.’ (2012, Jul.). “A Critical Review of Li/Air Batteries”, Journal of The Electrochemical Society .vol. 159, pp. R1-R30, Fev. 2012.

[17] Zachary Shahan. (2012, Jul)Solar Energy Storage Pilot Project [Online]. Disponível: http://cleantechnica.com/2012/04/25/solar-energy-storage-pilot-project/

[18] G. Girishkumar ‘et al’ (2012, Ago.). Lithium − Air Battery: Promise an Challenges[Online].Disponível: http://www.greencarcongress.com/2010/07/girishkumar-20100709.html

[19] David L. Chandler, MIT News Office. (2012, Set.) Research update: Improving batteries’ energy storage[Online] Disponível: http://web.mit.edu/newsoffice/2011/better-battery-storage-0725.html

[20] Lithium-Air Battery – A New Kid in the Blok! (2012, Jun) [Online]. Disponível: http://www.frost.com/sublib/display-market-insight-top.do?id=177395168

[21] Ricardo Pinto. (2012, Out.) Catalisador de ouro-platina expande eficiência de baterias de lítio-ar. [Online] Disponível: http://www.wikienergia.pt/~edp/index.php?title=Catalisador_de_ouro-platina_expande_efici%C3%A Ancia_de_baterias_de_l%C3%ADtio-ar

[22] David Mello. (2013, Jan.) Developments in Lithium-Air Battery Technology to Be Addressed at 6th Lithium Mobile Power Conference Next Month in Boston [Online].Disponível: :http://www.prweb.com/releases/2010/10/prweb4614634.htm

[23] Painel Solar Fotovoltaico (2012, Abr.) [Online].Disponível: http://pt.wikipedia.org/wiki/Painel_solar_fotovoltaico

[24] Carros da Fiat terão painéis solares. (2013, Fev.) [Online]. Disponível: http://paineissolaresbr.blogspot.com.br/

[25] Predictions: 500 Mile Battery is R&D Brakethrough and Could Revolutionize and Main Stream the Electric Car. (2013, Fev.) [Online]. Disponível: http://futurepredictions.com/2012/02/predictions-300-mile-battery-is-rd-brakethrough-and-could-revolutionize-and-main-stream-the-electric-car/

Giovanni Henrique Faria Floriano nasceu em Itajubá, MG em 8 de agosto de 1964. Graduado em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Engenharia de Itajubá (1988). Atualmente é professor adjunto do Instituto Nacional de Telecomunicações de Santa Rita do Sapucaí, MG (INATEL).

Luciana Maria nasceu em Santa Rita do Sapucaí, MG, em 31 de Dezembro de 1978. É Técnica em Eletrônica pela ETE ``FMC'' (2003). Atualmente é aluna do 8° período do curso de Engenharia Elétrica do Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), possui inglês intermediário e espanhol fluente.

Renata Oliveira nasceu em Santa Rita do Sapucaí, MG, em 26 de Dezembro de 1988. . É Técnica em Eletrônica pela ETE “FMC” (2010). Atualmente aluno do 4º período do curso de Engenharia de Telecomunicações do Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), possui inglês intermediário.

Simulações com ambientes virtuais interativos

Herculano De Biasi

Universidade do Contestado – UnC Campus Curitibanos
herculano.debiasi@gmail.com

Nilton K. G. Suzuki

Universidade do Contestado – UnC Campus Curitibanos
nkazuo@gmail.com

Thiago V. Molin

Universidade do Contestado – UnC Campus Curitibanos
thiago2027@yahoo.com.br

Rudinei L. Santos

Universidade do Contestado – UnC Campus Curitibanos
engenheiro.rudy@hotmail.com

***Resumo*— Este artigo descreve o projeto e desenvolvimento de um estande virtual interativo utilizado pela UnC - Universidade do Contestado, durante o evento EXPOCENTRO, feira realizada anualmente na cidade de Curitibanos, SC, Brasil. A fim de alcançar os objetivos desejados, softwares como SolidWorks, Maya e o *engine* UDK foram utilizados. O estande virtual inclui a animação de um manipulador robótico, projeto e montado na mesma universidade. Cenários interativos também foram desenvolvidos.**

***Abstract*— This paper describes the design and development of a virtual stand used by the UnC – Universidade do Contestado, during the EXPOCENTRO fair, which takes place every year at the city of Curitibanos, SC, Brazil. In order to achieve the desired results, software tools like SolidWorks, Maya and the UDK engine were used. The virtual stand includes the animation of a robotic manipulator. Interactive scenarios have also been developed.**

***Palavras chave*— Simulação, ambiente virtual interativo.**

I. Introdução

Simulações e animações gráficas são importantes técnicas utilizadas para a demonstração do funcionamento de sistemas, além disso, se um cenário for criado e o usuário puder interagir com ele, existe a possibilidade de utilização como forma de treinamento. Este artigo apresenta o desenvolvimento de um estande virtual e, dentro dele, a animação de um manipulador robótico. Neste projeto foram utilizados em conjunto o software de desenho SolidWorks, da empresa Dassault Systèmes SolidWorks Corp., a ferramenta de animação 3D Maya, desenvolvida pela empresa Autodesk, e o engine UDK (Unreal Development Kit), desenvolvido pela empresa Epic Games. O software SolidWorks é pago, existindo uma versão educacional para instituições de ensino. A ferramenta 3D Maya também é paga mas existe uma versão educacional livre totalmente funcional que pode ser baixada após realizar cadastro do site da empresa. O *engine* UDK é gratuito para uso não comercial [1].

Herculano De Biasi (herculano.debiasi@gmail.com), Nilton Suzuki (nkazuo@gmail.com), Thiago Molin (thiago2027@yahoo.com.br) e Rudinei dos Santos (engenheiro.rudy@hotmail.com) pertencem à Universidade do Contestado – UnC Campus Curitibanos. Av.Leoberto Leal, 1904 - Curitibanos - SC - Brasil - 89.520-000.

II. Materiais e Métodos

Primeiramente o manipulador foi projetado no software SolidWorks (Figura 1). Cerca de 20 peças separadas foram projetadas e desenhadas em SolidWorks. Após esta fase, as peças foram unidas em uma montagem (*assembly*) do SolidWorks, na qual foram inseridas as restrições (*constraints*) de movimentação. Essas restrições fazem com que o objeto virtual se comporte como o equipamento real, incluindo aí limitações nos graus de liberdade de movimentação e orientação, tipo de material e peso.

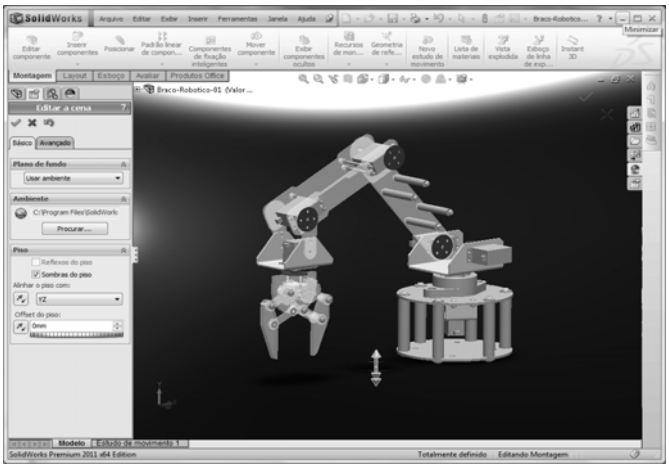


Fig. 1. Projeto em SolidWorks.

As restrições fazem, por exemplo, com que uma peça possa girar somente ao redor de um eixo, e não no sentido latitudinal ou longitudinal, ou que uma peça pare de se deslocar ao encostar-se a outra peça.

Após a modelagem no SolidWorks, o projeto foi importado no Maya (Figura 2), que auxilia o desenhista a criar modelos 3D realistas e as animações dos mesmos, levando em conta fatores como peso, distorção devida a movimento, cinemática inversa (para articulações). O software Maya torna mais rápido o desenvolvimento de animações, gerando cenas intermediárias entre uma cena inicial e outra final.

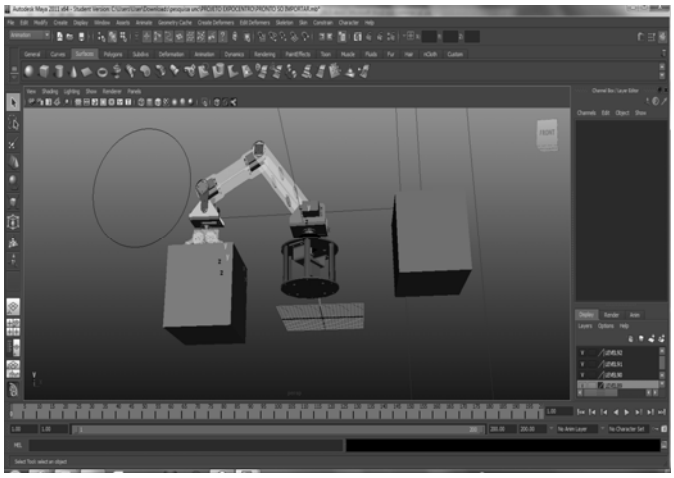


Fig. 2. Modelagem em Maya.

Finalmente, esse modelo foi empregado no *engine* UDK (Figura 3) para possibilitar a navegação pelo cenário, como se o usuário estivesse em um ambiente de jogo em primeira pessoa.

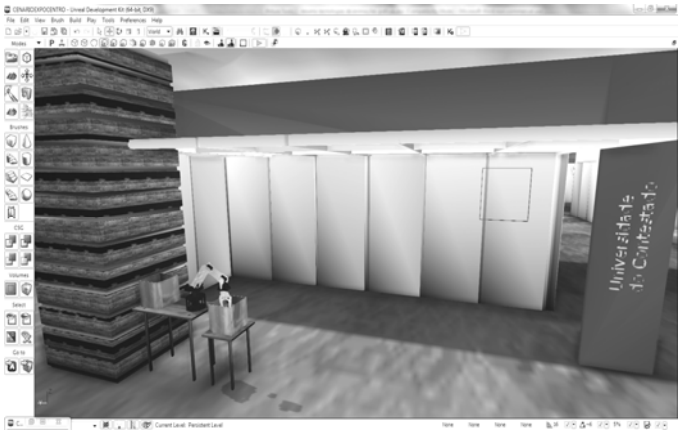


Fig. 3. Cenário com animação do robô feito no *engine* UDK.

Para a confecção do ambiente virtual foram utilizados padrões e cores do cenário real, neste caso, as instalações da Expocentro, em Curitibanos. A movimentação dentro do cenário é possível através do mouse ou do teclado, sendo que a animação é executada em tempo real de forma bem suave.

Em outra simulação (Figura 4 e Figura 5) pode-se observar algumas das funcionalidades que servem de base para a simulação de um braço mecânico pneumático. Estão presentes a ativação do compressor de ar, e os comandos para a elevação e abertura da garra. O sistema apresenta recursos básicos de interação, fazendo com que o braço mecânico mude de configuração ao serem pressionadas as chaves do painel de controle.

Fig. 4. Modelagem de um braço mecânico pneumático (posicionamento original).

Fig. 5. Modelagem de um braço mecânico pneumático (posicionamento após interação com o sistema).

III. Conclusões

Para expandir as possibilidades de simulação são necessários recursos externos ao *engine*, como, por exemplo, a tecnologia chamada Scaleform™, a qual, através de código em Flash, possibilita a interação do usuário com menus e telas, dentro do próprio simulador, oferecendo uma recriação realista das situações encontradas em um ambiente real de trabalho [2]. O *engine* oferece suporte para plataformas móveis, ou seja, celulares e *tablets* Android e iPhone OS. Outro aspecto interessante do uso do simulador baseado no UDK é a possibilidade de conexão de diversas máquinas no mesmo ambiente virtual, possibilitando uma simulação completa de um setor industrial. Por exemplo: alguns funcionários poderiam estar trabalhando em sistemas supervisórios, enquanto outros estariam operando máquinas e resolvendo problemas na indústria virtual.

Embora a curva de aprendizado dos softwares envolvidos não seja suave, os resultados foram superaram as expectativas iniciais e trabalhos futuros já estão sendo planejados. Um vídeo da animação está disponível no endereço http://youtu.be/OHk0CG2W7rE.

Referências

[1] UDK Engine. In: Unreal Engine. Disponível em http://www.unrealengine.com/¬en/-udk. Acesso em 10 de set. de 2012.

[2] Scaleform. In: Autodesk Gameware. Disponível em http://gameware.autodesk.com/scaleform. Acesso em 10 de set. de 2012.

Desenvolvimento de um Manipulador Robótico

Rudinei L. Santos

Universidade do Contestado – UnC Campus Curitibanos
engenheiro.rudy@hotmail.com

Nilton K. G. Suzuki

Universidade do Contestado – UnC Campus Curitibanos
nkazuo@gmail.com

Luis E. Fritsch

Universidade do Contestado – UnC Campus Curitibanos
luisexperton@hotmail.com

Herculano De Biasi

Universidade do Contestado – UnC Campus Curitibanos
herculano.debiasi@gmail.com

***Resumo*— Este artigo descreve os passos executados para a elaboração de um manipulador robótico antropomórfico, servindo como fonte didática para estudos nas disciplinas da grade de Engenharia de Controle e Automação e como base de testes para novas tecnologias, como visão computacional. Este conhecimento dos movimentos de um braço robótico permite ao aluno compreender melhor o processo de automação e controle via programação o que auxiliará para seu preparo para o mercado de trabalho. Sendo o diferencial deste trabalho a disponibilização de todos os arquivos de desenho das peças, manual de montagem e exemplos de programação.**

***Abstract*— This paper describes the steps taken for the development of an anthropomorphic robotic manipulator, serving as a didactic help during classes in the Control and Automation Engineering course and as a basis for testing new technologies such as computer vision. The knowledge of the robotic arm movements allows the students to better understand the automation and control process via programming, which will help them to prepare themselves for the job market. The innovative aspects of this work are the availability of drawing files of all assembly parts, assembly instructions and programming examples.**

***Palavras chave*— Manipulador robótico, plataforma Arduino.**

I. Introdução

Hodiernamente robôs são usados para os mais variados fins, sendo amplamente utilizados em situações que podem causar riscos à vida do ser humano. Entretanto, possuem grande utilidade em trabalhos corriqueiros, como por exemplo, robôs utilizados para transporte de arquivos e produtos em empresas ou aqueles usados para limpeza de ambientes.

Vemos que o mercado consumidor está cada vez mais exigente. Produtos são atualizados constantemente, e a cada versão percebemos a velocidade de construção e alta tecnologia aplicada. Suprir essa demanda somente com o trabalho humano mostra-se perigoso, pois a qualidade e rapidez exigida pode prejudicar a integridade física e mental do trabalhador. Com isso, o uso de robôs, principalmente do tipo manipulador industrial, torna-se uma necessidade para manter uma produção de qualidade com respeito à saúde de colaboradores e às exigências do mercado consumidor.

Em universidades, muitas vezes mostra-se difícil a aquisição de manipuladores robóticos. O alto custo destes equipamentos, compatíveis com a tecnologia necessária na sua confecção, impossibilita que estes centros de ensino os adquiram. Além do mais, muitos desses manipuladores disponíveis vêm com praticamente tudo pronto, não permitindo alterações, e compatíveis com um número limitado de equipamentos. Logo, o estudante não consegue entender a raiz do funcionamento de um robô. Dificilmente, irá se deparar com dificuldades básicas de robótica, como torque e posições limites de atuação.

Este artigo pretende mostrar uma alternativa para aquisição de manipuladores robóticos em instituições de ensino, trazendo as características de um robô de alta tecnologia para outro com um custo inferior. Visa também uma maior compatibilidade com outras tecnologias da automação. Com isso, esse manipulador torna-se uma base de testes para os equipamentos que são utilizados no mercado industrial. Da mesma forma, serve como base de estudo para cálculos matemáticos, programação C/C++ e trabalhos que envolvam mecânica e física. Isso possibilita a criação de robôs mais sofisticados, uma vez que se tem um princípio que mostra quais movimentos um manipulador pode executar com determinadas caraterísticas como, por exemplo, de motor e material de construção.

II. Materiais e Métodos

Os trabalhos apresentados neste artigo tiveram inicialmente uma pesquisa em projetos de outras universidades, que concluíram com êxito seu manipulador robótico, e em empresas especializadas na automação de linhas de produção com o uso de manipuladores. Entretanto, visto a quantidade reduzida de informações referentes à construção e programação teve início uma pesquisa em artigos de revistas

Herculano De Biasi (herculano.debiasi@gmail.com), Nilton Suzuki (nkazuo@gmail.com), Luis Fritsch (luisexperton@hotmail.com) e Rudinei dos Santos (engenheiro.rudy@hotmail.com) pertencem à Universidade do Contestado – UnC Campus Curitibanos. Av.Leoberto Leal, 1904 - Curitibanos - SC - Brasil - 89.520-000.

da área de engenharia que abordavam o amplo uso de manipuladores e visão computacional na indústria. Encontra-se também em alguns livros o incentivo ao uso de robôs como forma de aprendizado, os quais se tornaram uma das principais fontes de pesquisa deste trabalho, trazendo em foco os tipos de robôs existentes, trabalhos possíveis de serem executados por um manipulador antropomórfico, cálculos de posicionamento em plano 2D e histórico de robôs já construídos.

Após essa primeira etapa, houve um intenso trabalho para a construção de protótipos de baixo custo que permitissem testes mecânicos e físicos. Uma vez definido os movimentos básicos do robô deve-se testar o material a ser utilizado e torque dos motores disponíveis. Quando todos os dados necessários já tiverem sido coletados, parte-se para o projeto computacional, no qual todos os resultados dos protótipos são aplicados em peças que darão a forma desejada ao manipulador. O uso do computador nessa fase permite algumas simulações como: teste de resistência de material, peso do robô, movimentos, quantidade de peças e impactos ambientais para a fabricação. Com isso, o custo final de construção diminui e os erros são praticamente extintos.

Na etapa seguinte, são feitos testes de programação que avaliam o desempenho do manipulador e sua interação com outros equipamentos. Nos testes aplicados, o robô é utilizado para movimentar um copo plástico de um ponto a outro, como pode ser visto na Figura 1 e no vídeo http://www.youtube.com/watch?v=NU4I1XYqwR8.

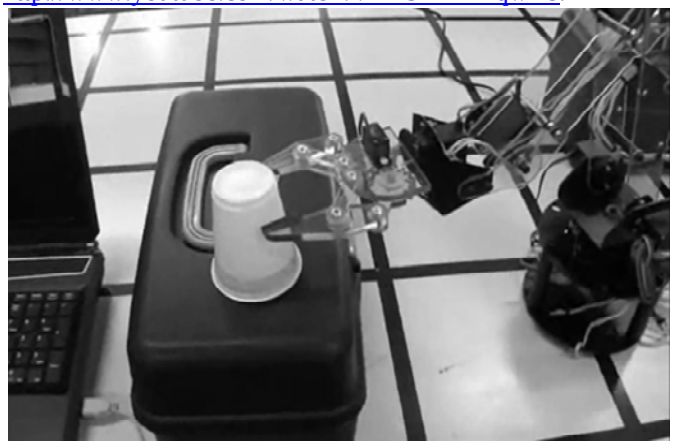


Fig. 1. Teste de movimento 1.

Outro experimento realizado foi o de movimentar uma caixa de fósforos até uma esteira, tendo essa aplicação uma interação com um Controlador Lógico Programável (CLP), como mostra a Figura 2 e o vídeo https://www.youtube.com/-watch?v=7Doicv5ItVw. Assim, se verifica a necessidade de criar uma biblioteca com comandos básicos para o robô, visto que para as duas aplicações todo o código é iniciado do zero.

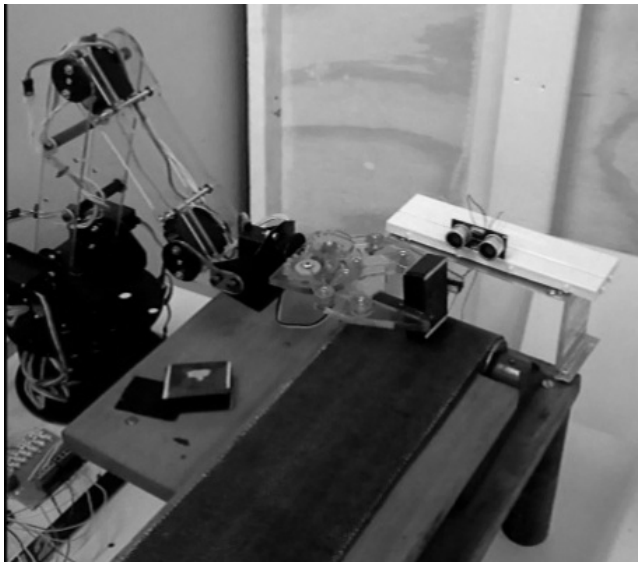


Fig. 2. Teste de movimento 2.

A parte final da pesquisa trabalha com o controle do manipulador via equipamentos diversificados baseados em tecnologias de transmissão sem fio, como uma luva de controle, cuja tecnologia de transmissão é baseada no módulo XBee e protocolo ZigBee, e reconhecimento de movimentos gestuais através do dispositivo Kinect da Microsoft [1], mostrados nas figuras 3 (vídeo em https://www.youtube.com-/watch?v=0yx6sD7hKNA) e 4 (vídeo em https://www.-youtube.com/watch?v=CoLnAx43VC8) respectivamente.

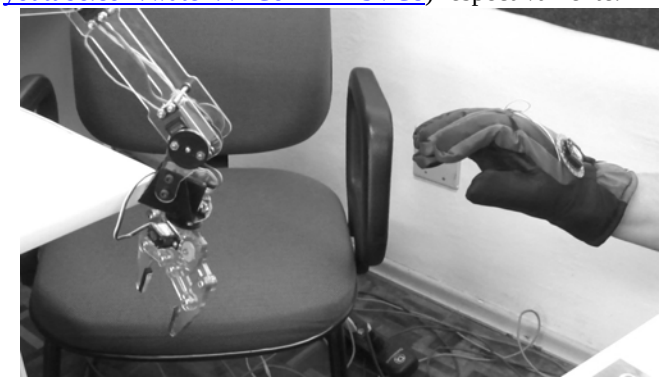


Fig. 3. Controle pela luva.

Fig. 4. Controle via Kinect.

Atualmente trabalha-se no aperfeiçoamento do manipulador, incluindo o projeto de uma versão mais robusta e de um circuito de trabalho que utiliza uma esteira de transporte de maior proporção e sistemas de visão computacional que permitam que o robô reconheça as alterações do ambiente em que está inserido.

A. Protótipos

Neste trabalho observa-se que uma das metas a ser atingida é o desenvolvimento de experimentos práticos, visto que os trabalhos de robótica na maioria das universidades atendem somente ao aspecto teórico da sua área.

Na universidade onde se desenvolveu este projeto, havia um único manipulador robótico do tipo pórtico, que possui seus movimentos coincidentes com um sistema de coordenadas cartesiana, sendo seu acionamento feito por ar comprimido. Os movimentos desse manipulador são demasiadamente rápidos e bruscos, devido à característica compressiva do ar, funcionando por posições 0 e 1, ou seja, totalmente aberto ou totalmente fechado.

Tendo em vista essas limitações atuais, o objetivo passa a ser a confecção de um robô antropomórfico, que possua um volume maior de trabalho e também uma mobilidade superior a de outros robôs manipuladores.

Muitos trabalhos já realizados na construção deste tipo de robô mostram somente o resultado, mas não como desenvolvê-lo. Devido à escassez de trabalhos explicativos torna-se uma meta do projeto disponibilizar instruções passo a passo da confecção do robô antropomórfico, que venha a facilitar futuros trabalhos de outros pesquisadores.

Primeiramente, foi utilizado um protótipo de papelão, devido ao seu baixo custo. Então, estabelecidos os movimentos básicos de acionamento de um controle remoto para movimentar outro robô, deve-se garantir a possibilidade de execução dos mesmos. Se uma estrutura de papelão não apresentar impedimentos, outro material, de maior resistência, fará o mesmo trabalho sem maiores problemas. Assim pôde ser montado o primeiro protótipo usando o acionamento de forma hidráulica com a utilização de seringas. A imagem deste protótipo é apresentada a seguir:

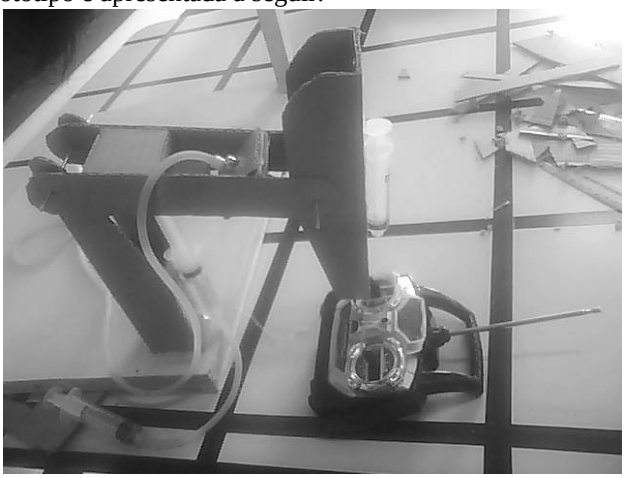


Fig. 5. Protótipo de papelão.

Comprovada a possibilidade do movimento, iniciaram-se os testes com os motores. Utilizando motores-servo de 6 kg de torque, foram necessárias adaptações a essa nova configuração, sendo empregando então um material de maior resistência que o papelão. Portanto, criou-se um protótipo de madeira, que possui uma resistência maior. O controle passou a ser feito por uma placa Arduino [2] e o acionamento por motores-servo. A escolha da placa Arduino deu-se por ser uma tecnologia que permite a interação com várias já existentes, sem ocasionar problemas de compatibilidade de softwares. O Arduino também permite uma livre programação, sendo obedecidas as capacidades físicas e mecânicas do manipulador. A imagem a seguir mostra essa versão do robô:

Fig. 6. Protótipo de madeira.

Através dos testes iniciais, que resultaram em inúmeros cálculos de torque, dimensionamento, tipo de material, capacidade dos motores, possibilidades de programação, pode-se prosseguir para uma versão final, que além de prática e de fácil manuseio, ao mesmo tempo é esteticamente mais apresentável.

Utilizou-se nessa etapa de desenho a ferramenta SolidWorks. Através desse software há a possibilidade de testar se o material escolhido suporta as cargas exigidas e também de obter o custo total do projeto, visto que essa ferramenta trabalha por peças e cada elemento é quantificado. Desse trabalho, resultaram dois manipuladores robóticos. O primeiro, exibido na Figura 7, após testes mostrou-se mecanicamente impossível, pois os motores não suportariam o peso do próprio robô, assim houve uma segunda versão corrigindo as falhas do robô anterior, o que resultou no manipulador robótico AJ12, que é mostrado a seguir na Figura 8.

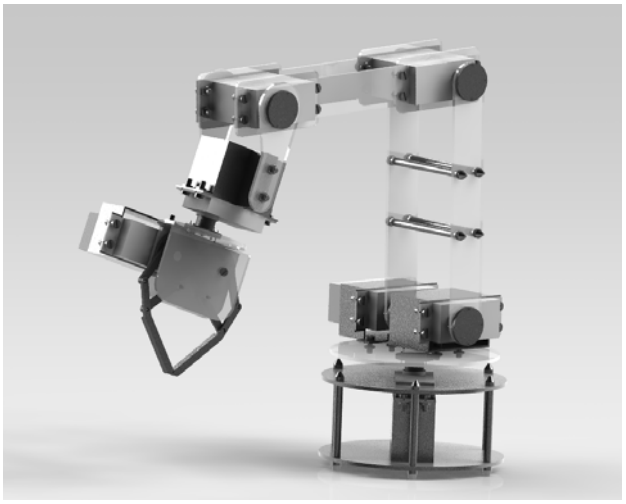


Fig. 7. Primeira versão em SolidWorks.

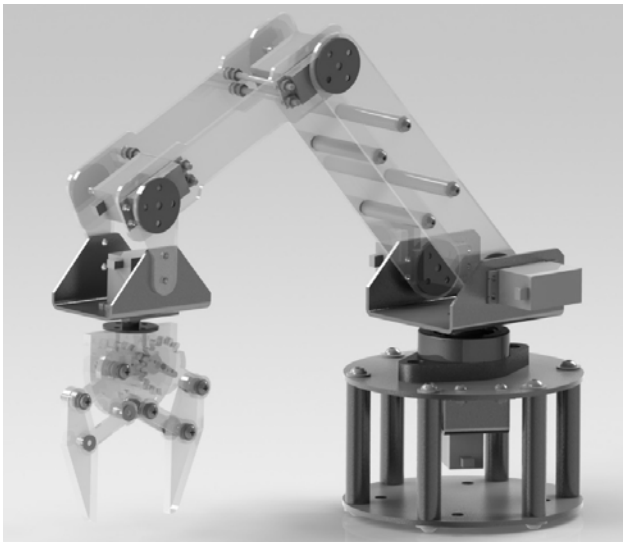


Fig. 6. Segunda versão em SolidWorks.

B. Construção e testes

Apesar do projeto do robô ter sido desenvolvido em Curitibanos-SC, a confecção de suas peças deu-se em outras cidades, pois na região serrana não há tecnologia suficiente para isso. Todas as peças do robô foram cortadas a *laser*, para garantir a confiabilidade das medidas. Porcas e parafusos, foram todos trocados, pois os definidos no projeto não eram encontrados no município e somente eles correspondiam a cerca de 10% do custo total.

Da Figura 9, somente as peças de base foram utilizadas na montagem final do manipulador robótico, pois como foram fabricadas em metal, possuem um peso muito elevado, impossível para o trabalho de um servo de 6 kg de torque. Logo, o restante foi trocado por peças de acrílico e alumínio.

Durante a construção foi criado um tutorial de montagem para facilitar aos estudantes que queiram construir uma versão própria ou fazer modificações que porventura melhorem o desempenho do robô.

Fig. 9. Peças para montagem de dois manipuladores AJ12.

Após montado o robô verificou-se que ele não conseguiria executar os movimentos, pois os parafusos utilizados eram de um material mais pesado dos que foram estabelecidos em projeto.

O comprimento das peças não poderia ser alterado, o torque do motor é então elevado de 6 kg para 15 kg. Entretanto, ainda era pouco, um motor com um torque maior era inviável devido a seu custo proibitivo e dimensões físicas, logo a única variável que poderia ser alterada era sua massa. Sabendo que torque é, segundo Walker [3], o produto da massa pela distância ($T = r.m$), este deveria ser menor que o torque do motor ($T < T_{motor}$). Os parafusos da garra foram trocados por arrebites de alumínio, de 11 arruelas diminuiu-se para 3, sendo uma delas de plástico; seu suporte passou de um alumínio com 3 mm de espessura para outro de 1 mm com perfurações extras. Com essas modificações o robô conseguiu movimentar-se com um raio de ação de 420 mm, mais que o suficiente para estudos acadêmicos de robótica.

Quanto aos testes de programação, servem para a verificação da quantidade de trabalho possível a ser realizado pelo manipulador e a integração com outras tecnologias. Em um dos testes, mostrado na figura 2, foi utilizado um CLP Siemens, onde foi realizada uma aplicação industrial em escala reduzida: o robô colocava uma caixa em uma esteira, que era acionada por um motor ligado ao inversor de frequência somente após a permanência da caixa na frente de um sensor ultrassônico por mais de 3 segundos. O sensor ultrassônico utilizado é o HC-SR04, capaz de realizar medições entre 2 cm. e 500 cm., com uma precisão de 3 mm. Após, a caixa ia até o final da esteira e voltava, nesse tempo o manipulador aguardava o seu retorno sem executar qualquer outro comando, seguindo o retorno da caixa, esta era retirada da esteira e terminava o programa. Todos os comandos da esteira eram feitos por um CLP que se comunicava com o robô via cabo. O processo somente iniciava quando fosse dado o comando de início no CLP. Durante o processo eram apresentadas mensagens como: caixa avançando, caixa retrocedendo, processo iniciado e processo finalizado.

Com esse teste verificou-se que o aluno necessita conhecer o ambiente em qual o manipulador está inserido, procurando

saber quais obstáculos devem ser evitados que possam danificar o equipamento. Com o auxílio de mais sensores poder-se-ia fazer uma programação mais dinâmica onde não é necessário programar uma rota específica, pois o robô desviaria de obstáculos com o auxílio desses sensores e escolheria uma rota diferente, este mesmo princípio é utilizado em empresas, mas ao contrário de executar uma nova rota, o robô simplesmente para seu processo a fim de evitar acidentes. A seguir é mostrado um exemplo de programação do manipulador robótico:

```
  //INICIALIZAR SERVOS
  mao.attach(8); giromao.attach(9); punho.attach(10); antebraco.attach(11);base.attach(12);

  //SETAR POSIÇÃO INICIAL DOS SERVOS
  mao.write(15); giromao.write(20); punho.write(60); antebraco.write(180); base.write(180);
}

 //SUBIR ANTEBRAÇO E RECOLHER PUNHO
 void sobeAntebracoRecolhePunho(){
    antebraco.write(105);
    punho.write(180);
 }

 // GIRA A BASE E SE POSICIONA EM CIMA DA CAIXA
 void giroBasePegarCaixa(){
    for(i = 180 ; i>=30 ; i--){
      base.write(i);
      delay(10);
    }
 }
```

Fig. 10. Programação de teste.

III. Conclusões

Em uma das aulas de Controlador Lógico Programável da Universidade do Contestado, onde o manipulador foi testado, verificou-se maior facilidade em aplicar conhecimentos de automação utilizando o CLP, visto que com o auxílio do robô foi possível fazer uma réplica de uma automação industrial de transporte de objetos.

O protótipo de madeira, Figura 6, foi apresentado em uma universidade de Caçador, aos alunos do Curso de Engenharia de Controle e Automação e serviu como incentivo para trabalhos desta instituição para a confecção de seu próprio manipulador, visto que muitas das dificuldades eram possíveis de serem analisadas com o protótipo de madeira o que facilita o trabalho para a construção de outros robôs. Devido à maior resistência da madeira, os testes de programação podem inicialmente ser executados neste protótipo para então, depois de aprovados, passarem para o manipulador definitivo, evitando-se assim danificar o equipamento.

Uma das grandes preocupações foi quanto à praticidade do AJ12, logo o mesmo pode ser facilmente transportado e pode ser ligado diretamente na tomada convencional com tensão de 220V ou 110V. A seguir se apresenta a versão final do robô projetado:

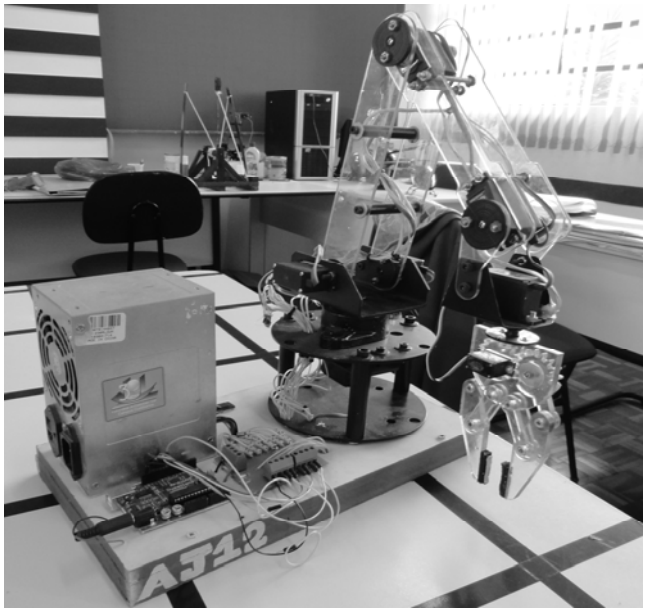


Fig. 11. Manipulador antropomórfico AJ12.

Verificou-se com os testes de programação do robô, que este possui alguns melhoramentos ainda a serem efetuados, como: melhor estabilização dos movimentos, pois ainda há uma leve reação de inércia no braço quando ele se move rápido e para bruscamente; o mesmo tem leves vibrações devido às peças que foram removidas para diminuição da massa, o que não permite trabalhos precisos como, por exemplo, escrever algo em uma folha usando um pincel ou caneta.

Existe a meta de construir uma versão do manipulador robótico que consiga carregar mais peso e que tenha uma precisão de movimentos melhor, além da construção de sistemas de apoio do robô, como: esteira para um minicircuito, sensores para o autocontrole do manipulador e visão computacional, para que o robô também consiga ver objetos e identificá-los. Uma visita ao SENAI de Joinville está prevista para troca de informações visto que eles possuem um sistema robótico mais desenvolvido.

O sistema de controle do manipulador ainda está nos estágios iniciais, mas mesmo assim permitiu a realização dos experimentos citados neste artigo. O controle atualmente é feito somente junta a junta, individualmente, e elas não podem ser atuadas em paralelo. A implementação do controle cinemático direto e inverso [4] já está em andamento, o que fornecerá um duplo sistema de coordenadas ao robô, coordenadas 3D de mundo e coordenadas de ferramenta, como é normalmente encontrado em braços robóticos industriais. Também já estão sendo integrados ao manipulador sensores como *encoders*, capazes de fornecer *feedback* ao sistema de controle. Isso tornará possível a correção de posicionamento e orientação dos elos. Um sistema de geração de trajetórias também está sendo desenvolvido, o que permitirá ao manipulador realizar movimentos de forma mais suave e natural, sem acelerações e paradas bruscas.

Visando pessoas que tem problemas motores, trabalha-se paralelamente em melhorias nos sistemas de controle do robô

via wireless como: uso da luva de controle, do Kinect e trabalhos com sistema de controle via Android. Esse tipo de estudo, permite fazer o controle do manipulador de outros locais, assim o mesmo numa versão melhorada poderia ser, por exemplo, controlado por um médico para uma cirurgia que exija uma precisão de corte na casa dos milésimos.

Os autores agradecem ao professor M.Sc.Sérgio Juarez Godoy, à professora Dr. Simone Rocha, ao acadêmico de Engenharia de Controle e Automação Thiago Molin, ao Estado de Santa Catarina pela concessão a bolsa do Art. 171 e à Fundação Universidade do Contestado que tornaram possível a realização deste projeto.

REFERÊNCIAS

[1] Borenstein, G. “Making Things See”. Editora O’ Reilly Media, 2012.
[2] McRoberts, M. “Arduino Básico”. Editora Novatec, São Paulo, 2011.
[3] Walker, H. R. “Fundamentos de Física: Mecânica”. 6ª edição. Editora LTC, 2002.
[4] Romano, V. F. Robótica Industrial–Aplicação na Indústria de Manufatura e de Processos, São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda, 2002.
[5] Capelli, A. Sensores na Automação Industrial: Sensores Ópticos, a Fibra Óptica, Sensores de Temperatura e Rede AS-I, Mecatrônica Atual, páginas 18-26, 2012.
[6] Capelli, A. Sistema Integrado da Manufatura, Mecatrônica Atual, páginas 33-34, 2004.
[7] Moura, J. L. Processos Industriais Usando Robôs, Mecatrônica Atual, páginas 32-35, 2004.
[8] Pazos, F. A. Robôs Manipuladores, Mecatrônica Atual, páginas 20-27, 2002.
[9] Vieira, S. Visão Artificial: Sistemas que Enxergam, Mecatrônica Atual, páginas 12-17, 2006.
[10] Wheat, D. “Arduino Internals”. Editora Apress, 2011.

Intelligent Car Racing – Equipe EngCar

Andros Vellenich Gomes

Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
andros@gee.inatel.br

Caio Amado Florentino

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
caioa@gee.inatel.br

Jéssica Maria Rodrigues

Instituto Nacional deTelecomunicações – Inatel
jessika-dr@live.com

Evandro Luis Brandão

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
evandro@inatel.br

***Resumo*—O EngCar é um carro inteligente, que conforme recebe o sinal da câmera se mantém dentro do circuito, através do controle de um motor Servo e um motor DC.**

***Palavras chave*— Carro Inteligente, EngCar, motor DC, motor Servo.**

***Abstract*- The EngCar is a smart car, as it receives the signal from the camera stands inside the circuit, through the control of a servo motor and a DC motor.**

***Keywords* – Smart Car, EngCar, DC Motor, Servo Motor.**

I. INTRODUÇÃO

A Copa Freescale é uma competição global, onde as equipes de estudantes devem montar e programar um carro modelo que percorra uma determinado circuito. Ganha o carro que percorrer em menos tempo e sem descarrilar.

II. DESENVOLVIMENTO

A. Controle do Motor DC

O motor DC é uma máquina que transforma energia elétrica em energia mecânica na forma de rotação. Motores de corrente contínua têm indutores por dentro, que produzem o campo magnético utilizado para gerar o movimento. Motores DC apresentam apenas dois terminais. Portanto, não há um terceiro fio para controlar o motor de corrente contínua, sendo assim, a solução é uma ponte-H.

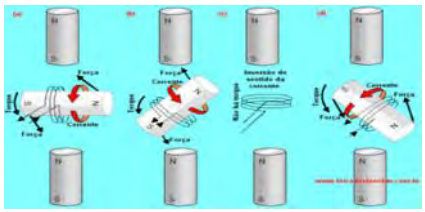


Fig. 1. Possíveis funcionamentos do Motor DC

B. Controle do Motor Servo

É uma máquina, mecânica ou eletromecânica, que apresenta movimento proporcional a um comando, em vez de girar ou se mover livremente sem um controle mais efetivo de posição como a maioria dos motores.

O motor Servo é controlado através de uma PWM (Pulse Width Modulation), e conforme a largura do Pulso do sinal enviado pelo micro controlador, o Servo alterna o ângulo de inclinação das rodas.

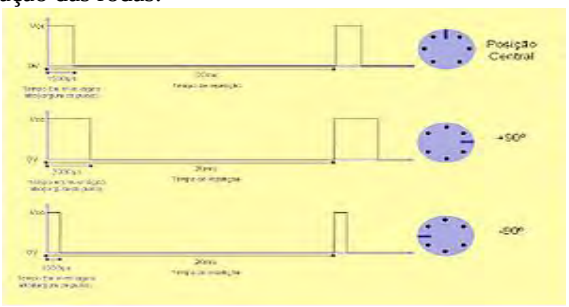


Fig. 2 – Funcionamento do Motor Servo.

C. Câmera RCA

O sinal da câmera é obtido através da resposta ao impulso enviado pelo micro controlador. Ao receber esse sinal, a câmera usa 129 ciclos de clock para enviar uma leitura horizontal completa do que está à frente do carrinho, cada um dos ciclos de clock retorna um valor analógico, esse valor é armazenado em um vetor .

A definição da imagem da câmera também é uma PWM, quanto maior o intervalo de cada pulso de clock, mais qualidade vai ter a leitura da câmera e mais lenta será a resposta.

.

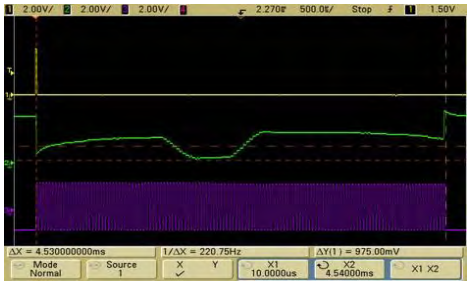


Fig. 3 – Entradas e Saída(sinal em verde) da câmera vistos de um osciloscópio.

III. COMPETIÇÃO

O objetivo final do nosso projeto era participar da competição "Freescale Cup Brazil", para agregar conhecimentos e melhorar no possível nosso carro.

Com 26 equipes de todo o Brasil muitas experiências foram trocadas durante o evento e com isso, algumas mudanças se fizeram necessárias.

A. Painel de LEDs

Para melhorar a definição da imagem da câmera sobre a pista, desenvolvemos um painel de LEDs que funciona exatamente como um farol para o carro.

Com uma fonte de luz própria, o carro fica menos susceptível à reflexos de luminosidade externos.

B. Suporte da Câmera

Um novo suporte pra câmera foi desenvolvido, de modo que a altura da câmera e o ângulo dela para o solo pudessem ser alterados a qualquer momento. Como a pista de treinamento não é a mesma da competição, fazer a leitura da pista é um grande desafio, com a praticidade de alterar a posição da câmera diminuiria essa dificuldade.

Fig. 4 – Novo suporte da câmera

IV. CONCLUSÕES

Durante esse ano de pesquisas e retomada do desenvolvimento do Intelligent Car muitos avanços foram feitos, a EngCar foi semifinalista da "Freescale Cup Brazil", mas ainda resta alguns ajustes finos a serem feitos.

O objetivo da equipe pra esse próximo ano deve ser minimizar o tempo de reação do micro controlador, fazer com que o tempo entre a leitura da câmera e o acionamento do motor Servo seja o menor possível.

REFERÊNCIAS

[1]http://www.freescale.com/webapp/sps/site/overview.jsp?code=UNIV_SMARTCAR_HM

[2] http://www.sabereletronica.com.br/secoes/leitura/1742

[3] http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/3414-art476a

[4] http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/3414-art476a

[5] http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/3414-art476a

[6] http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/3414-art476a

[7] http://pt.wikipedia.org/wiki/Ponte_H

[8] http://pt.wikipedia.org/wiki/Servomotor

[9] http://pt.wikipedia.org/wiki/Servomotor

Avaliação de amplificadores de instrumentação para sistemas de aquisição de sinais bioelétricos

Andrei Ferreira Garcia
Inst. Nac. de Telecomunicações – Inatel
andreifgarcia@yahoo.com.br

Patricia T. da Silva
Inst. Nac. de Telecomunicações – Inatel
paty_tamires@yahoo.com.br

Yvo Marcelo Chiaradia Masselli
Inst. Nac. de Telecomunicações - Inatel
yvo@inatel.br

***Resumo* – Este artigo apresenta um estudo dos principais modelos de amplificadores de instrumentação no mercado e tem por objetivo definir um modelo final de configuração para futuro desenvolvimento de um equipamento de aquisição de sinais bioelétricos de baixo custo.**

***Palavras chave* — amplificadores de instrumentação, sinais bioelétricos, Matlab®.**

***Abstract* - This article presents a study of the major models of instrumentation amplifiers on the market and aims to define a final model configuration for future development of an acquisition equipment bioelectrical signals with a low cost.**

***Keywords* - instrumentation amplifiers, bioelectrical signals, Matlab®.**

I. INTRODUÇÃO

Qualquer tipo de sinal elétrico gerado por um ser vivo é chamado de sinal bioelétrico e através da análise destes é possível avaliar o comportamento de inúmeras variáveis de interesse de especialistas nas áreas de saúde. [1]

Equipamentos como eletrocardiógrafos, eletromiógrafos e eletroencefalógrafos são fundamentais ao auxílio na geração de diagnósticos precisos.

O custo elevado destes equipamentos faz com que os mesmos sejam de uso restrito a uma pequena parcela de profissionais, tanto em suas áreas de exercício quanto na área acadêmica como recurso didático. [1]

Um dos principais dispositivos de aquisição de sinais bioelétricos é o amplificador de instrumentação. Tal fato se justifica em função da evolução das técnicas de processamento de sinais digitais.

Este trabalho apresenta uma análise dos principais tipos de amplificadores de instrumentação, utilizados em aplicações de aquisição e análise de sinais bioelétricos.

II. AMPLIFICADORES DE INSTRUMENTAÇÃO

Os amplificadores de instrumentação são circuitos que amplificam a diferença entre duas tensões, mantendo elevada impedância de entrada, elevada rejeição a sinais de modo comum e ganho diferencial ajustável. [2]

O amplificador diferencial pode amplificar uma pequena diferença de tensão entre sinais colocados em suas entradas. O esquema base consiste na montagem de um circuito subtrator para se comparar os sinais bioelétricos gerados.

A primeira etapa do estudo foi feita uma análise dos principais modelos de amplificadores de instrumentação disponíveis no mercado, e definido um modelo para futuro desenvolvimento de um equipamento de sinais bioelétricos de baixo custo.

A família de componentes eletrônicos da National Instruments® possui uma linha de amplificadores de instrumentação para área médica foram analisados os seguintes amplificadores de instrumentação: INA 103, INA 114, INA 118, INA 122, INA 128 e 129.

Foram levados em conta os seguintes critérios para a escolha do amplificador:

TABELA I
REQUISITOS ESPECÍFICOS PARA APLICAÇÃO DE SINAIS BIOELÉTRICOS.

SINAIS	REQUISITOS ESPECÍFICOS DA APLICAÇÃO
ECG	Frequências de corte: inferior 0.05 Hz, superior 100Hz, corrente de fuga abaixo de 10 mA, isolamento elétrico relativamente à linha de alimentação e à terra. Proteção contra tensões de desfibrilhação elevadas.
EEG	O ganho deve lidar com sinais de *microvolts*, baixo ruído térmico e eletrônico . As características sestantes são similares a do ECG.
EMG	Amplificador com maior largura de banda. Deve-se utilizar circuitos de pós-processamento (exemplo: rectificador + integrador)
EOG	Ganho elevado com resposta de baixa frequência e DC muito boa.

Um amplificador de instrumentação é um elemento essencial em qualquer sistema de aquisição de sinais de pequena amplitude, são estruturas intrinsecamente realimentadas [3]. Existem diversos tipos no mercado, cada qual com sua finalidade especificada de acordo com a tabela abaixo:

TABELA II
COMPARAÇÃO ENTRE AMPLIFICADORES DE INSTRUMENTAÇÃO - INA.

CARACTERISTICAS	INA114	INA122	INA128
LOW OFFSET VOLTAGE	50 uV	50 uV	50 uV
LOW DRIFT	0,25 uV/°C	0,5 uV°/C	0,5 uV°C
LOW INPUT BIAS CURRENT	2 nA	5 nA	5 nA
WIDE SUPPLY RANGE	2,25 – 18 V	1,35 V	2,25 – 18 V

Dentre os vários tipos de Amplificadores INA optou-se pelo INA114 por ser um amplificador de baixo custo e pelas características de ganho, rejeição em modo comum e outras citadas anteriormente.

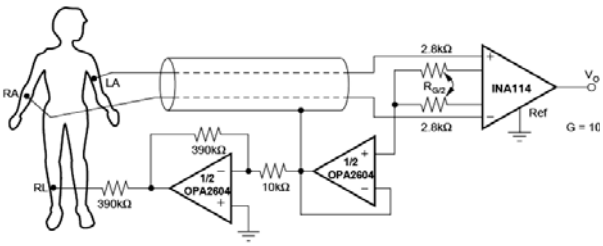


Figura 1- INA 114 usado na aplicação de pré-amplificador [4]

III. APLICAÇÃO

A. Desenvolvimento de um protótipo para aquisição de sinais bioelétricos de baixo custo.

Para validar a escolha do componente ideal de amplificação, foi desenvolvido um circuito capaz de medir um sinal de ECG. O ECG registra as atividades elétricas do coração e fornece informações sobre a função cardíaca sendo possível fazer um prognóstico de certas cardiopatias os potenciais gerados pelo coração durante o ciclo sístole-diástole (contração/relaxamento) podem ser registrados aplicando-se eletrodos na superfície cutânea em diferentes posições do corpo [5].

Assim, inicialmente é realizada a pré-amplificação do sinal bioelétrico utilizando o amplificador de instrumentação INA114 e o circuito integrado OPA2604 para minimizar o ruído dos cabos. A configuração do pré-amplificador desenvolvido pode ser verificada na figura 1.

No pré-amplificador os resistores ($R_{G/2}$) são de 2,8kΩ. O ganho de tensão pode ser calculado pela equação (1).

$$G = 1 + \frac{50\,k\Omega}{R_G} \qquad (1)$$

Após a pré-amplificação utilizou-se o circuito integrado LM 741 para se amplificar o sinal. A configuração adotada foi a seguinte:

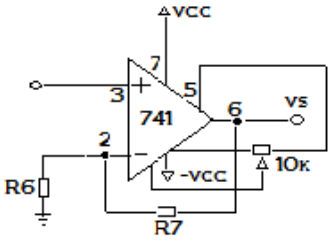


Figura 2 - Configuração do circuito amplificador.

Os cálculos são realizados da seguinte forma:

$$Av=(R2/R1)+1$$
$$100=(1M/R1)+1$$
$$R1=10k\Omega$$

A integração dos circuitos de pré-amplificação e amplificação é apresentada na figura 3.

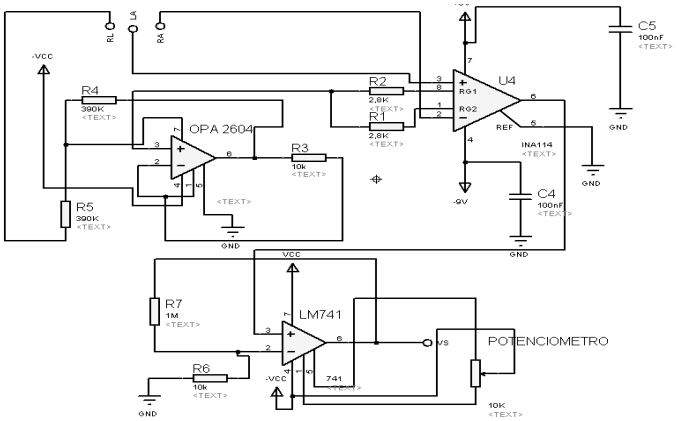


Figura 3 – Configuração final do circuito amplificador de ECG

Para se evitar ruídos conduzidos via fonte de alimentação externaé recomendável a alimentação do circuito por meio de baterias (9V) conectadas em série, resultando em uma alimentação simétrica. A figura 4 apresenta o amplificador desenvolvido.

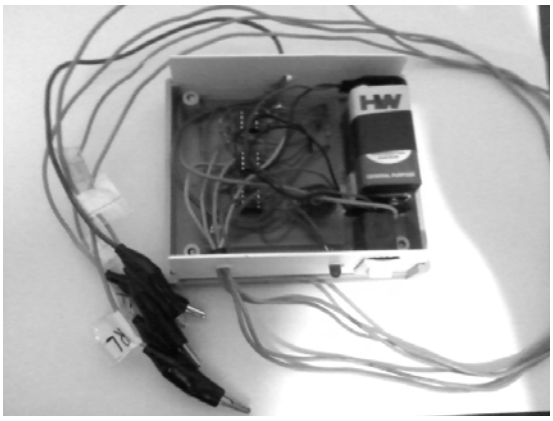


Figura 4 – Amplificador de ECG

Para simular o ECG utilizou-se o simulador portátil de Paciente, modelo *Handy Sim* fabricado pela *R&D MEDIQ* [6]:

Figura 5 - Simulador de paciente Handy Sim R&D MEDIQ [6]

B. Primeiros testes

Nos primeiros testes utilizou-se apenas o amplificador, o simulador de Paciente e o Osciloscópio, para se visualizar as derivações ou o ECG típico, mostrando as ondas P, T e o complexo QRS figura 6.

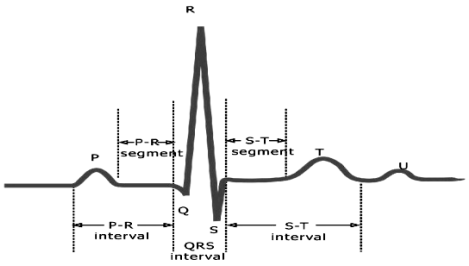


Figura 6 - ciclo PQRST [7]

Para um ajuste de 30 bpm (figura 7) obteve-se um resultado satisfatório já que é possível verificar a semelhança ao ciclo PQRST apresentado na figura 6.
A frequência visualizada no osciloscópio (valor circulado no campo superior direito) corresponde exatamente ao valor calculado: 30bpm/60=0.5Hz.

Figura 7 - Resultado obtido com o simulador de paciente em 30 bpm.

Logo após ajustou-se o simulador para 240 bpm obtendo-se a mesma precisão do resultado anterior. O valor calculado para a frequência é igual 4Hz (240bpm/60).

Figura 8- resultado obtido ajustando-se o simulador em 240 bpm

C. Testes Posteriores

C.1- Descrição

Nos testes seguintes foi utilizada plataforma livre de baixo custo Arduino ATMega 2560 [08] como interface entre o hardware de condicionamento de sinais (simulador de paciente) e o PC. Os valores provenientes da aquisição são tratados em ambiente de software. Para esta etapa utilizou-se o Matlab®.

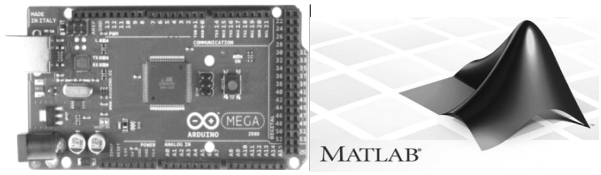


Figura 9 – Arduino Mega 2560 e Matlab® [09]

A escolha foi feita com base na quantidade de recursos disponíveis para as operações necessárias sobre o sinal bioelétrico. Estas operações compreendem basicamente processos de filtragem e extração de características fundamentais do ECG.
Para que essa interação fosse possível necessitou-se a utilização de um firmware específico desenvolvido por usuários do Matlab® e disponível no repositório da MathWorks® [09].
Este tem o papel de informar os status e as ações do Arduino via USB. No outro extremo, o software, oferece um conjunto de funções capaz de enviar e receber comandos diretamente do Arduino.

C.2- Aquisição de dados em Matlab®

Para que a avaliação da interface de baixo custo, Arduino, fosse validada, foi desenvolvido um pequeno script em MATLAB® capaz de coletar 1000 amostras por segundo e plotá-las em gráfico, como apresentado a seguir.

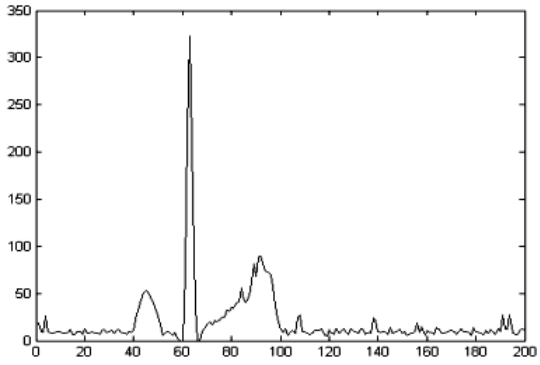


Figura 10 - Amostragem com o simulador de paciente em 30 bpm

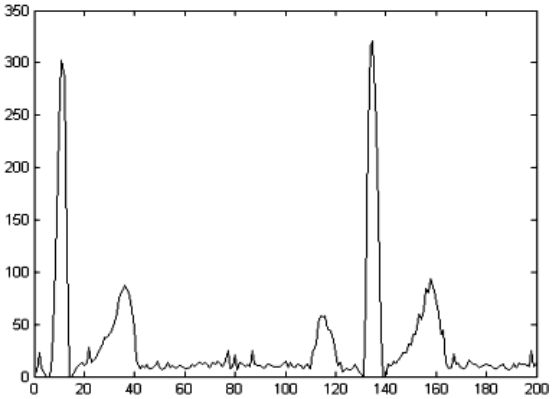


Figura 11- Amostragem com o simulador de paciente em 60 bpm

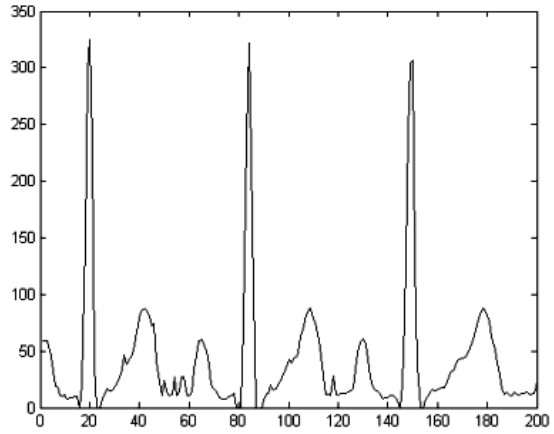


Figura 12 – Amostragem com o simulador de paciente em 120 bpm

Os resultados são satisfatórios e confirmam a possibilidade de se fazer um possível prognóstico usando tais ferramentas. Pode-se verificar também que o modelo de amplificador operacional utilizado nas etapas de amplificação e pré-amplificação apresentam excelente desempenho e não comprometem as características presentes nos sinais bioelétricos investigados.

IV CONCLUSÃO

É possível concluir, com base nos resultados obtidos, que os sinais bioelétricos com intensidade tão pequena, podem ser amplificados e disponibilizados para avaliação e manipulação em ambientes computacionais. Além disto, permite a criação de equipamentos biomédicos de baixo custo e considerável desempenho.
Assim, o tipo de estudo realizado é essencial para a área de saúde em geral e abre caminho para novos estudos como os de identificação automática de patologias através de sinais bioelétricos.

REFERÊNCIAS

[1] http://www.hab2001.sld.cu/arrepdf/00358.pdf
[2] http://www2.eletronica.org/apostilas-e-ebooks/componentes/AOP.pdf
[3]http://ltodi.est.ips.pt/joseper/PTS%20I/Teoria_PTS%20I_Cap%203_2003.PDF
[4]http://www.datasheetcatalog.net/pt/datasheets_pdf/I/N/A/1/INA114.shtm
[5] http://www.bc.furb.br/docs/MO/2004/279181_1_1.pdf
[6] http://www.rdmediq.com.br
[7] http://www.misodor.com/ELETROCARDIOGRAMA. php
[8] http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560
[9] http://www.mathworks.com/academia/arduino-software/arduino-matlab.html
[10] http://algol.dcc.ufla.br/~giacomin/Com145/Amp_Op.pdf
[11] http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina103.pdf
[12] http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/BurrBrown/mXrvsur.pdf
[13] www.datasheetcatalog.com
[14] http://www.peteletrica.eng.ufba.br/?p=991

Andrei Ferreira Garcia nasceu em 12 de Julho de1987,natural de Pouso Alegre-MG. Atualmente aluno do sétimo periodo do curso de Engenharia de Telecomunicações do Instituto Nacional de Telecomunicações, (INATEL).

Patrícia Tamires da Silva, Nasceu em 12 de julho de 1989, natural de Careaçu-MG, cursando o oitavo período de engenharia Elétrica pelo INATEL. Técnica em Telecomunicações pela Escola Técnica de eletrônica ETE “FMC”.

Yvo Marcelo Chiaradia Masselli nasceu em Itajubá, MG em 10 de outubro de 1975. Graduado em engenharia de telecomunicações pelo INATEL, mestre e doutor em engenharia elétrica pela UNIFEI (2009). Atualmente é professor adjunto do Instituto Nacional de Telecomunicações de Santa Rita do Sapucaí, MG (INATEL).

Materias piezoelétricos para equipamentos de ultrassonografia

Marlon Mendonça Pederdsoli de Oliveira
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
marlonp@geb.inatel.br

Rinaldo Duarte Teixeira de Carvalho
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
rinaldo@inatel.br

***Resumo*—Este artigo aborda a utilização da piezoeletricidade em transdutores de equipamentos de ultrassonografia, procurando entender como ela funciona e como pode ser aplicada para a melhoria dos cristais piezoelétricos presentes no mercado.**

***Abstract*— The aim of this article is to research the use of piezoelectricity in ultra-sound devices, looking forward to understand how it Works and how it can be applied to develop the piezoelectric crystals which are currently being used.**

I. INTRODUÇÃO

A ultrassonografia é um método de obtenção de imagens que tem se solidificado como uma das técnicas mais utilizadas devida à sua facilidade e poucas contraindicações. Por não utilizar radiação ionizante como na radiografia ou tomografia, é um método rápido, seguro e barato, sendo ideal para avaliar gestantes e entre outros casos tais como: Desordens dos tecidos ósseos, juntas e músculos, condições traumáticas pós-contusões, luxações, fraturas, etc. No campo estético o uso do Ultrasom tem demonstrado ótimos resultados no tratamento das gorduras localizadas e das celulites, entre outros.

O aparelho de ultrassonografia baseia-se na produção de ondas sonoras ultrassônicas, por um cristal piezoelétrico, que variam de 20Khz até 14MHz. Essas ondas atravessam a pele até o interior do organismo, onde encontram a estrutura a ser diagnosticada que, por sua vez emite um eco que é capitado pelo mesmo cristal piezoéletrico e convertido em imagem através da computação gráfica.

O cristal piezoelétrico se encontra dentro de um transdutor que é manuseado pelo médico e aplicado sobre a área de analise desejada com o uso de um gel condutor.

A piezoeletricidade é uma característica inerente de alguns cristais que, quando comprimidos, geram uma diferença de potencial elétrico entre as suas faces e quando aplicada uma diferença de potencial elétrico em suas faces, eles se contraem ou expandem, o que permite a geração de sons de alta.

Manuscrito recebido e revisado em 09 de abril de 2013.

R.D.T. de Carvalho (rinaldo@inatel.br) e M.M.P. de Oliverira (marlonp@geb.inatel.br) pertencem ao Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel. Av. João de Camargo, 510 - Santa Rita do Sapucaí - MG - Brasil - 37540-000.

frequência como os utilizados nos equipamentos de ultrassonografia. Esse efeito foi descoberto a mais de cem anos pelo casal de cientistas Pierre e Marie Curie que perceberam que alguns cristais possuíam essa curiosa característica

II Diagrama de blocos

Tecnologias de imagem por ultra são algumas das tecnologias de imagem mais simples. Baseia-se na simples propagação de ondas de som através dos tecidos e utiliza-se da reflexão natural dessas ondas pelo tecido para formar uma imagem agregada.

Uma série de transdutores mostradas na parte superior do diagrama de blocos emitem ondas de som e também agem como receptores de ecos. Os ecos de dentro dos tecidos são colocados juntos usando as propriedades de “time shifting” e “scaling” afim de formar uma imagem composta. Como isso ocorre exatamente será explicado subsequentemente:

O transdutor consiste de 8 de 512 elementos. Depois que o transdutor emite ondas de som, o ultrassom imediatamente muda para o modo de recepção para que possa receber os ecos de dentro do corpo. Isso é realizado pelos **T/R switches** mostrados diretamente depois do transdutor. Enquanto as ondas de som propagam-se através do corpo, a força do sinal decresce e porções de onda são refletidas. As razões fisiológicas para esses acontecimentos serão explicadas mais tarde. Uma vez que existem limites de quantidade de energia que pode ser transmitida dentro de um ser humano, em algum ponto os sinais recebidos serão tão pequenos que precisarão ser amplificados a fim de serem analisados. Isso é quando o estágio de amplificação entra em ação. O **LNA**, ou amplificador de baixo ruído é o responsável por amplificar esses sinais baixos. Depois existe o **Variable Gain Amplifier** “VGA”, que pe controlado por uma unidade de **beamformer control.** O ganho refere-se à profundidade de penetração. Baixo ganho se refere às áreas que não são muito profundas no corpo, enquanto que o ganho alto se refere às profundidades onde a amplitude do som é reduzida significativamente.

Antes de os sinais analógicos serem recebidos do transdutor e possam ser processados, eles tem que ser filtrados. Isso é realizado pelo **Low Pass Filter** antes do **Analog to Digital Converter "**ADC". Ele é usado como um filtro anti-aliasing para limitar a banda de ruído. O sinal digital é enviado para ser processado. Na **Front End** de processamento, o **Beamformer** toma controle. Ele é responsável por controlar a transmissão e recepção de ondas. O caminho de transmissão leva o sinal para um conversor digital para analógico, através de um filtro passa baixas e um amplificador de alta voltagem, assim ele pode ser enviado através do transdutor para o corpo.

O outro caminho que recebe o B**eamformer,** no qual vaia través do **Mid** e do **Back End** de processamento onde o modo de processamento Doppler e o modo B convertem-no em um sinal que é então interpretado por um software de ultrassom. Uma vez que o software toma conta das informações digitais, elas são dispersadas em uma grande variedade de formas, incluindo: Salvas no HD, convertidas me som através de um amplificador de áudio, ou mais notavelmente, mostradas na tela para o operador.

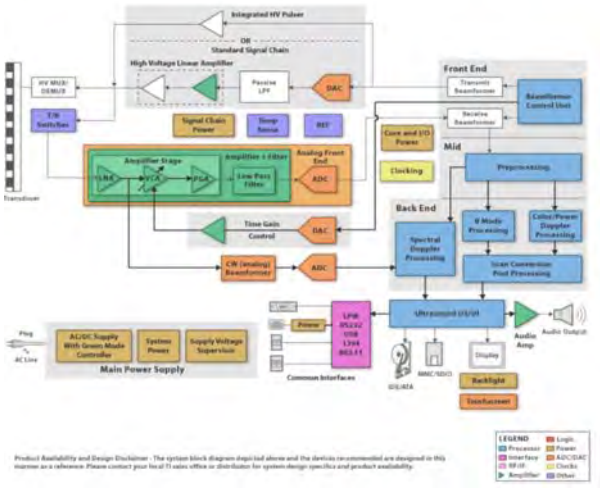


Fig. 1. Diagrama de blocos

A. T/R Switchers

O transdutor é excitado por pulsos de alta voltagem, ele converte energia elétrica em energia mecânica. Após cada excitação, o transdutor envia ondas ultrassónicas ao meio. Algumas ondas ultrassónicas são refletidas pelo meio heterogêneo e recebidas pelo transdutor novamente. Portanto o transdutor é um dispositivo duplex onde tanto alta quanto baixa voltagem existem. O transdutor não pode ser conectado aos estágios de amplificação diretamente, pois senão, o sinal de alta voltagem poderia destruir os amplificadores permanentemente. Para isso existem os T/R switches, que se situam entre o HV pulser e o amplificador de baixo ruído (LNA). A sua principal função é isolar o LNA do transmissor de alta voltagem, limitando o pulso de alta voltagem e deixando os pulsos alcançarem o amplificador. Portanto, um T/R switch ideal deveria bloquear completamente os sinais de alta voltagem e manter todas as informações de ecos.

B. Saída Frontal Analógica

A saída frontal analógica direciona aplicações onde a energia e o nível de integrações são críticos. O dispositivo contém 8 VGAs, cada um seguido por um ADC, para um total de 8 ADCs por dispositivo.
Cada uma das 8 entradas diferentes é bufferizada e seguida por um VGA que é controlado digitalmente e a curva ganho x tempo pode ser guardada na memória e integrada dentro do dispositivo usando a interface serial.
Um filtro seletor de passa baixas também é integrado entre o VGA e o ADC para cada canal.

C. Estágio de amplificação

O VCA, estágio de amplificação, é um sistema de dois canais que consiste em dois blocos primários: Um amplificador de baixos ruídos (LNP) e um amplificador de ganho variável (VGA), que é conduzido partir do LNP.
O LNP é flexível, tanto ganho quanto impedância de entrada podem ser programados digitalmente sem componentes externos. O LNP é acoplado ao VGA através de um multiplexador para facilitar a interface com um processador de sinais externos.
O VGA é um amplificador de ganho real varável, alcançando baixa saída de ruídos a ganho baixo. A saída do amplificador possui dois ganhos, permitindo maior optimização com diferentes conversores analógicos/digitais.
A figura mostra um diagrama de blocos simplificado de um canal de um sistema de dois canais. Ambos o LNP quanto o VGA podem ser desligados juntos ou separadamente, para conservar a energia do sistema, se necessário.

D. Pre-Amplificador de Baixos Ruídos (LNP)

O LPN possui uma capacidade diferencial de entrada e saída. Também possui voltagem e corrente de ruído excepcionalmente baixas. O LNP pode processar sinais completamente diferenciais ou sinais únicos em cada canal. Processamento de sinais diferenciais reduz a distorção do segundo harmônico e oferece uma rejeição de modo-comum e ruído de fonte melhorada. O LNP pode ser eletronicamente programado para possuir um de quatro valores que podem ser selecionados por uma palavra de 2 bits. O ganho do LNP quando conduzindo o VGA é aproximadamente 1dB mais alto por conta da perda de buffer.
O LNP também possui dois resistores de feedback programáveis que podem ser selecionados por uma palavra de 4 bits para criar 16 valores diferentes a fim de facilitar o uso do feedback. Coma combinação do ganho programável e resistores de feedback, cerca de 61 valores diferentes valores

de saída de impedância podem ser criados para oferecer uma, maior variedade de saída correspondente de resistores.
Com o uso de feedback ativo com essa ampla seleção de resistores de feedback, o usuário está apto a provir uma maneira de baixo ruído de acabar com o sinal de entrada, enquanto recorre-se à somente uma perda de 3dB em taxa de sinal para ruído (SNR) ao invés de uma perda de 6dB que normalmente está associada às formas mais convencionais de acabar com o sinal.
A saída do LNP leva um buffer que em turnos leva a rede de feedback e fornece o LNP para um multiplexador.
O multiplexador pode configurar a fonte do sinal off-chip para processamentos adicionais ou pode ser configurado para levar o VGA interno diretamente do LNP.

E. Amplificador + Filtros

Para o caminho do sinal TGC, cada canal consiste de um ganho fixo de 20dB de amplificador de baixos ruídos (LNA), um atenuador de voltagem linear (VCA) e um amplificador de ganho programável (PGA) assim como um estágio de compressão e um filtro passa baixas.
Enquanto que o LNA e desenhado para ser guiado de uma fonte única, o caminho do sinal do TGC interno é desenhado para sápidas diferencias para maximizar o alcance dinâmico.

F. ADC

O ADC opera através de voltagens de referência geradas internamente que são aparadas para garantir a correspondência através de múltiplos dispositivos em uma placa. Isso elimina a necessidade de roteações externas de linhas de referências e ainda melhora a correspondência de ganho através dos dispositivos.
A saída do ADC vai para um serializador que opera através de um clock 12x generado pelo PLL. As informações de 12bits de cada canal são serializadas e enviadas para o LSB primeiro. Em adição a serialização das informações, o serializador também gera um clock 1x e um 6x. Esses clocks são gerados da mesma forma que as informações do serializador são geradas, então esses clocks mantém sincronização perfeita com as informações. As informações e as sápidas de clock do serializador são bufferizadas externamente usando buffers LVDS, que transmitem as informações externamente. Isso cria múltiplas vantagens como reduzir o número de pinos de saída, diminuir o consumo de energia e reduzir os efetiso de ruído digital acoplando-se com o circuito analógico dentro do ADC.

G. ADC de alta velocidade

Consiste em um CMOS (semicondutor metal-óxido complementar) ADC de 4 canais. Baseado em um circuito de amostra e espera na entrada, seguido por um ADC de 12 bits. Os 12 bits dados por cada canal são serializados e enviados para um par de pinos no formato LVDS (Low voltage diferencial signaling). Todos os 4 canais do ADC operam em um único clock referido como ADCLK. O Clock da amostragem para cada um dos canais é gerado de um clock de entrada utilizando de uma árvore de buffer de clock cuidadosamente combinada. O clock 12x requerido para o serializador é gerado internamente de um ADCLK usando uma *faze lock loop* (PLL). Um clock de 6x e 1x também são saídas no formado LVDS com as informações para habilitar a captura fácil de informações. O ADC opera de referencias de voltagem formadas internamente que são aparados para assegurar a combinação de vários dispositivos múltiplos na placa.
Essa característica elimina a necessidade de roteamento externo de linhas de referencia e ainda aumenta a combinação de ganho entre os dispositivos.

O ADC emprega o uso da arquitetura conversor pipeline que consiste da combinação de estágios de múltiplos bits e um único bit. Cada estagio alimenta suas informações dentro de um corretor de erros lógico, assegurando uma excelente linearidade diferencial e perda de códigos no nível de 12 bits. A arquitetura pipeline resulta numa latência de informações de 6,5 clocks.

A saída do ADC vai para um serializador que opera de um clock de 12x gerado pelo PLL. A informação de 12 bits de cada canal são serializados e enviados para o LSB em primeiro lugar. Em adição à serialização de informações, o serializado também gera um clock de 1x e 6x. Esses clock são gerados da mesma forma que a informação serializada é gerada, então esses clock mantém perfeita sincronização com as informações. A saída das informações e do clock do serializador são bufferizadas externamente usando buffers LVDS. Usar buffers LVDS para transmitir informações externamente possui muitas vantagens, como diminuir o número de pinos de saída, diminuir consumo de energia e reduzia os efeitos de ruído digital.

H. Controle de Ganho de Tempo/Amplificadores de alta velocidade

Constituído de um amplificador de feedback de voltagem de alta velocidade , O estágio de entrada suporta voltagens abaixo do terra e dentro de 1,7V da fonte positiva. A saída complementar da etapa do emissor comum provê um balanceamento de saída entre 25mV e o terra. Ele é compensado para provir uma operação estável com alto alcance de cargas resistivas.

I. DAC

Esta arquitetura utiliza a atual técnica de direcionamento para habilitar a mudança rápida e alta taxa de atualização. O elemento no núcleo dentro do monolítico DAC é uma matriz de fontes segmentadas de corrente, as quais são designadas à entregar uma saída de escala completa até 20mA.

Um decodificador interno endereça as trocas de correntes diferencias cada vez que o DAC é atualizado e uma saída correspondente é formada direcionando todas as correntes para os nodos de resumo. As saídas complementares entregam uma saída diferencial de sinais que melhora a performance dinâmica através da redução de harmônicos de ordem impar, sinais de modo comum (ruídos) e sanais de pico a pico duplos , comparados balanceados por um fator de dois, comparados com a operação de única saída.

A arquitetura segmentada resulta em uma significante redução da energia de glitch e aumenta a performance dinâmica SFDR e DNL. A corrente de saída mantém uma impedância muito alta de saída, maior que 200K ohms.
A escala completa da corrente de saída é determinada pela taxa da voltagem interna de referencia e um resistor externo. A corrente resultante é internamente multiplicada por um fator de 32 para produzir uma saída de corrente DAC efetiva que pode ir de 2mA pata 20mA, dependendo do valor da resistência.
O DAC é separado em uma porção digital e em uma porção analógica, cada qual é alimentada através de seu próprio pino de voltagem. A seção digital inclui um flip-flop edge-triggered latch de entrada e um decodificador lógico, enquanto que a seção analógica compreende a matriz de fonte de corrente com seues sewitchers e e circuitos de referência.

J. CW Analógico

Consiste em um AFE (Analog Front-End) especialmente projetado para sistemas de ultrassom no qual alta performance e tamanho pequeno são necessários. Ele integra um caminho de formação de imagem de controle de ganho e tempo (TGC /Time gain control) e um caminho de onda contínua de Doppler (CWD). O AFE contem oito canais, cada qual inclui um Low Gain mMplifier (LNA), um atenuador de voltagem controlada (VCAT), um amplificador de ganho programável (PGA), um filtro passa-baixas (LPF) um conversor de analógico para digital de 12 bits e um misturador CW.

Além disso, recursos múltiplos estão disponíveis para aplicações de ultrassonografia, assim como terminação ativa, controle de canal individual, resposta rápida de subida e descida de energia, controle de corte programável de voltagem, recuperação de sobrecarga consistente e rápida e etc.

K. Arm-Cortex
O processador AM3517/05 é um microprocessador ARM Cortex-A8 de alta performance com velocidades acima de 600Mhz. O dispositivo oferece aceleração gráfica 3D, enquanto também suporta numerosos periféricos, incluindo DDR2, CAN, EMAC, USB OTG PHY que também são todos utilizáveis em aplicações industriais

L. Plataforma de processamento

Com uma performance de mais de 7200 milhões de instruções por segundo (MIPS) com uma taxa de clock de 900Mhz, o processador C64x core oferece uma solução para desafios de programação de DSP de alta performance. Os processadores de núcleo DSP possuem uma flexibilidade de controladores de alta velocidade e capacidade de processamento de processadores array.
O processador C64x + DSP possui 64 propósitos gerais, registadores de palavras de 32 bits e oito unidades funcionais. 2 multiplicadores para um resultado de 32 bits e 6 unidades de logica aritmética (ALUs). As oito unidades funcionais incluem instruções para acelerar a performance em processamento de vídeo e imagem; O núcleo DSP pode produzir quatro MACs por ciclo para mais de 3600 MACs por segundo (MMACS) oi oito MACs de 8 bits por segundo em até 88-- MMACS

M. Regulador inversor

Baseia-se em um conversor dc-dc que gera uma voltagem de saída negativa de cerca de -15V com uma corrente de saída de cerca de 360mA, dependendo da voltagem de entrada para a taxa de voltagem de saída. Com uma eficiência total de 84%, o dispositivo é ideal para equipamentos de bateria . O alcance de voltagem de entrada de 2,7 à 5,5 V permite que o TPS63700 seja energizado diretamente por uma bateria de lítio de 3 células NiMh/NiCd de uma fonte de 3,3 à 5v.
O inversor opera com uma frequência fixa PWM de topologia de controle, possui um limite de corrente interna, proteção contra sobrevoltagem e desligamento automático térmico.

N. LDO de Canal único

Esses reguladores lineares incluem um pino de habilitação de nível logico CMOS compatível e um capacitor programável que permitem esquemas de gestão de energia. Outras características disponíveis incluem desligamento automático por temperatura e limitadores de corrente.
Esse dispositivo é desenhado usando a tecnologia bipolar que é ideal para instrumentação para aplicações de alta precisão onde linhas de voltagem limpas são essenciais para maximizar a performance do sistema. O desenho o faz uma escolha excelente para amplificadores operacionais, conversores analógico-digitais, digitais-analógicos e outros circuitos de alta performance

O. Step Downl Regulator

Constitui-se de um dispositivo regulador de 60V e 0,5 A com um MOSFET integrado.
O modo de controle de corrente prove uma compensação externa simples e uma seleção flexível de componentes. Um modo de desvio de pulsos de ripple baixos reduz a carga e regula a fonte de saída à 116mA. Usando o pino de habilitação a corrente de desligamento é reduzida para 1.3mA, quando o pino de habilitação está baixo.

P. Sensor de regulação de temperatura:

São monitores remotos de temperatura de transistores conectados por diodos, q são geralmente de baixo custo. Os transistores do tipo NPN ou PNP ou diodos que são parte integral dos microcontroladores ou microprocessadores.
A precisão remota é de +-1C para múltiplos fabricantes, sem calibração necessária. A interface de dois fios aceita comandos de byte de escrita SMBus, byte de leitura, envio e recebimento para configurar o dispositivo.

III.FÍSICA DA PIEZOELETRICIDADE

O efeito Piezoelétrico foi descoberto por Pierre e Jacques Currie em 1880 e se resume à variação das dimensões físicas de certos materiais quando sujeitos a campos elétricos. O efeito oposto (efeito piezoelétrico reverso), que trata da aplicação de pressão que causa uma diferença de potencial elétrico no material, também é de suma importância para a ultrassonografia

As ondas ultrassônicas utilizadas em aparelhos de ultrassonografia são geradas por um transdutor, que nada mais é, do que um dispositivo que converte energia elétrica (corrente elétrica) em energia mecânica (ondas mecânicas) e vice-versa.

Para que um cristal possa ser usado como transdutor, ele deve ser cortado de tal forma que um campo elétrico alternado produza variações em suas espessura, causando um movimento nas faces do cristal em altíssima frequência, gerando as ondas ultrassônicas.

A. Física da Piezoeletricidade

Para que um cristal seja piezoelétrico, ele não deve possuir simetria, uma vez que a piezoeletricidade é originada da anisotropia do cristal, ou seja, o fato da resposta do cristal à uma pressão externa não ser a mesma em todas as direções.

Quando recebe uma pressão, o material irá se polarizar eletricamente ou sofrerá uma mudança de polarização, caso o matéria não tenha uma polarização espontânea nula.

Em uma molécula neutra, antes de submeter o material à uma pressão os centros elétricos das cargas positivas e negativas coincidem (figura a), então os efeitos externos das cargas são anulados, criando moléculas neutras. Ao se submeter o material à uma pressão, sua estrutura reticular pode ser definida de tal forma, que aconteça a separação dos centros elétricos das cargas positivas e negativas das moléculas, criando dipolos (Figura b). As cargas internas do pólo se cancelam e a distribuição de cargas aparece na superfície do material (figura c) polarizando-o então. Essa polarização cria um campo elétrico que pode ser usado para transformar energia mecânica em elétrica.

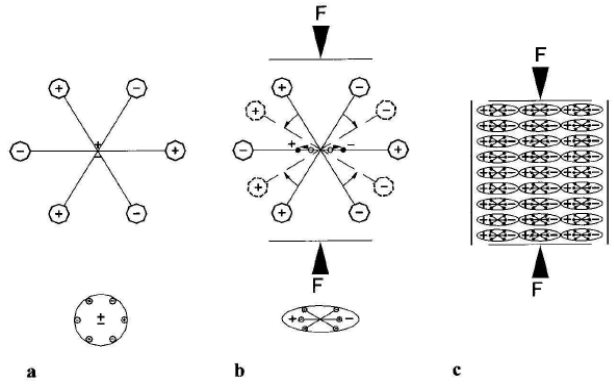


Fig. 2. Moléculas de um material piezoelétrico

Portanto, quando um cristal está sob a influência de um estímulo externo, ele se deforma. Tal deformação depende da simetria do cristal e da direção na qual o estímulo é aplicado, enquanto que a magnitude dessa deformação depende da constante piezoelétrica do material.

Quando um material piezoelétrico é tensionado, ele passa a apresentar uma polarização elétrica Pi, tal que:

$$P_i = d_{ilm} - \sigma_{lm} \quad (1)$$

Onde i, l e m variam de 1 à 3 e σlm é a tensão aplicada. Este é o efeito piezoelétrico direto e o coeficiente σlm relaciona a tensão com a mudança de polarização.

Com base na equação 1 podemos esperar que a a aplicação de um campo elétrico Ei em um material piezoelétrico irá criar uma deformação εlm, dada por:

$$\varepsilon_{lm} = d_{ilm} E_i \quad (2)$$

Eis o efeito piezoelétrico inverso, pelas equações podemos observar que ele é linear.

Um material vibra em três modos diferentes: Transversal, longitudinal e detorção. Para cada vibração temos uma constante elástica que é obtida pelas fórmulas abaixo:

$$E_t = \frac{2^{12}}{\pi^3 \xi^4} \frac{l^3 T}{d^4} M n^2, \xi = 3.011, 5.7, \ldots \quad (3)$$

Onde Et é módulo de Young determinado pelo modo transverso, *l*, *d* e *M*
comprimento, diâmetro e massa do material, e *T*, um fator de correção
geométrico. Para ξ = 3,011, n é frequência de ressonância transversal. Para modo
longitudinal:

$$E_t = \frac{2^4}{\pi \eta^2} \frac{l}{d^2} M n^2, \eta = 1, 2, 3 \ldots \quad (4)$$

Onde Et é módulo de young determinado pelo modo longitudinal. Para
ξ = 1, m é a frequência de ressonância longitudinal. Para o modo de torsão:

$$G = \frac{2^4}{\pi\eta^2}\frac{l}{d^2}Ms^2, \eta = 1,2,3... \quad (5)$$

Onde G é módulo de torção. Para η = 1, s é a frequência fundamental de Torção.

B. Bases do transdutor

Considere o transistor como sendo um pedaço retangular de material piezoelétrico com eletrodos em cada lado.
Cada lado possui uma área transversal A, com um topo e base muito maiores (>10x) do que a sua espessura D. Pelo fato de o material piezoelétrico ser um dielétrico, ele pode ser modelado como um capacitor de capacitância:

$$C_0 = \varepsilon^S A/d \quad (6)$$

Onde ε^S é a constante dielétrica em condição de deformação zero. Pelo cristal ser um sólido e não um líquido, ondas elásticas são criadas internamente. A contra parte elástica da pressão é o estresse, ou força por unidade de área, representada pelo símbolo T. Outra variável elástica importante é a compressão, S, relativa a mudança de comprimento do cristal dividida pelo seu tamanho original. Tanto estresse quanto deformação variam com a direção em um material piezoelétrico, mas em uma única direção de propagação de onda, é possível relacionar o estresse com a compressão como:

$$T = C^D S - hD \quad (7)$$

No qual h é a constante piezoelétrica. Essa equação é conhecida como a lei modificada de Hookie na qual o primeiro termo relaciona estresse com a compressão e o segundo relaciona estresse com campos elétricos aplicados. A constante elástica de rigidez, C^D, é obtida dentro de um deslocamento dielétrico constante, D, e E é o campo elétrico.

$$D = \varepsilon^S E = \frac{\varepsilon^S AV}{dA} = C_0 V/A \quad (8)$$

Quando um impulso de voltagem é aplicado através dos eletrodo, o efeito piezoelétrico cria forças de impulsos nos lados do transdutor, dadas por:

$$F(t) = TA = (hC_0V/2)[-\delta(t) + \delta(t - d/c)] \quad (9)$$

Quando o meio em cima e em baixo tem a mesma impedância acústica, Zc, que o transdutor, a velocidade do som entre os eletrodos é dada por $c = \sqrt{C^D/\rho}$, e δ representa o impulso.
Uma vez que se pode criar ondas acústicas, o cristal pode ser considerado como um capacitor cantor com a sua única voz ou características espectrais e frequência de ressonância. Para obter o espectro de resposta, usa-se a transformada de furrier da equação anterior

$$F(f) = -i(hC_0V)e^{\frac{-i\pi fl}{c}}\sin[\pi(2n+1)f/2f_0] \quad (10)$$

Que possui sua máxima em harmônicos impares da ressonância fundamental $f_0 = c/2d$,

C. Impedância do transdutor

Devido às forças geradas nos lados do transdutor, a impedância elétrica do ponto de vista dos terminais de voltagem é afetada. Através dos cabos conectados ao transdutor, uma impedância Z_A é vista em adição à capacitância reativa, então a impedância elétrica total é de:

$$Z_T = Z_A - i(1/\omega C_0) = R_A(f) + i[X_A(f) - 1/\omega C_0] \quad (11)$$

Do circuito equivalente do transdutor, Z_A é a impedância no qual R_A e Z_A são suas partes reais e imaginarias. R_A pode ser encontrado da potencia elétrica total e W_E passando através do transdutor por uma voltagem aplicada V uma corrente I

$$W_E = II^*R_A/2 = |I^2|R_A/2 \quad (12)$$

Onde a corrente é $I = i\omega Q = i\omega C_0 V$ e Q é a carga. A energia total irradiada dos dois lados do transdutor em um meio próximo de uma impedância acústica especifica, $Z_C = \rho cA$,

$$W_A = ATT^*/(2Z_C/A) = A^2|F(f)/A|^2/2Z_C = |hC_0V\sin(\pi f/2f_0)|^2/2Z_C \quad (13)$$

Igualando a energia da equação anterior com a equação chegamos em:

$$R_{AC} = \frac{k_T^2}{4f_0C_0} = \frac{d^2k_T^2}{2A\varepsilon^S} \quad (14)$$

No qual a constante eletro acústica é k_T, e $k_t = h/\sqrt{C^D/\varepsilon^S}$. Note que R_{AC} é inversamente proporcional à área de capacitância e a área do transdutor é diretamente proporcional ao quadrado de sua grossura d. Também note que em ressonância:

$$R_A(f_0) = \frac{k_T^2}{\pi^2 f_0 C_0} \quad (15)$$

A teoria de redes requer que a parte imaginaria da impedância esteja relacionada à parte real através da transformada de Hilbert, então a reatância irradiada pode ser encontrada como:

$$X_A(f) = \Im_{Hi}[R_A(f)] = R_{AC}\frac{[\sin(\pi f/f_0) - \pi f/f_0]}{2(\pi f/2f_0)^2} \quad (16)$$

Um modelo simples descreve as características essenciais de um transdutor piezoelétrico. A impedância elétrica possui um máximo de resistência real irradiada na frequência ressonante. A força do espectro também pega na frequência de ressonância e possui uma forma determinada.

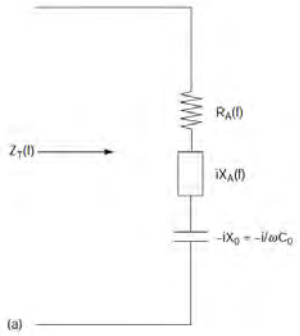


Fig. 3. Circuito equivalente do transdutor

D. Resposta da frequência no transdutor

O desenho de um transdutor se preocupa com a alteração de forma do espectro afim de alcançar a banda desejada em uma resposta de impulso. Outro objetivo de desenho é melhorar a eficiência eletroacústica do transdutor. Uma medida dessa eficiência é a perda do transdutor, a frequência media da taxa de energia alcançando o meio desejado, usualmente um tecido W_R dividido pelo poder de energia máximo disponível em uma fonte de energia W_g.

$$TL(f) = \frac{W_R}{W_g} \quad (17)$$

E definido em dB como:

$$TL_{\mathrm{dB}}(f) = 10\log_{10} TL(f) \quad (18)$$

A perda do transdutor pode ser quebrada em um fator de perda elétrico, $EL(f)$ e em um fator de perda acústica $AL(f)$:

$$TL(f) = EL(f)AL(f) \quad (19)$$

O problema de melhorar a transferência de energia em radiação de resistência é a de maximizar o $EL(f)$ acima de uma banda desejada. A figura abaixo mostra os parâmetros relevantes envolvidos. O transdutor de impedância elétrica está conectado através de um indutor à fonte de voltagem com uma Impedância R_g. Uma expressão para a perda elétrica para essa situação é:

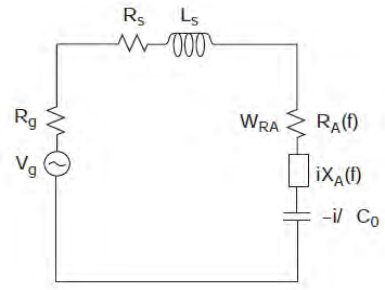


Fig. 4. Parametros do Indutor

$$EL(f) = \frac{4R_A(f)R_g}{(R_A(f)+R_g+R_s)^2+\left(X_A(f)-\frac{1}{\omega C_0}+\omega L_s\right)^2} \quad (20)$$

Se a capacitância é sintonizada por uma série de indutor $L_S = 1/(\omega_0^2 C_0)$ e $R_s = 0$, então em ressonância:

$$EL(f_0) = \frac{4R_A(f_0)R_g}{[R_A(f_0)+R_g]^2} \quad (21)$$

A determinação da perda acústica é uma função de frequência mais complicada, mas é simples determinar o seu valor em ressonância. Em um modelo simples de transdutor, uma suposição para simplificação é feita para que a carga acústica nos dois lados do cristal piezoelétrico fosse a mesma impedância acústica do cristal, entretanto, esse não é o caso geral. No topo da figuro o material piezoelétrico é carregado por um material posicionado atrás e abaixo das lentes. O centro do cristal é mostrado como sendo considerado o fim do transdutor, onde as ondas que seguem para frente se propagam ao longo do eixo z que está direcionado para baixo. As ondas na direção oposta são suprimidas ou absorvidas pelo material que ajuda na ampliação do espectro do transdutor.

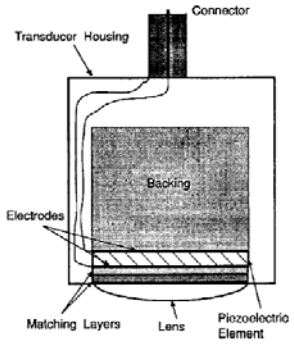


Fig. 5. Diagrama do transdutor

Se a impedância do ponto de vista à esquerda do cristal é Z_L, e a do lado direito é Z_R, no caso mostrado à esquerda da figura, $Z_L = Z_B$ (impedância da parte de traz) e $Z_R = Z_W$ impedância da agua. A perda acústica no caso em ressonância pode ser encontrada de:

$$AL(f_0) = Z_R/(Z_L+Z_R) = Z_W/(Z_B+Z_W) \quad (26)$$

O significado físico da equação é que a força elétrica encontrando a resistência irradiada é convertida em força acústica irradiada das duas faces dos eletrodos, a proporção de energia na direção positiva de z é representada pela taxa na equação anterior.

A construção de um transdutor de um único cristal é mostrada na figura anterior, as partes chaves são a parte de trás, o cristal piezoelétrico revestido com os eletrodos para contato elétrico, as camadas combinadas e as lentes com uma impedância acústica perto do da agua.

IV. CARACTERÍSTICAS DA PIEZOELETRICIDADE

Em sólidos ordinários, o deslocamento elétrico pode ser considerado uma função exclusiva do vetor campo elétrico (E)

e das constantes dielétricas (ε); e a deformação mecânica (S) uma função exclusiva das tensões mecânicas (*T*) e constantes elásticas (*s*), como apresentado em notação matricial pelas equações:

$$D_m = \varepsilon_{mk}^{S} E_k \qquad (1).$$
$$S_i = s_{ij}^{E} T_j$$

Nos materiais piezoelétricos ocorre o acoplamento das variáveis mecânicas e elétricas: Ao mesmo tempo em que a deformação depende das tensões mecânicas, ela também depende do campo elétrico, e ao mesmo tempo em que o deslocamento elétrico depende do campo, ele também depende da deformação mecânica. Podemos visualizar melhor este acoplamento na equação (também escrita em notação matricial) :

$$D_m = e_{mi} S_i + \varepsilon_{mk}^{S} E_k \qquad (2).$$
$$S_i = s_{ij}^{E} T_j + d_{mi} E_m$$

Existe um conjunto de coeficientes (*e* e *d*) que são utilizados para caracterizar os materiais piezoelétricos, e particularmente nos casos de interesse recorrentes, as cerâmicas piezoelétricas. Através destes coeficientes e constantes podemos ter uma ideia do desempenho piezoelétrico e à que aplicações este ou aquele material é mais adequado.

V.COEFICIÊNTES PIEZOELÉTRICOS

A. Coeficientes de acoplamento *k*

Podendo ser definidos e calculados de diversas formas, os coeficientes de acoplamento *k* podem ser interpretados como o rendimento do material em absorver a energia elétrica fornecida pela fonte de excitação.

B. Constantes piezoelétricas *d*

As constantes piezoelétricas *d* estabelecem uma proporcionalidade entre a geração de cargas e as tensões mecânicas aplicadas (efeito piezoelétrico direto) e entre a deformação em função de um campo elétrico aplicado (efeito piezoelétrico inverso). Nas equações 3-A e 3-B temos a definição diferencial das constantes *d* a temperatura e campo elétrico constante. Podemos comparar o caráter piezoelétrico de diferentes materiais através das constantes *d*, sendo especialmente relevantes no projeto de atuadores e posicionadores.

$$d_{nij}^{\theta} = \left[\frac{\partial D_n}{\partial T_{ij}}\right]_{E,\theta} \text{(C/N)} \qquad \text{(3-A).}$$
$$d_{nij}^{\theta} = \left[\frac{\partial S_{ij}}{\partial E_n}\right]_{T,\theta} \text{(m/V)} \qquad \text{(3-B).}$$

C. Constantes dielétricas *K*

As constantes dielétricas estabelecem uma proporcionalidade entre o deslocamento elétrico e o campo elétrico aplicado. Na equação 4 temos a definição diferencial da permissividade dielétrica ε a temperatura e campo elétrico constante,
sendo $K=\varepsilon/\varepsilon 0$.

$$\varepsilon_{nm}^{T,\theta} = \left[\frac{\partial D_n}{\partial E_m}\right]_{T,\theta} (\text{C}^2/\text{Nm}^2) \qquad (4).$$

As constantes dielétricas são importantes porque determinam a capacitância da cerâmica piezoelétrica, que por sua vez é determinante no cálculo e projeto dos circuitos casadores de impedância.

D. Constantes piezoelétricas *g*

Definidas como a razão entre as constantes *d* e ε, correlacionam a resposta em tensão elétrica do material a uma tensão mecânica aplicada (possui dimensão de Vm/N), sendo especialmente relevantes no projeto de sensores.

E. Constantes elásticas *s*

As constantes elásticas *s* estabelecem uma proporcionalidade entre a deformação e a tensão aplicada. São as “constantes de mola” do material. A partir das constantes elásticas, definidas na forma diferencial como apresentado na equação 5, podemos calcular a velocidade de propagação de ondas acústicas no material piezoeléctrico em qualquer direção e polaridade, e estimar variações dimensionais em função de pressões estáticas.

$$S_{ijkl}^{E,\theta} = -\left[\frac{\partial S_{ij}}{\partial T_{kl}}\right]_{E\theta} \qquad (5).$$

F. Constantes de frequência *N*

Em geometrias em que temos um modo de vibração desacoplado, a constante de frequência é definida como o produto da frequência de ressonância pela dimensão em questão, podendo ser esta um comprimento, diâmetro ou espessura. A partir da constante de frequência podemos estimar a frequência ressonância para a mesma geometria com dimensões diferentes. As constantes de frequência são muito úteis no projeto de transdutores ultrassônicos para a estimativa da frequência de operação. Também podemos estimar as velocidades de propagação do somem um material através das constantes de frequência, duplicando-as.

G. Fator de qualidade mecânico *Qm* e fator de dissipação dielétrico tanδ

O fator de Qualidade mecânico e o fator de dissipação dielétrico são umas das constantes mais importantes na definição das possíveis aplicações dinâmicas do material, por determinarem quais serão as perdas de energia do processo de transdução. É a partir deles que se determina, por exemplo, se o material em questão é adequado para aplicações de potência tais como os sistemas de limpeza por ultrassom.

H. Temperatura de Curie

É a temperatura crítica onde a estrutura cristalina do material sofre a transição de fase da simetria tetragonal para cúbica. Uma cerâmica policristalina que é submetida a uma temperatura superior ou iguala à temperatura de Curie, quando resfriada recupera suas características piezoeléctricas

microscópicas, mas não as macroscópicas, por perder a orientação preferencial dos domínios gerada pelo processo depolarização, que possibilita a utilização prática do material como transdutor eletromecânico.

I. Limite de tração dinâmico

É o limite máximo de tração a que o material pode ser submetido dinamicamente sem se
romper/quebrar. Este limite deve ser levado em consideração principalmente no projeto de transdutores de potência, onde as cerâmicas piezoelétricas são submetidas a altos campos elétricos que promovem tanto a contração (compressão) quanto à expansão (tração) do material.

Taxa de envelhecimento

É a taxa com que as propriedades piezoelétricas do material se alteram no tempo à medida que a
orientação dos domínios de dipolos, realizada pelo processo de polarização, se esvaece.

J. Matérias comercializados e aplicações

Os principais materiais piezoelétricos comerciais e as respectivas propriedades estão listados na Tabela 1 apresentada na página seguinte.

O PZT-4 é utilizado normalmente em sistemas de limpeza por ultrassom e fisioterapia, o PZT-8em sistema de solda por ultrassom, o PZT-5A em sensores e transdutores para ensaios não destrutivos, oPZT-5J e 5H para geradores de faísca por impacto (detonadores e *magic clicks*) e posicionadores respectivamente.

Material	PZT-4	PZT-8	PZT-5A	PZT-5J	PZT-5H
k_p	0,60	0,50	0,61	0,60	0,63
k_{33}	0.68	0,63	0,70	0,71	0,73
d_{33} (10^{-12} C/N)	300	215	400	460	550
d_{31} (10^{-12} C/N)	-11.5	- 9.5	- 170	- 210	- 265
g_{33} ($x10^{-3}$ Vm/N)	26	25	25	22	19
g_{31} ($x10^{-3}$ Vm/N)	- 11	- 11	- 11	- 9	- 9
K^T_3 (baixo sinal) C. dielétrica relativa	1250	1000	1750	2450	3100
Fator de dissipação tan δ (baixo campo)	0,004	0,004	0,020	0,020	0,020
Densidade (kg/m^3)	7600	7600	7650	7500	7500
Temp. de Curie (°C)	325	330	360	260	190
Fator de qualidade Q_m	500	1000	75	70	65
s^E11 ($x10^{-12}$ m^2/N)	12	11	19	23	21
s^E33 ($x10^{-12}$ m^2/N)	16	14	16	16	15
N_o (Hz-m) (modo planar)	2200	2270	1950	2000	1950
N_t (Hz-m) (modo espessura)	1905	2032	1800	1950	2000

VI. CONCLUSÃO

O equipamento de ultrassonografia é um dispositivo amplamente utilizado em diagnóstico de imagem por seu baixíssimo custo. O elemento do aparelho que é focado neste estudo é o transistor, ele é composto por um cristal piezoelétrico com eletrodos acoplados em suas laterais, nesses eletrodos são induzidas correntes elétricas alternadas de altíssima frequência, causando uma deformação no cristal que produz ondas ultrassônicas, o que é chamado de efeito piezoelétrico reverso. Os materiais piezoelétricos para possuírem tal propriedade não devem possuir simetria em suas moléculas, uma vez que esse efeito é causado pela anisotropia do cristal, o que permite que quando uma pressão seja exercida sobre o material as suas cargas elétricas não sejam distribuídas homogeneamente, criando então uma diferença de potencial elétrico entre as duas faces do material. Existem diversos coeficientes piezoelétricos utilizados para determinar o melhor material piezoelétrico para cada aplicação, que deverão ser estudadas em um estudo futuro.

VI. BIBLIOGRAFIA

http://www.ti.com/solution/ultrasound_system

http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem1_2007/GeovannaL_Cotta_RF1.pdf
http://www.atcp.com.br/imagens/produtos/ceramicas/artigos/RT-ATCP-01.pdf
http://www.hcnet.usp.br/inrad/departamento/graduacao/aula/apostilafisicausg.pdf
http://www.ceuspe.com.br/Curso/ExtratoAula/BaseFisica/index.html
http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem1_2007/GeovannaL_Cotta_RF1.pdf
http://www.kld.com.br/imagens/artigo_revista%20up%20to%20date%20n40%20agos%2001.pdf
http://www.scielo.br/pdf/cr/v38n3/a47v38n3.pdf
http://www.incor.usp.br/spdweb/cursos/downloads/ptc5750_ultra_som2006.pdf
http://www.forp.usp.br/restauradora/us01.htm
http://www.veterinaria.com.pt/media//DIR_27001/VCP1-1-e22.pdf
http://www2.healthsci.tufts.edu/saif/Vevo2100/Ultrasound-Terminology.pdf
http://www.youtube.com/watch?v=7iQe52pmbTQ
http://eeweb.poly.edu/~yao/EL5823/Ultrasound_physics_ch10.pdf
http://www.olympus-ims.com/data/File/panametrics/UT-technotes.en.pdf *
http://www.biosono.com/#Grmt

Aplicação da Robótica nos Centros Cirúrgicos

Mariana Fraga Rosa

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
mah_fraga09@hotmail.com

Michele Santos Moreira

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
michelesantos@geb.inatel.br

Prof. Msc. João Bosco Assis Leite

Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
jbosco@inatel.br

***Resumo*— Este artigo relata a aplicação da robótica nos centros cirúrgicos, em especial o uso do Sistema robótico Da Vinci™ no Brasil. Abordando sua história, estrutura, funcionamento, acessibilidade, aplicações e formação do profissional para o manuseio do sistema. Destaca também suas vantagens e desvantagens e faz uma comparação entre a cirurgia robótica e a convencional.**

***Palavras chave*— Cirurgia Robótica, Robô Da Vinci, Cirurgia minimamente invasiva, Aplicações da robótica.**

I. Introdução

A cirurgia robótica iniciou-se nos Estados Unidos entre 1999 e 2000, no Brasil vem ganhando seu espaço desde 2008. A cirurgia é assistida pelo robô da Vinci Surgical System™, desenvolvido pela empresa americana Intuitive Surgical, encontram-se quatro em território nacional. Consiste em um tipo de cirurgia minimamente invasiva e dá aos pacientes uma série de boas alternativas que não existiam.

II. Sistema Robótico da Vinci

Segundo o Robot Institute of America, o robô é definido como "um manipulador multifuncional reprogramável feito para mover materiais, ferramentas ou instrumentos especializados por intermédio de movimentos programados para realização de várias tarefas". [1] Os robôs de utilização cirúrgica podem ser classificados de forma geral em: passivos e ativos. Um robô "passivo" seria utilizado para posicionar corretamente um instrumento fixo e depois seria desligado. O robô "ativo" consiste em um sistema capaz de mover os instrumentos utilizados na cirurgia. [2]

A. História

O conceito inicial de robótica em cirurgia teve início na década de 80 e envolvia a ideia de realizar uma operação em local distante de onde estava o cirurgião. Esta possibilidade atraiu os militares norte-americanos, que iniciaram o desenvolvimento de robôs visando a realização de cirurgias no campo de batalha, mediante controle remoto pelo médico. [2] Contudo, não obteve êxito devido às limitações da Internet. Entre o final da década de 90 e o começo do século 21, os robôs cirúrgicos foram aprimorados. O primeiro sistema para cirurgia robótica foi o AESOP™, exemplo de robô passivo, desenvolvido pela Computer Motion, trata-se de um braço mecânico que segura a ótica laparoscópica e pode ser controlado pelo cirurgião com pedais ou com comando de voz. Em 1995, a Computer Motion desenvolveu o robô Zeus™ a partir do AESOP™, é um robô ativo que possui três braços, dois para manusear os instrumentos e um terceiro para operar uma câmera, a qual é gerenciada pelo primeiro sistema. Enquanto isso, a empresa Intuitive Surgical desenvolveu o Da Vinci™, tornado-se o sistema robótico ativo mais completo, já que partiu da melhoria de seus antecedentes. [3]

B. Estrutura

O sistema Da Vinci™, é composto por quatro braços robóticos com flexibilidade de 360°, um deles manipula um endoscópio estéreo que gera imagem 3D e os outros manipulam hábeis instrumentos cirúrgicos, como tesouras, pinças e bisturi. Integrando o sistema tem-se um console, no qual os médicos recebem as imagens tridimensionais de alta definição e realizam os movimentos operatórios com as próprias mãos. [4] Nele encontram-se sensores capazes de medir as forças de interação da ferramenta nos tecidos, bem como um sensor de presença. [5] Além de um conjunto de

Manuscrito recebido em 5 de dezembro de 2012; revisado em 25 de fevereiro de 2013.

M. F. Rosa (mah_fraga09@hotmail.com) e M. S. Moreira (michelesantos@geb.inatel.br) pertencem ao Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel. Av. João de Camargo, 510 - Santa Rita do Sapucaí - MG - Brasil - 37540-000.

hardware externo, o sistema conta com um software responsável pelo posicionamento das ferramentas, tendo como base a matemática matricial. Dentre as diferenças em relação ao Zeus™ estão: a câmera controlada por um pedal e a ótica que permite ao cirurgião a construção de imagem 3D. [3] Ainda que o Da Vinci™, seja o sistema robótico mais completo, tem suas limitações, ao afastar-se dos tecidos o cirurgião perde totalmente o feedback tático . Limitando de modo crucial a identificação e exame das várias propriedades dos tecidos moles (consistência, viscosidade e elasticidade), pelo que a identificação de margens de tumores ou mesmo de alterações patológicas de tecidos aparentemente normais, fica gravemente comprometida. [6]

C. Funcionamento

O processo começa com informações sobre o paciente, tais como imagens, resultados de testes, informação genética e os sintomas. Esta informação é combinada com a anatomia e fisiologia humana criando uma representação do paciente que é utilizado para formular um plano de intervenção. [4] Feito estes procedimentos, no console o cirurgião com melhor visão dos órgãos e melhor conforto atua em terminal de operação fazendo os mesmos movimentos de uma cirurgia tradicional que são imitados com precisão pelo robô. Os instrumentos reproduzem simultaneamente os movimentos das mãos e do pulso do cirurgião que são filtrados e medidos por um sensor de força. [5]

D. Segurança

Quanto à segurança, os objetivos são evitar lesões em seres humanos que trabalham próximo do robô e impedi-lo de danificar outro equipamento, ou a peça de trabalho. O robô deve fornecer um sistema para assegurar que as falhas do sensor não leve-os a posicionar incorretamente a ferramenta de corte ou de guia.
Nos Estados Unidos, dispositivos médicos devem ser habilitados para o mercado pela Food and Drug Administration(FDA). O sistema Da Vinci™ tem sido sucessivamente aprovado pela FDA para utilização em vários ramos cirúrgicos. Empresas médicas de equipamentos devem respeitar os regulamentos do sistema de qualidade (QSR) e são periodicamente auditados pelo FDA para verificar o cumprimento. Os processos de fabricação devem cumprir o International Standards Organization (ISO) 9001 e 9002. Deve notar-se que a obtenção de aprovação ainda não é o suficiente para garantir o sucesso comercial. Obviamente, é necessária relação custo-benefício favorável. [5]

E. Formação do profissional

A formação em técnicas de CMI (Cirurgia minimamente invasiva) é mais desafiante e mobiliza mais competências do que na cirurgia aberta. Por isso existe a necessidade de recorrer ao treino em cadáveres de animais ou humanos, uma outra alternativa é a utilização de simuladores mecânicos e virtuais que tiveram um papel importante, pois proporcionaram ao cirurgião aquisição rápida das competências básicas, sem por em risco a vida dos pacientes. Cirurgiões mais experientes apresentam uma curva de aprendizagem mais rápida, utilizando o sistema cirúrgico Da Vinci™ do que cirurgiões no início da carreira, possibilitando aos primeiros, adicionar rapidamente novos e inovadores procedimentos terapêuticos, aos que já consegue realizar. É importante que o cirurgião esteja apto à realizar os dois procedimentos, na possibilidade de ter de converter uma cirurgia robótica para uma cirurgia aberta devido a qualquer eventualidade. Nos EUA, a FDA exige que qualquer cirurgião que pretenda utilizar este sistema cirúrgico frequente cursos de formação ministrados pelo fabricante. Na Europa não existe tal exigência, contudo a formação cirúrgica na utilização do sistema Da Vinci™, passa por uma primeira fase, que decorre fora do bloco operatório, de familiarização ao sistema, aos vários componentes e procedimentos técnicos de preparação do sistema; e também pela aquisição de competências técnicas motoro-visuais básicas, através do uso de simuladores. Numa segunda fase, o cirurgião irá presenciar vários procedimentos cirúrgicos realizados por um cirurgião experiente no uso do sistema, iniciando posteriormente a realização de cirurgias sobre supervisão, onde irá maturar todas as competências adquiridas previamente.[6] Segundo cirurgiões altamente qualificados, como K. Ashutosh Tewari, do Weill Cornell Medical College, em Nova York, dizem que demora cerca de 200-300 procedimentos para as cirurgias assistidas por Robô se tornarem altamente proficientes. Tewari fez 3,2 mil. [4]

F. Acessibilidade

No Brasil, o custo do robô sai em torno de R$ 2,5 milhões. [4] Pode ser visto em ação em três hospitais privados de São Paulo; Hospital Albert Einstein, Hospital Sírio Libanês e Hospital Alemão Oswaldo Cruz. Em novembro de 2012, o Hospital de Câncer de Barretos, conhecido por oferecer atendimento gratuito e manter boa parte de sua estrutura com doações de artistas e do setor, começou a realizar operações com o robô Da Vinci™. Como o SUS não remunera cirurgias robóticas, o custeio dos procedimentos virá de outras fontes tradicionais do hospital, como leilões de gado e ações beneficentes. [7] Além do alto custo para a aquisição do robô ainda são gastos mais R$ 200 mil anualmente para sua manutenção, feita por um Engenheiro Biomédico. [4] Tal manutenção consiste nos seguintes aspectos: o início e fim de garantia; as calibrações necessárias bem como um registro das intervenções efetuadas e respectivo planejamento. [8]

G. Cirurgia Robótica x Cirurgia Convencional

A cirurgia robótica tem grande aplicação nas áreas: da urologia, da ginecologia, da cardiologia e da gastroenterologia. [10] A tabela abaixo apresenta um comparativo entre a cirurgia robótica e a cirurgia convencional. Porém, vale destacar a necessidade de médicos e profissionais técnicos altamente capacitados para o uso da técnica robótica e aptos a executar a técnica

convencional se ocorrer qualquer falha mecânica ou humana durante o procedimento operatório.

desconforto no pós-operatório, na diminuição de perdas sanguíneas durante o procedimento, no

			PERDA DE SANGUE	TEMPO DE INTERNAÇÃO	TAMANHO DOS CORTES CIRURGICOS
UROLOGIA	*Extração radical da próstata*	Robótica	150 mililitros	De 1 a 2 dias	De 1 a 3 cm, perto do umbigo
		Convencional	700 mililitros	De 3 a 4 dias	15cm, abaixo do umbigo
	Extração total de rim	Robótica	150 mililitros	2 dias	De 1 a 10 cm, na região lombar
		Convencional	500 mililitros	4 dias	20cm, abaixo do umbigo
GINECOLOGIA	*Extração de mioma*	Robótica	100 mililitros	De 1 a 2 dias	De 1 a 3 cm, na região pelvica
		Convencional	400 mililitros	De 3 a 4 dias	De 10 a 20 cm, na região pelvica
	Extração do útero	Robótica	100 mililitros	2 dias	De 1 a 3 cm, na barriga
		Convencional	300 mililitros	De 4 a 5 dias	10 cm, na barriga
CARDIOLOGIA	*Ponte de safena e mamaria*	Robótica	200 mililitros	De 3 a 4 dias	1 cm, no peito
		Convencional	400 mililitros	10 dias	25 cm, no peito
	Troca de válvula cardíaca	Robótica	200 mililitros	De 3 a 4 dias	1 cm, no peito
		Convencional	400 mililitros	10 dias	20 cm, no peito
GASTROENTEROLO-GIA	*Retirada de tumor no reto*	Robótica	50 mililitros	3 dias	De 1 a 3 cm, na região pélvica
		Convencional	400 mililitros	1 semana	25 cm, na região pélvica
	Retirada de tumor no esôfago	Robótica	100 mililitros	De 1 a 2 dias, na UTI	1 cm, no tórax
		Convencional	600 mililitros	1 semana, na UTI	De 20 a 30 cm no tórax
	Retirada de tumor no pâncreas	Robótica	250 mililitros	12 dias	De 1 a 5 cm, na barriga
		Convencional	750 mililitros	15 dias	35 cm, na barriga
	Retirada de tumor no fígado	Robótica	250 mililitros	De 4 a 5 dias	De 1 a 5 cm, na barriga
		Convencional	750 mililitros	10 dias	30 cm, na barriga

Tabela 1 – Cirurgia Robótica x Cirurgia Convencional - Revista Veja, 23 de novembro de 2011.

H. Vantagens e Desvantagens

Graças a sua combinação de recursos, a robótica confere ao cirurgião maior destreza e controle durante os procedimentos em áreas delicadas, mais conforto durante a cirurgia e pode efetuar tarefas que lhes causam riscos evitando o contato direto do profissional com um paciente infectado. A Cirurgia Robótica disponível para o tratamento de diversas patologias pode beneficiar pacientes na diminuição da dor e do menor tempo de permanência no hospital e ainda oferece a oportunidade de retorno mais rápido às suas atividades diárias. [9] Em controvérsia, há algumas barreiras que dificultam a realização desse tipo de cirurgia, que são a falta de médicos preparados para o manuseio. Além disso, entre as opções cirúrgicas, a cirurgia robótica é a mais cara, conta com o elevado preço do equipamento e manutenção, e para complicar, os planos e seguros de saúde não reembolsam o

aluguel do robô, o qual custa de R$ 6 mil a R$12 mil reais, sempre pago pelos pacientes. [4]

I. Imagens do Sistema Robótico Da Vinci

Fig. 1. Estrutura do Sistema Robótico daVinci. [12]

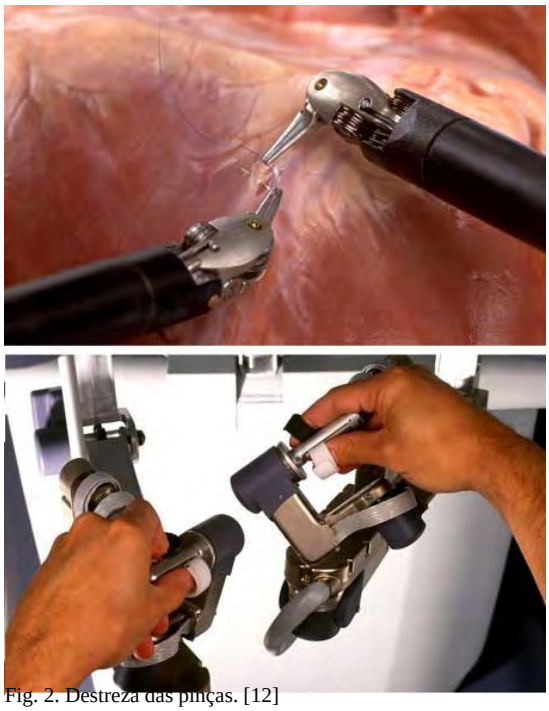


Fig. 2. Destreza das pinças. [12]

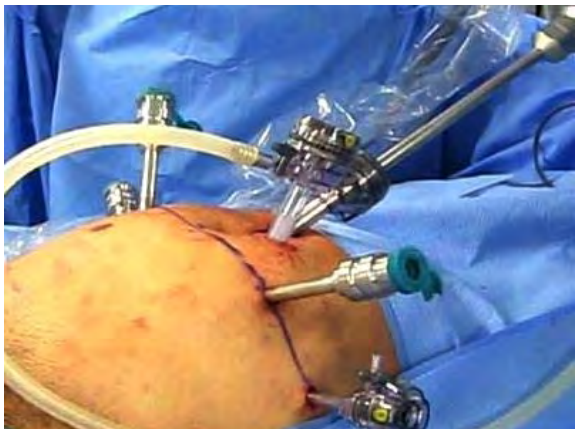


Fig. 3. Incisões em um procedimento na área de gastroenterologia. [12]

III. CONCLUSÕES

Com base neste ano de estudos e pesquisas concluímos que o sistema robótico Da Vinci™ é visto de forma positiva pela sociedade, tendo grande aceitação pela classe dos cirurgiões e pacientes devido aos benefícios que oferece. É um sistema moderno, dotado de altas tecnologias e bem planejado, visando o conforto daqueles que o manuseia e o alívio dos que o escolhem. Contudo, ainda que esteja provada a sua eficácia, ele não passa de uma ferramenta de trabalho, sem autonomia nenhuma, sem o homem por trás dele nada seria efetivado. Foi um estudo realmente interessante e instrutivo. A expectativa é que esse sistema seja acessível a todas as classes e aperfeiçoado, para poder atender mais necessidades e facilitar um procedimento cirúrgico.

.

IV. REFERÊNCIAS

[1] Ryan A. Beasley - Medical Robots: Current Systems and Research Directions

[2] Emprego de sistemas robóticos na cirurgia cardiovascular* Roberto T. SANT´ANNA1, Paulo R. L. PRATES 2 , João Ricardo M. SANT´ANNA2 , Paulo R. PRATES 2 , Renato K. KALIL 2 , Diogo E. SANTOS 1 , Ivo A. NESRALLA.

[3] Clínica Vladimir Schraibman – Cirurgia Robótica http://www.cirurgiarobotica.med.br/?cirurgia%20robotica=www.cirurgiarobotica.med.br

[4] LEMES, Conceição. “Tempos Modernos? Cirurgia Robótica”, in: Revista Onco&, Iaso Editora, Dezembro 2011/ Janeiro-Fevereiro 2012.

[5] Biomedical Information Technology - Academic Press Series in Biomedical Engineering - Edited by David Dagan Feng.

[6] Diogo Nuno Martins Félix Rodrigues Veiga Dissertação de Mestrado Integrado em Medicina. Porto, 2011. Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar

[7] Saúde Web http://saudeweb.com.br/32073/hospital-de-barretos-ganha-robo-da-vinci-para-cirurgias/

[8] Manso, Joana Maria Dias- Práticas de gestão de equipamentos médicos no Hospital da Luz. Dissertações de mestrado – 2012

[9] Albert Einstein- Cirurgia Robótica http://www.einstein.br/einstein-saude/pagina-einstein/Paginas/cirurgia-robotica-em-urologia-e-ginecologia.aspx

[10] CREMESP- Conselho Regional de Medicina do Estado de São Paulo http://www.cremesp.org.br/?siteAcao=Revista&id=444

[11] Revista Veja – 23 de novembro de 2011.

[12] Revista Galileu - http://revistagalileu.globo.com/Revista/Common/0,,ERT204049-17770,00.html

[13] SisSaúde http://www.sissaude.com.br/sis/inicial.php?case=2&idnot=6623

Estudo e propostas de melhoria para um Aquecedor Solar construído com materiais recicláveis objetivando aumento de qualidade de vida da comunidade – parceria Cas@Viva.

Diana das Graças Brandão

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
dianag@inatel.br

Carlos Alberto de Carvalho Vasques

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
cacvasques@hotmail.com

***Resumo*— Este projeto visa na construção de um aquecedor solar utilizando alguns materiais recicláveis. Além de economizar energia elétrica e beneficiar diretamente o meio ambiente, o projeto tem como objetivo conscientizar as pessoas de que as embalagens pós-consumo que são depositadas ao meio ambiente podem se tornar úteis e viáveis a sociedade, trazendo a ela uma melhor qualidade de vida a baixo custo.**

***Palavras chave*— Aquecedor solar, meio ambiente, material reciclável, educação ambiental, qualidade vida.**

I. INTRODUÇÃO

Atualmente vivemos rodeados de alta tecnologia, mas são poucos os que se preocupam em uni-la ao meio ambiente, por isso pensamos em desenvolver uma pesquisa em cima de um projeto já existente conhecido como "Água quente para todos" de autoria do Sr. José Alcino Alano, onde ele fabrica um aquecedor solar com embalagens de longa vida e garrafas PET.

O intuito da pesquisa não é apenas em cima de um protótipo, mas sim de uma conscientização ambiental na qual se envolve a comunidade acadêmica e a comunidade da cidade de Santa Rita do Sapucaí, MG, enfatizando estes como postos de coleta.

Foi desenvolvido um kit do aquecedor solar para estudo de um grupo de alunos do Cas@Viva, no qual foi instalado na própria Cas@Viva para testes e aprimoramento.

II. INSTRUÇÕES GERAIS

Apesar de simples o aquecedor solar é um projeto que beneficia diretamente o meio ambiente por ser constituído de materiais recicláveis que possuem rendimento térmico. Com intuito de abaixar custos, utilizamos nas colunas de absorção térmica, tubos e conexões de PVC, mais barato do que tubos de cobre ou alumínio aplicados aos coletores que se encontram no mercado.

As garrafas de PET e as embalagens de longa vida substituem a caixa metálica, o painel de absorção térmica e o vidro utilizado nos coletores convencionais. As cartonadas de longa vida que são pintadas de preto absorvem calor, o qual é retido no interior das garrafas e transferido para a água através das colunas de PVC, também pintadas de preto. A caixa de vidro dos coletores convencionais tem a função de proteger o interior do coletor, já neste projeto a substituímos por garrafas PET que possuem a mesma função, protegendo principalmente contra os ventos e oscilações da temperatura.

Para aquecer a água para o banho de uma pessoa necessita-se de um aquecedor solar de um metro quadrado, ou seja, em uma casa com quatro pessoas é necessário um aquecedor com um painel de quatro metros quadrados. Assim para uma pessoa são necessárias 60 garrafas PET e 50 embalagens de longa vida, logo, para uma família com quatro pessoas precisaremos de 240 garrafas PET e 200 embalagens longa vida.

A. Instalação

Com os coletores montados (projeto do ano de 2011), preparamos então o espaço para serem instaladas as placas solares na Cas@Viva. A instalação foi simples e necessitou apenas de um suporte de ferro para que elas ficassem inclinadas no mesmo ângulo que telhados convencionais (figura -1). A caixa de água também passou por ajustes como o manual orienta e fazendo adaptações para recursos mais viáveis (figura – 2 e 3).

Para uma melhor conservação da água já aquecida, foi feito o isolamento da caixa de água com materiais recicláveis e de baixo custo (figura -4) como isopor, jornais velhos, plástico e fita adesiva.

B. Monitoramento

Depois de instalado os coletores foram monitorados diariamente. O equipamento teve que ser reparado devido a um vazamento, onde foi comprovada a falta de lixar o cano de PVC. Problema que foi resolvido lixando o cano e passando

cola.

Diariamente houve retirada de temperaturas da água na superfície da caixa, saída do coletor para caixa e saída para o chuveiro. Na tabela 1 podemos observar algumas das temperaturas coletadas.

C. Figuras e Tabelas

Figura 1 – Suporte para os coletores

Figura 2 – Cano para saida de água quente da caixa para o chuveiro.

Figura 3 – Furos feitos na caixa conforme manual

Figura 4 – Caixa com isolamento

Medidas de Temperatura Realizadas na Cas@Viva					
Dia	Horário	Temperatura Ambiente	Saída	Superfície	Saida do chuveiro
17/set	13:20	23º	26º	24,3º	22,4º
18/set	15:05	31º	49º	43,8º	42,7º
19/set	15:10	30,5º	42º	38,7º	37,5º
20/set	13:10	30º	45,8º	40º	39º
21/set	13:30	28º	37º	44,5º	42º
24/set	14:00	25,5º	32,7º	27,5º	25,6º
25/set	15:16	26º	30,5º	27,3º	25,3º
26/set	14:00	27º	32º	28º	26º
27/set	15:00	26º	36º	41,5º	40º
28/set	13:45	28º	42º	36,6º	35,4º
01/out	12:35	33º	44,8º	37,9º	35,8º
02/out	14:49	34º	50º	42,6º	41,3º
03/out	14:20	32º	45,8º	40º	38,5º
04/out	12:35	33º	44,8º	37,9º	36º
05/out	13:15	33º	46º	39º	37,6º
08/out	12:40	33,3º	51,1º	39º	38º
09/out	14:50	34º	53º	41,2º	40,5º
10/out	15:15	36º	49º	36,7º	35,6º

Tabela 1 – Exemplos de algumas temperaturas registradas

III. CONCLUSÕES

A princípio o projeto parece não ser tão eficaz quanto os aquecedores solares que encontramos no mercado, mas podemos comprovar que ele apresenta uma ótima eficiência, além de ser 75% mais barato que os convencionais e beneficiando o meio ambiente, o custo final sai a R$ 192,00 - não levando em consideração onde será comprado.

Pude perceber também que o sistema é mais eficiente quando se há sol. Nos dias ensolarados tivemos uma eficiência muito boa o que gera economia de energia.

REFERÊNCIAS

[1] ALANO, J.A. **Manual água quente para todos.** Paraná: SEMA, 2007.43p.

[2] Atkins, P. W.; Jones, L. (2005) **Princípios de Química** – **Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente**, Porto Alegre, Bookman.

Diana das Graças Brandão nasceu em Pouso Alegre em 14 de setembro de 1990. Incluiu o ensino médio na Escola Estadual Coronel Ananias de Andrade. Atualmente cursa o 4º período de Engenharia Elétrica no Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel.

Hospital autossustentável

Matheus Bentes Alves

Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
matheusb@geb.inatel.br

Pedro Henrique Ribeiro do Vale

Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
matheusb@geb.inatel.br

Lilian de Oliveira N. Gangana

Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
lilianoliveira@inatel.br

***Resumo* - Seguindo a palavra que rege o século XXI , a sustentabilidade, este projeto visa a criação de um hospital totalmente focado no reaproveitamento, fontes de energia limpas e econômicas, recursos ambientais unidos a tecnologia e a engenharia criando assim um hospital auto sustentável, onde o dinheiro que seria gasto com contas poderá ser usado para a melhores equipamentos e qualificações de sua equipe.**

***Abstract* - Following word that governs the XXI century, sustainability, this project aims to create a hospital totally focused on recycling, clean energy and economic resources environmental technology and engineering together thus creating a self-sustaining hospital, where the money would be spending accounts can be used for better equipment and skills of your team.**

I. INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, com o caos gerado por queima de combustíveis fosseis, aquecimento global e derretimento das geleiras, o mundo busca alternativas para se desenvolver sem a degradação do meio ambiente e o ecossistema nele encontrado. A sustentabilidade é a habilidade de sustentar ou suportar condições de um processo ou de um sistema que permite a sua permanência independente da ação humana e os prejuízos herdados por anos de utilização desenfreada e irresponsável dos seus recursos.

Ultimamente, este conceito tornou-se um princípio, segundo o qual o uso dos recursos naturais para a satisfação de necessidades presentes não pode comprometer a satisfação das necessidades das gerações futuras.

Visto que Sustentabilidade também pode ser definida como a capacidade do ser humano interagir com o mundo, preservando o meio ambiente e seus recursos, a aplicação de novas tecnologias podem ser usadas em diversos ambientes onde a natureza seja uma forma de se mudar o paradigma existente onde só há desenvolvimento à custa da degeneração ambiental.

Baseado nessa nova visão e acoplado ao pilar da medicina e da saúde mundial, o hospital torna-se um ambiente onde as pesquisas e as inovações são necessárias frequentemente. A união de ambos, o hospital e a sustentabilidade, é imprescindível aos olhos modernos gerando assim uma ampla gama de estudos e inovações para que se reduza as despesas em um órgão vital para a sociedade.

Seguindo essa ideia, o projeto “hospital autossustentável” faz com que essa busca se torne mais simples, usando iniciativas comprovadas e as unindo com meios de energia limpa e renovável reduzindo drasticamente os custos diários. As principais pesquisas são feitas na área de energia limpa e reutilização de matérias que possam ser reaproveitados, como a água e energia solar.

Os hospitais em geral gastam grandes quantias de dinheiro em suas contas de luz, pois o local tem que estar em uma temperatura correta, usando assim ar condicionado, grande quantidade de equipamentos ligados ao mesmo tempo e muito deles ligados 24 horas por dia, consumindo muita energia. Por mais que esses equipamentos por si só já sejam econômicos o uso prolongado gera um desgaste que acarreta uma serie de consequências nos seus sistemas internos e acaba prejudicando seu funcionamento.

Existem hoje iniciativas sustentáveis que ajudam a climatizar ambientes e reduzir os gastos em com energia em 60% menos. Esses mesmos procedimentos ajudam a captação de água da chuva e uma filtração primaria para que a água possa ser reutilizada de maneira consciente em irrigações e privadas. A união de painéis solares a lâmpadas de LED geram uma economia de 80% em sua grande parte no gasto com energia elétrica.

II. ECOTELHADO

O ecotelhado é uma iniciativa simples e que pode ser instalada tanto em cobertura de prédios (laje) como em coberturas tradicionais (telhas de cerâmica e etc.). É possível

fazer um telhado com grama ou plantas. Este sistema traz um conforto térmico e acústico melhorando os ambientes onde ele está instalado e reduzindo a temperatura e os ruídos do exterior.

Sua montagem é composta por placas de grama instaladas sobre a cobertura desejada e sobre uma estrutura que capta a água da chuva e a reserva para que seja filtrada e reutilizada.

Fig. 1. Ecotelhado implantado em algumas edificações.

A utilização de painéis solares montados sobre o ecotelhado ajuda a absorção da energia solar e sua utilização na forma de energia elétrica.

Os telhados verdes ganharam uma crucial importância nos centros urbanos trazendo diversos benefícios como:

-Aumento da biodiversidade;

-Redução da velocidade do escoamento da água da chuva na fonte (telhado);

-Aumento da retenção da água da chuva na fonte (drenagem urbana);

-Limpeza de água pluvial, contribuindo para a redução da poluição;

-Redução da poluição do ar pelo sequestro de carbono;

-Esses telhados ajudam na diminuição da temperatura do micro e do macro ambiente externo.

III. ECODRENO

Ecodreno é um sistema de retenção, drenagem e infiltração de água da chuva que funciona como cisterna modulada subterrânea deixando o espaço livre para o trânsito. O objetivo é formar um reservatório de água da chuva para impedir que a água saia do terreno como enxurrada levando os poluentes para os rios e lagoas.

O piso elevado será formado por vários cones do Ecodreno intertravados entre si**.** Os cones são confeccionados em plástico reciclado**,** muito resistente à sobre carga, com capacidade de reter até 200 litros/m² de água em seu interior. O sistema irá formar uma cisterna de água da chuva e também servirá como um tratamento de águas cinza; já utilizadas em tanques, pias, máquinas de lavar e chuveiros. Após a montagem do piso elevado haverá o preenchimento dos cones com argila expandida. Sobre essa montagem virá uma membrana de retenção de nutrientes, que a seguir será recoberta por uma camada de substrato leve Ecotelhado, por sobre a qual serão plantadas plantas macrófitas**,** vegetação capaz de filtrar através das suas raízes as partículas indesejáveis dessa água reservada.

Fig. 2. Cones intertravados do Ecodreno.

O uso da água pode ser feito em irrigação ou descarga de sanitários ou como infiltração para recarga de aquíferos. Recentes pesquisas mostram que até 70% da contaminação de rios e arroios provêm de águas pluviais que lavam a cidade e descarregam os poluentes na água. Em muitos municípios já existem leis que regulamentam retenção e tratamento do pluvial.

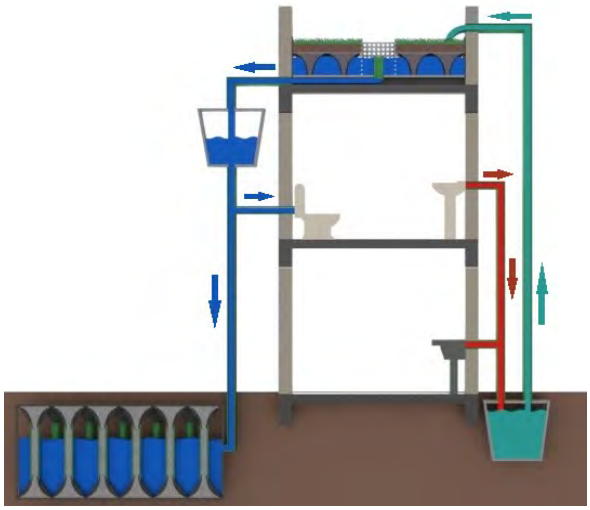


Fig. 3. Processo do Ecodreno. As águas cinzas são filtradas e levadas para a irrigação do Ecotelhado.

IV. Lâmpada de LED

O uso da tecnologia LED está cada vez mais comum. Televisores, semáforos e iluminação pública já contam com a presença de diodos emissores de luz no lugar das lâmpadas comuns empregadas em suas estruturas.

Em uma lâmpada incandescente comum, menos de 10% da energia que passa por ela é transformada em luz. Os outros 90% de eletricidade são perdidos na forma de calor, por isso uma lâmpada desse gênero esquenta tanto quando fica acessa por muito tempo.

Já pensando na economia de energia, surgiram as lâmpadas fluorescentes, que consomem menos energia do que a antecessora, mas possuem mercúrio em sua composição. Por isso, o LED surgiu como uma grande alternativa.

Fig. 4. Lampadas de LED

Os LEDs têm uma vida mediana até 25 vezes maior e proporcionam economia superior em mais de 80%, em comparação às lâmpadas incandescentes. Se for usada durante 6 horas por dia, a lâmpada LED de 3 watts, equivalente a 25 watts de uma lâmpada incandescente, dura 44 anos e a ambiente LED, equivalente a 60 watts dura 11 anos. Depois desse tempo, a lâmpada ficará mais fraca. Nesse mesmo parâmetro, a lâmpada incandescente dura cerca de 165 dias e a fluorescente, por volta de 4 anos.

Fig. 5. Lampadas de LED iluminando um ambiente interno.

V. Conclusões

A finalização do projeto consiste na junção dessas inovações na construção de um ambiente onde se possa focar no trabalho apenas e não se preocupar com os gastos, pois eles serão reduzidos ao mínimo.

Nota-se que os benefícios da implantação dessas novas tecnologias, além da redução de custos geram o chamado marketing 3.0 que é a era dos consumidores altamente conscientes. Este hospital atende a esses novos padrões mundiais que tem como objetivo fazer um mundo melhor e não apenas vender, e satisfazer e reter seus clientes.

Referências

[1] Kotler, Philip. Marketing 3.0 - As Forças que Estão Definindo o Novo Marketing Centrado no Ser Humano.

[2] Por que uma lâmpada de LED é mais econômica? Disponível em: <http://www.tecmundo.com.br/led/34046-por-que-uma-lampada-de-led-e-mais-economica-.htm>. Acesso em: 10 mar. 2013.

[3] Ecodreno. Disponível em: < http://www.ecotelhado.com.br/Por/ecodreno/default.aspx>. Acesso em 10 mar 2013.

[4] Lâmpadas LED vão iluminar a sua sala. Disponível em: <http://info.abril.com.br/noticias/blogs/la-em-casa/meio-ambiente/lampadas-led-vao-iluminar-a-sua-sala>. Acesso em: 10 mar 2013.

[5] Reuso de água de chuva. Disponível em: < http://ecotelhado.blog.br/index.php/tag/ecodreno>. Acesso em 10 mar de 2013

Estudo de Eletro Estimulação como Auxiliar na Marcha de Pessoas com Lesão Medular

Monique Daniele Silva do Monte
Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
moniqued@gec.inatel.br

Camila Mendonça de Moraes Lopes
Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
camila@inatel.br

Abstract – The objective of this work is the fabrication of a prototype for Electro lower limbs, with the collaboration function gait of people with physical disabilities by spinal cord injury.
The prototype can collaborate at the time of the thigh extension and ankle dorsiflexion, because at this stage of the march people with spinal cord injuries have trouble keeping your leg extended and thus not able to keep up in the standing position (standing). The walk, walk upon these people have a tendency to remain in flexion, which contributes to falls, or even hindering the march, by this fact, the need for a device that stimulates the movement of this joint.
This equipment will serve as an aid to rehabilitation and gait of persons with disabilities

Resumo – O objetivo do trabalho é a confecção de um protótipo de eletroestimulador para membros inferiores, tendo como função a colaboração na marcha de pessoas com deficiência física por lesão medular. O protótipo poderá colaborar no momento da extensão da coxa e dorsiflexão do tornozelo, pois nesta fase da marcha as pessoas com lesão medular possuem dificuldade para manter o seu membro inferior em extensão e desta forma, não conseguindo manter-se na posição ortostática (em pé). O pé, no momento do andar dessas pessoas, tem a tendência de manter-se em flexão, o que contribui para quedas, ou mesmo dificultando a marcha, por este fato, a necessidade de um artifício que estimule o movimento dessa articulação.
Este equipamento servirá para reabilitação e como auxiliar na marcha das pessoas com deficiência física.

Palavras-chaves – Eletroestimulação, membros inferiores, marcha.

I. INTRODUÇÃO

Eletroestimulação é uma técnica muito utilizada por profissionais da área da saúde, especialmente fisioterapeutas, em tratamentos de reabilitação, por exemplo, de pessoas com lesão medular. Sua utilização pode ser para alívio da dor e até mesmo para reproduzir movimentos com a estimulação da contração muscular.

Atualmente, pode se observar um grande número de indivíduos jovens com lesão medular, isto pode ser decorrente da violência urbana, acidentes de trânsito, entre outros, fatos que aumenta o número pessoas incapacitadas e com necessidades especiais decorrente da perda parcial ou total da motricidade e sensibilidade, além de comprometimento vasomotor, intestinal, vesical e sexual (VALL; BRAGA; ALMEIDA, 2006). Considerando a gravidade e muitas vezes a irreversibilidade, estas pessoas necessitam de um programa de reabilitação longo e oneroso, que na maioria das vezes não leva à cura, mas à adaptação do indivíduo à sua nova condição. Esse processo de tratamento e reabilitação, no entanto, se estende além da prevenção dos danos causados pela lesão e objetiva principalmente melhora da qualidade de vida através da independência funcional, melhora da autoestima e inclusão social desses pacientes.

O tratamento com eletroestimulação acontece com um equipamento que através de pulsos elétricos estimulam a contração muscular, fazendo assim com que o membro se mova realizando a marcha. Para isso é necessário que o paciente esteja de pé, devidamente protegido e apoiado para dar firmeza ao movimento e segurança ao paciente. O aparelho funciona da seguinte maneira: Ao ser ligado aparecerá o tipo de corrente a ser aplicada, e com um tipo de controle a intensidade poderá aumentar ou diminuir, dependendo da condição do usuário.

Durante atividades de acompanhamento a pacientes na área de lesão medular, percebemos que ao caminhar muitos pacientes não conseguiam fazer o movimento correto com os pés. Com o auxilio de correntes elétricas como corrente russa e corrente FES interligadas aos nervos desses pacientes provocando a eletroestimulação a marcha poderia ser realizada perfeitamente. De acordo com Zanotti e Castro (2013) a eletroestimulação permite que pacientes com lesões medulares tenham a oportunidade de executar os movimentos musculares durante a marcha. Dessa maneira é possível evitar lesões ao executar movimentos na fisioterapia.

No intuito de auxiliar no tratamento de pacientes que necessitam de eletroestimulação, nos propusemos a realizar este estudo que tem como objetivo principal a construção de um protótipo de eletroestimulador de baixo custo, para auxiliar na reabilitação e marcha de indivíduos com lesão medular.

2. Metodologia

O desenvolvimento do protótipo percorreu algumas etapas:

1. Acompanhamento de pacientes com deficiência motora em membros inferiores;
2. Estudo dos equipamentos existentes;
3. Definição da corrente a ser utilizada no protótipo;
4. Montagem do protótipo;
5. Teste.

Durante o desenvolvimento da *primeira etapa* os pesquisadores acompanharam o tratamento e reabilitação de pacientes com deficiência físico motor realizado por uma profissional de fisioterapia. Nesse sentido, observando a marcha humana normal podemos distinguir claramente dois estados: o de duplo apoio (DA), em que os dois membros inferiores se encontram apoiados no solo (parado), e o de apoio simples (AS), em que apenas um dos membros inferiores se encontra apoiado no solo e o outro em balanço(movimento).

A fase de apoio dura aproximadamente 60 % do ciclo completo de um dos membros inferiores enquanto a fase de balanço dura aproximadamente 40 %. Nesta última fase, o equilíbrio do corpo, a suavidade do movimento e a minimização do gasto energético são garantidos por uma fina conjunção de movimentos auxiliares do corpo, como o movimento dos braços, o deslocamento do centro de massa para perto do plano de movimentação do membro inferior de apoio e uma leve flexão do membro inferior de apoio. Esta flexão tem o objetivo de diminuir impactos na transição da fase de balanço para a de apoio e as oscilações verticais do centro de massa, ambos responsáveis por ineficiências energéticas da marcha.

Na *segunda etapa* realizamos o estudo de vários equipamentos de eletroestimulação existentes no sentido de definir a melhor corrente que se aplica aos potenciais usuários.

Assim entendemos que a corrente FES (Eletroestimulação Funcional) é utilizada para reabilitação funcional, ativando os músculos esqueléticos e produzindo movimentos tem como objetivo a contração através da estimulação elétrica, que despolariza o motoneurônio, produzindo uma resposta sincrônica em todas as unidades motoras do músculo. Este sincronismo promove uma contração eficiente, mas é necessário treinamento específico, a fim de evitar a fadiga precoce que impediria a utilização funcional do método com o objetivo reabilitacionais. FES é, portanto, uma corrente excito motora de baixa frequência (10 a 1000 Hz), despolarizada, com pulsos quadráticos bifásicos, que visa promover uma contração muscular. Amplamente utilizado quando a meta do tratamento é favorecer ou produzir movimento funcional. Além disso, é utilizado para manutenção do trofismo muscular em pacientes com déficit de força, quando não é possível a realização de movimentos cinesioterápicos (KITCHEN, 2003).

A corrente Russa ou Kotz que é o nome do pesquisador que a introduziu na moderna terapia de reforço muscular, de Eletroestimulação Transcutânea (TENS) para alívio de dores generalizadas, com uma corrente bifásica simétrica de média frequência (2.500 Hz a 4.000Hz).

Na *terceira etapa* realizamos discussões com profissionais da área de fisioterapia embasados nos estudos de corrente realizados e definimos para o protótipo a ser construído neste estudo utilizará a corrente Russa e FES. Assim, utilizando esses dois tipos de corrente diferenciadas, podemos melhorar os resultados dos movimentos perdidos. Com o auxílio das duas frequências, que a partir da sensibilidade muscular elas vão aumentando ou diminuindo sua intensidade.

Para a realização da *quarta etapa* e atingir o objetivo do estudo escolhemos um modelo dentre os vários equipamentos pesquisados ao longo deste estudo para nos embasarmos e garantir o melhor desenvolvimento do protótipo. Neste sentido, o que se enquadra melhor e com mais opções de uso seria o “Physiotonus SLim” (FIGURA 1), por ser o mais completo com relação à área de eletroestimulação.

FIGURA 1 - Physiotonus SLim
Disponível em: http://www.bioset.com.br/site/default.aspx?pagina=lab14.

Este é um moderno equipamento de eletroestimulação, que utiliza a Corrente Russa, a Eletroestimulação Transcutânea (TENS), e também inclui a de Eletrolipólise para melhora do tecido adiposo e circulatório. Estas são técnicas não invasivas e uma invasiva, sem efeitos sistêmicos, nem dependência e nem efeitos colaterais, sendo que a aplicação da estimulação se faz através de eletrodos colocados em pontos determinados do corpo ou do rosto para a produção da contração muscular.

Neste momento os pesquisadores estão realizando a definição dos componentes para a construção do protótipo do equipamento de eletroestimulação.

Esperamos com este estudo disponibilizar uma alternativa de baixo custo para o tratamento para melhorar a vida de pessoas com lesão medular.

REFERÊNCIAS

VALL J.; BRAGA, V.A.B.; ALMEIDA, P.C. Estudo da qualidade de vida em pessoas com lesão medular traumática. **Arq Neuropsiquiatr.** v. 64, n. 2-B, p. 451-455, 2006. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/anp/v64n2b/a19v642b.pdf>. Acesso em 20 de Maio de 2012.

KITCHEN, S. **Eletroterapia prática baseada em evidência.** 2.ed. - Barueri, SP : Manole, 2003.

ZANOTTI, B.P.; CASTRO, M.C.F. Eletroestimulador Digital Neuromuscular. **Anais...** Simpósio de Iniciação Científica e Tecnológica FATEC. São Paulo. Disponível em:http://bt.fatecsp.br/system/articles/566/original/bt1740.pdf. Acesso em Jan 2013.

Absorção Ionosférica

José Wilson Aguiar Júnior

Aluno do curso de Engenharia de Telecomunicações do Centro Universitário Luterano de Manaus – CEULM/ULBRA
jwajrr@gmai.com

Weverson dos Santos Cirino

Professor Adjunto com Mestrado do Centro Universitário Luterano de Manaus – CEULM/ULBRA
weverson.cirino@gmail.com

***Resumo* - Este artigo se refere à absorção ionosférica e sua interação no meio plasmático. É de suma importância às pesquisas de telecomunicações, tendo em vista que a absorção ionosférica perturba seu comportamento no trajeto da radiofrequência entre o transmissor e receptor. Nesse caso, o estudo é realizado no baixo espectro eletromagnético na região do ELF (3MHz a 3 KHz) e VLF (3KHz a 30KHz) e, devido a banda muito estreita dos canais utilizados a quantidade de informação tanto na transmissão quanto na recepção são muito pequenas, embora o alcance seja relativamente longo.**

***Palavras chave* – *absorção, ionosférica; elétrons livres; plasma; transmissão ionosférica*.**

***Abstract* - This article refers to ionospheric absorption and its interaction in the plasma environment. It is of paramount importance to telecom researches, given that the ionospheric absorption behavior disturbs the radio frequency path between the transmitter and receiver. In this case, the study is conducted in the lower region of the electromagnetic spectrum in ELF (3MHz to 3 KHz) and VLF (3KHz to 30KHz) and due to very narrow band of channels used the amount of information both in transmission and in reception are very small, although the range is relatively long.**

Keywords* - *ionosphere absorption, free electron, plasma, ionospheric broadcast.

I. Introdução

A ionosfera está localizada entre 50 a 1000 km de altitude (dependendo do autor) desde a parte superior da troposfera (tropopausa) até a termosfera. Sendo que na sua parte inferior varia com a temperatura e a dinâmica atmosférica como um todo. Desta forma, a região possui característica diferenciada de ionização que obedecem as variações ditadas pela dinâmica da interface baixa-alta atmosfera.

Em função da variabilidade da energia na região, esta se divide em camadas que são nominadas segundo suas características físico-químicas. Tal particularidade afeta de sobremaneira a propagação das ondas eletromagnéticas, notadamente na faixa compreendida desde 3Khz até aproximadamente 50Mhz [1].

A forte energização da região tem como causa principal a radiação provinda do Sol. As moléculas podem absorver fótons energéticos da região do ultravioleta, raios X e α-Lyman que por sua vez causam a formação de cátions, ânions e elétrons livres. Existem outras causas de ionização menos importantes para região, estas podem ser meteoritos que se desintegram gerando plasma, ale de outros fótons de alta energia [2].

A ionização sofre decaimento causado basicamente por processos de transporte que movimentam o plasma ionosférico da região equatorial deslocando para latitudes geomagnéticas maiores em ambos hemisférios, norte e Sul .

A natureza magnética do campo requer que as linhas que o compõe sejam fechadas interna e externamente, começando e terminando em pontos bem definidos [figura 1].

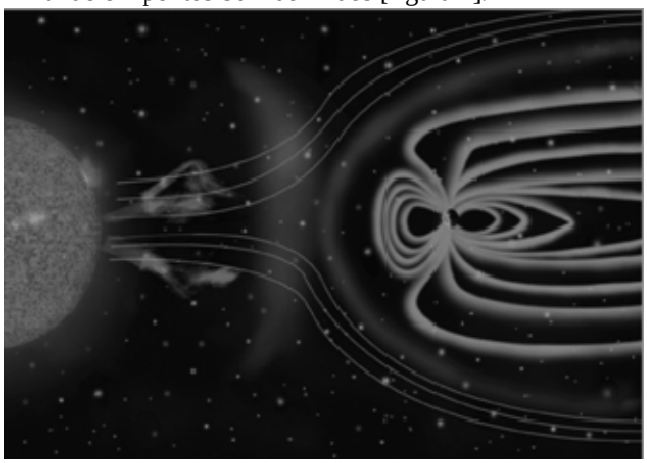


Fig. 1: Campo magnético terrestre protegendo a Terra das radiações provenientes do Sol.

Além das variações regulares citadas anteriormente, o conteúdo total de elétrons pode sofrer modificações abruptas em seu comportamento em função da ocorrência de intensas explosões solares.

Nestes eventos, entre outros fenômenos, surge um rápido aumento do fluxo solar de radiação eletromagnética, especialmente na faixa dos raios X e extremo ultravioleta. Estes atingindo a Terra podem provocar uma série de

Manuscrito recebido em 21 de fevereiro de 2013; revisado em 29 de março de 2013.

J. W. A. Júnior (jwajrr@gmail.com) e W. S. Cirino (weverson.cirino@gmail.com) pertencem a Universidade Luterana do Brasil – Ulbra - Centro Universitário Luterano de Manaus - Ceulm. Rua Carlos Drumond de Andrade, 1460, Japiim II – Manaus – AM – 69077-730, Brasil, 92 3616-9800.

fenômenos iônicos chamados Distúrbios Ionosféricos Súbitos (Sudden Ionospheric Disturbances) [1].

A larga presença eletrônica, ou seja, de elétrons livres é conceituada como TEC - Total Electron Content (Conteúdo Total de Elétrons). Tal conteúdo varia temporal e espacialmente em função da atividade solar. O TEC é comumente medido em unidades de TEC, ou TECU, onde 1 TECU= 1 x 10^6 elétrons/m^2. Para latitudes médias, o TEC noturno é de aproximadamente 5 TECU com R_{12}= 0, onde R_{12} é o número médio anual de manchas solares, e o TEC para R_{12}= 100 é aproximadamente 30 TECU [3].

II. VARIABILIDADE IONOSFÉRICA

Ao avançar da noite a ionosfera sofre um processo chamado recombinação. Em função disso as moléculas vão se formando eletricamente neutras. À medida que o Sol nasce este começa a energizar as moléculas neutras. Em função disso começa a ocorrer o processo de ionização aumentando desta forma a presença de plasma na região [4].

O aumento da ionização carrega a atmosfera superior, transformando os gases da região em plasma. Este, por sua vez pode se comportar ora como líquido, ora como sólido, ora como gás, sendo que qualquer que seja a natureza observada, seu comportamento varia de acordo com a energia absorvida ou irradiada por si, de forma cuja variabilidade faz o meio se proceder como um sistema sintonizado [5].

O plasma, conforme o comportamento descrito acima sofre intrinsecamente colisões em seus componentes, tais efeitos acabam por gerar transferência de energia cinética entre si com o meio onde estão inseridos.

A presença de partículas carregadas torna a atmosfera na região um meio dinâmico de tal forma que pode afetar a propagação de ondas eletromagnéticas. Estas podem ressonar gerando flutuações que por sua vez criam correntes parasitas em diversos comprimentos de onda fazendo o comportamento iônico ora absorvedor, ora refrator segundo a sua densidade própria [5]. A variação da densidade iônica faz ocorrer um fenômeno de refrações múltiplas que são geralmente confundidas com reflexão. Também em outras situações pode ocorrer a dutificação entre camadas. Este efeito, semelhante a condução de luz numa fibra óptica faz com que a radiofreqüência se propague entre camadas atingindo a superfície da terra após muitas "reflexões". A variação ionosférica é causada por duas mudanças nas fontes de ionização e corresponde a alterações na parte neutra da atmosfera superior na qual está incorporada.

A variabilidade iônica ocorre durante as 24 horas do dia por causa da energia provinda do Sol (dia) e a ausência desta (noite) conforme citado anteriormente. Também tal variabilidade depende do ciclo solar, da sazonalidade, da latitude e dos movimentos aéreos da atmosfera causados pela oscilação térmica [6] conforme Tabela 1.

Tal está ilustrado nas mudanças de densidade máxima de elétrons na região F (N_{max}) para uma variação diurna e ao longo do ciclo solar. A radiação solar de raios-X pode oscilar drasticamente quando ocorre um flare solar, o que aumenta a ionização na ionosfera. Sendo que na parte inferior da região (camadas C e D) há forte absorção de RF além de um aumento súbito de ruído térmico.

TABELA I
VARIABILIDADE IONOSFÉRICA.

PARÂMETROS IONOSFÉRICOS	DIURNO (LATITUDES MÉDIAS)	CICLO SOLAR (DIA)
N_{max}	1x10^5 a 1x10^6 elétrons/cm^3 fator de 10	4x10^5 a 2x10^6 elétrons/cm^3 fator de 5
Frequência Máxima Utilizável	12 a 36MHz Fator de 3	21 a 42 MHz Fator de 2
Conteúdo Total Eletrônico	5 a 50x10^{16} elétrons/cm^2 Fator de 10	5 a 50x10^{16} elétrons/cm^2 Fator de 5

Outra fonte de variabilidade ionosférica é provinda de partículas carregadas correspondentes a atmosfera neutra da termosfera.

A ionosfera interage com ventos termosféricos que podem empurrá-la e a inclinar ao longo das linhas de campo magnético para uma altitude diferente [7,6,5].

A composição da termosfera, durante a noite, altera a taxa de recombinação entre íons e elétrons.

Ao ocorrer uma tempestade geomagnética, a entrada de energia em latitudes elevadas altera os ventos termosféricos e sua composição. Tal fenômeno produz fases positivas ou negativas da concentração de eletrônica.

A variação diurna é composta por três parâmetros principalmente: N_{max}, MUF (frequência máxima utilizável) e TEC [8].

Para comunicação em alta freqüência, HF, as ondas de rádio se propagam em saltos pela ionosfera. Os parâmetros críticos são a máximo e mínimas frequências utilizáveis (UFM e LUF) sendo que a máxima freqüência utilizada depende do eletrônica da região F e do ângulo de incidência radiofrequência. Este efeito varia durante o dia segundo as interações terra-sol e suas perturbações [figura 2].

A mínima frequência utilizada (LUF) é controlada pela absorção iônica nas regiões C, D e E e é severamente afetada por explosões solares.

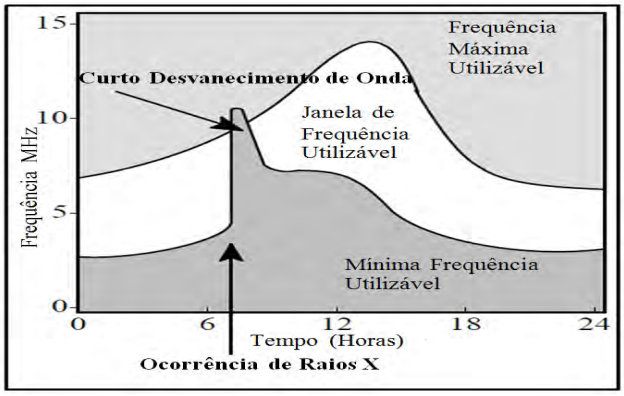


Fig. 2: A janela de frequência usada na rádio propagação situa-se entre mínima e máximas frequências utilizáveis. Quando fecha a janela, ocorre um curto desvanecimento de onda.

III. CINTILAÇÃO IONOSFÉRICA

Em algumas regiões da ionosfera (principalmente nas altas e baixas latitudes da região F) em certos locais (após o pôr do sol) a ionosfera pode se tornar altamente turbulenta. "Turbulência" é definida como a presença de estruturas de pequena escala (de centímetros a metros) com estruturas embutidas de irregularidade em grande escala (dezenas de quilômetros) no ambiente ionosférico [9]. Em condições favoráveis, as irregularidades de densidade do plasma são geradas apenas após o pôr do sol na região equatorial e pode durar várias horas. Em latitudes elevadas, essas irregularidades podem ser geradas durante o dia, ou à noite [7]. Para regiões em latitudes baixas e altas, as irregularidades de pequena escala ocorrem com mais frequência durante o máximo do ciclo solar [figura 3].

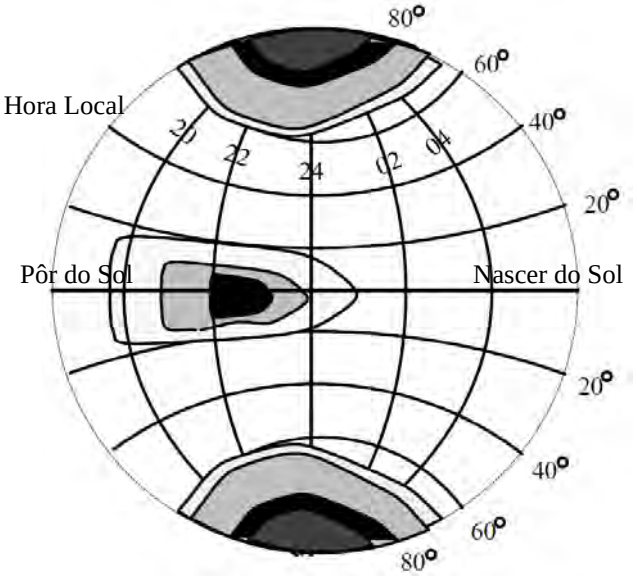


Fig. 3: Profundidade global do desvanecimento de cintilação durante a baixa e moderada atividade solar

A existência destas estruturas em pequena escala afetar seriamente a natureza das ondas de RF como sua propagação através da ionosfera.

IV. VISÃO MICROSCÓPICA DE PROPAGAÇÃO NO PLASMA

Partículas carregadas no plasma magnetizado, naturalmente, sofrer movimento de giro, ou movimento circular em torno das linhas do campo magnético, e força o movimento sob a influência de um campo elétrico variável no tempo. Este movimento complexo de cargas originam correntes secundárias. Estas correntes, por sua vez, modificar as propriedades de ondas eletromagnéticas que se propagam no plasma [10].

Quando uma partícula circular se desloca sobre uma linha do campo magnético, é empurrada ao mesmo tempo ao longo de um caminho linear [11]. Há dois modos de movimento: o extraordinário, onde o movimento é forçado na mesma direção que o movimento de giro e o modo comum, ao qual seu movimento de giro é forçado à direções opostas [figura 4].

O tempo harmônico do campo elétrico (harmônicas de propagação) afetam o movimento dos elétrons circulando sobre os campos.

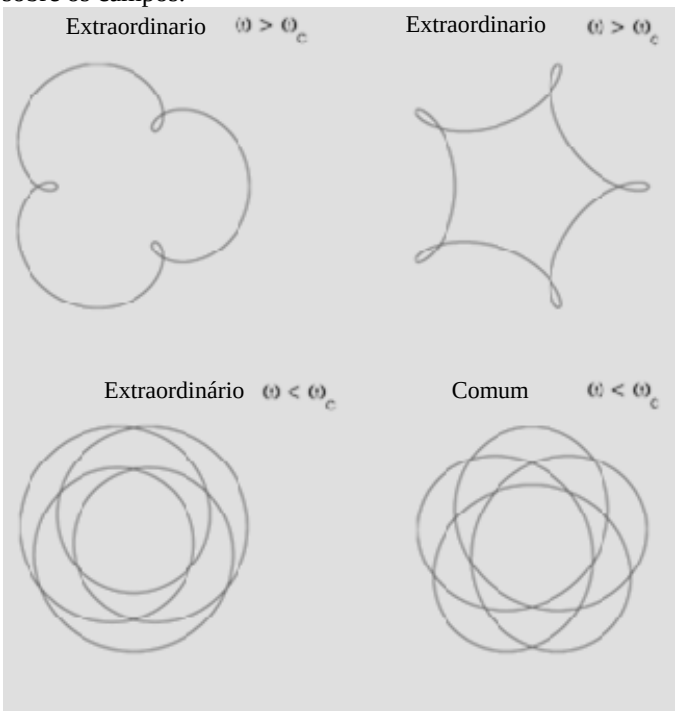


Fig. 4: Do lado esquerdo trajetórias de elétrons sob a influência do giro movimento e movimento forçado. Modo extraordinário: movimento forçado na mesma direção, com movimento de giro natural; Modo comum: movimento forçado a direção oposta movimento de giro natural.

Estes movimentos afetam as características de propagação da onda em si. A alteração forçada da frequência também altera o tamanho da resposta [12].

No plasma pode haver perda de energia através de colisões, que converte o movimento ordenado de cargas em movimento desordenado (aquecimento).

Duas classes de colisões são importantes na maioria dos plasmas:

A. Colisões de elétrons neutros – colisão de elétron com uma molécula neutra dispersando-se algum ângulo;
B. Colisões íon-eletrônicas - um elétron desloca-se para fora de um íon através da interação das forças de Coulomb;
C. Colisões eletrônicas neutras são importantes em gases parcialmente ionizados.

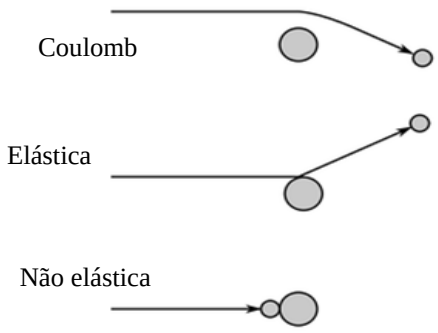


Fig. 5: Tipos importantes de colisões.

Em uma colisão elástica, o elétron consegue se movimentar por um pequeno momento depois da colisão através das interações das forças de Coulomb. Em uma colisão inelástica, o elétron perde toda a sua força e não se movimenta [figura 5].

As duas últimas formas de colisões mostram colisões de elétrons-neutros, atingindo a molécula neutra (O_2, por exemplo) e dispersando-se em algum ângulo mostram que o elétron possui algum impulso após a colisão perdendo toda sua força [13].

O movimento ordenado será interrompido sempre que houver uma colisão. Este processo é basicamente a perda através de aquecimento, uma vez que temos ordenado o movimento coerente do elétron interrompendo seu movimento chocando-o com outras partículas.

V. VISÃO FLUIDA

Devido ao grande número de partículas, o plasma é mais frequentemente tratado como um fluido acoplado com as equações de Maxwell e uma força adicional do termo Lorenz [14].

O que isto significa é que o plasma pode ser descrito usando equações de Maxwell e as duas equações de conservação da quantidade de movimento e de conservação e massa.

As perdas colisionais são modeladas como um termo de atrito linear simples, no momento final da conservação da equação.

A condição de continuidade (conservação de massa) é:

$$\frac{\partial N_e}{\partial t} + \nabla \bullet \left[N_e u_e \right] = 0 \tag{1}$$

Onde a condição de tempo é:

$$m_e N_e \left[\underbrace{\frac{\partial u_e}{\partial t}} + \left(u_e \nabla u_e \right) \right] = -\nabla \bullet p_e + q_e N_e \left(E + u_e \times B \right) - m_e n_e \nu u_e \tag{2}$$

A equação se justifica que a taxa de variação das partículas num ponto é equilibrada por um fluxo para dentro e para fora de um pequeno volume em torno desse ponto.

As variáveis das equações são:

A. N_e é a densidade numérica de elétrons;
B. u_e é a velocidade média dos elétrons;
C. q_e e e_u são a carga e a massa de um respectivo elétron.
D. N_u é a frequência de colisão;
E. e_p é a pressão de elétrons.

A outra equação é basicamente de equilíbrio e força. É mais difícil de interpretar, mas as partes importantes são os dois termos mais à direita:

a) A força de Lorenz é adicionada a essas equações, tal como qualquer força externa seria em simulações de fluidos;

b) O termo colisão pode ser explicado como a taxa de perda de impulso devido às colisões - N*m*u é o impulso por unidade de volume. Multiplicando-a por a taxa de colisão basicamente torna uma taxa, e subtraindo o torna uma perda.

Escrevendo perdas desta forma assumimos implicitamente que todos os momentos de um elétron são perdidos colisões. Ele bate em um neutro e para. Na realidade, não é assim tão simples, mas é um bom modelo e N_u (frequência de colisão) é geralmente uma medida de quantidade "eficaz" de qualquer maneira.

Perdas colisionais são modeladas como um termo de atrito linear simples.

É comum para soltar os termos de pressão e convectivas, produzindo a equação do "plasma frio linearizado":

$$m_e N_e \frac{\partial u_e}{\partial t} = q_e N_e \left(E + u_e \times B \right) - m_e N_e \nu u_e \tag{3}$$

Na verdade, a conservação da equação de condição de tempo pode muitas vezes ser ainda mais simplificada através da supressão da convecção e condições de pressão, obtendo-se a equação de plasma frio linearizado na parte inferior.

A corrente e a carga estão relacionadas com a densidade e velocidade eletrônica:

$$\begin{aligned} J &= N_e q_e u_e \\ \rho &= N_e q_e \end{aligned} \tag{4}$$

Fazendo a substituindo, podemos reescrever as equações de fluidos como relações entre J, E, e da densidade de carga:

$$\begin{aligned} &\frac{\partial \rho_e}{\partial t} + \nabla \bullet J = 0 \\ &J = \overline{\overline{\sigma}} E \end{aligned} \tag{5}$$

Ou seja, a conservação da massa é a mesma que a conservação de carga, e a equação reduz a quantidade de movimento linear de uma relação entre a corrente e o campo elétrico através de um tensor de condutividade 3x3 eliminando o termo de velocidade do fluido [15].

Supondo que o campo magnético se orientado ao longo do eixo z, a condutividade tensor é:

$$\overline{\overline{\sigma}} = \begin{bmatrix} \sigma_{\perp} & \sigma H & 0 \\ -\sigma H & \sigma_{\perp} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{\parallel} \end{bmatrix}$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{(\nu + j\omega)^2 \sigma_{\parallel}}{(\nu + j\omega)^2 + \omega_{ce}^2}$$

$$\sigma H = \frac{(\nu + J\omega)^2 \omega_{ce} \sigma_{\parallel}}{(\nu + j\omega)^2 + \omega_{ce}^2} \quad (6)$$

$$\sigma_{\parallel} = \frac{N_e q_e^2 (\nu - j\omega)}{m_e (\nu^2 + \omega^2)}$$

$$\omega_{ce} = -\frac{q_e B}{m_e}$$

Arbitramos que o campo B está na direção z girando apenas para uma melhor compreensão.

Onde ω_{ce}^2 é a frequência ciclotrônica; os outros símbolos continuam com a mesma correspondência. A condutividade ao longo da direção z não é afetada pelo campo magnético (plasma desmagnetizado). Para haver uma onda plana, o tensor de condutividade e a permissividade do tensor são completamente equivalente a complexa permissividade do tensor é:

$$\overline{\overline{\varepsilon}} = \varepsilon_0 \left(I + \frac{\overline{\overline{\sigma}}}{j\omega} \right) \quad (7)$$

VI. RELAÇÃO DE DISPERSÃO

A relação de dispersão tem um conceito muito simples e esta abordagem é completamente geral para qualquer meio com um tensor com permissividade 3x3.

O vetor de índice de refração é basicamente apenas um vetor de onda normalizada. A sua direção é a direção de propagação e a sua magnitude é o índice de refração na direção. Em geral, existem quatro soluções para o índice de refração de uma dada direção, que correspondem a diferentes modos de propagação no plasma [16].

A propagação no meio é descrita pela relação de dispersão, que se refere ao vetor de onda k para a frequência ω da propagação de uma onda eletromagnética.

Para encontrar a relação de dispersão, as equações de Maxwell precisam ser escritas como:

$$k \times B = -\omega \varepsilon_0 \mu_0 \overline{\overline{\varepsilon_\tau}} E$$
$$k \times E = \omega B \quad (8)$$

Substituindo para eliminar B, tem-se:

$$K \times K \times E + \omega^2 \varepsilon_0 \mu_0 \overline{\overline{\varepsilon_\tau}} E = 0 \quad (9)$$

Reescrevendo em notação matricial e definindo o vetor de índice de refração n = (kc)/ω, temos:

$$\left(nn^T - n^T nI + \overline{\overline{\varepsilon_\tau}} \right) E = 0 \quad (10)$$

Uma solução não trivial (**E≠0**) para este sistema de equações requer o determinante:

$$\det \left(nn^T - n^T n^I + \overline{\overline{\varepsilon_\tau}} \right) = 0 \quad (11)$$

Esta relação de dispersão funciona para qualquer meio com permissividade de tensor, não apenas no plasma.

VII. CONCLUSÕES

Tendo em vista a complexidade das características da ionosfera, observando os inúmeros fenômenos que apoiam sua instabilidade como meio permissivo, é visto que o monitoramento e a criação ou descoberta de novos parâmetros é necessária, para um maior aproveitamento do meio fazendo as corretas previsões dos fatores que atenuam a região.

A variabilidade do meio ionosférico e a cintilação, tanto quanto a relação de dispersão ajudam nos cálculos corretos e mais precisos afim de, compreender melhor esta camada da atmosfera utilizando-a cada vez mais,, não só para pesquisas, mas para uso constante de uma região que se comporta como um guia de onda quase que perfeito.

VIII. REFERÊNCIAS

[1] K. Davies: “Ionospheric Radio”, Peter Peregrinus Ltd., London, 1990.

[2] W. J. H. Kirchhoff: “Introdução à Geofísica Espacial”. São Paulo: Nova Stella. 1991.

[3] K. Davies, E. K. Smith: “Ionospheric Effects on Satellite Land Mobile Systems”, IEEE Antenna’s and Propagation Magazine, Vol 44, Nr 6, 2002, pp 24-31.

[4] J.K. Hargreaves: “The solar-terrestrial environment”, Cambridge Atmospheric And Space Sciences series, Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, 1992.

[5] A. A. Leithold: “Reflexão Ionosférica: Como a Radiofrequência Reflete na Ionosfera, Lei de Snell.” Curitiba. 2010, pp 3.

[6] A. S. Jursa: “Handbook of Geophysics and the Space Environment”, Air Force Geophysics Lab, Hanscom AFB, MA, 1985.

[7] M. C. Kelley: “The Earth’s Ionosphere: "Plasma Physics and Electrodynamics”, Academic Press, 1989.

[8] A. Leick: GPS satellite surveying. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, 1995.560p.

[9] K.G. Budden, F.R.S.: "The propagation of radio waves: The Theory of Radio Waves OF Low Power in the Ionosphere and Magnetosphere", Cambridge University Press 1985. 685p.

[10] T. Chevalier: “Terminal impedance and antenna current distribution of a VLF electric dipole in the inner magnetosphere”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, accepted for publication. 2006

[11] N. Lehtinen: “Emission of ELF/VLF waves by harmonically varying currents in stratified ionosphere, with application to emission by a modulated electrojet”, Geophysical Research Letters. 2007.

[12] J. A., Ratcliffe: The Magneto-ionic Theory and its Applications to the Ionosphere - A monograph. Cambridge University Press. 1959.

[13] T., Nygren: “A simple method for obtaining reflection and transmission coefficients and fields for an electromagnetic wave in a horizontally stratified ionosphere” - Planet. Space Sci., Vol 29, No 5, pp. 521-528, 1981.

[14] J.A. Bittencourt: Fundamentals of Plasma Physics, Third Edition - Springer 2004.

[15] L. Kalluri: “Three-dimensional FDTD simulation of electromagnetic wave transformation in a dynamic inhomogeneous magnetized plasma” - IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol 47, No 7, July 1999.

[16] Nathan B., Eugeniu P."Ionosphere and Applied Aspects of Radio Communication and Radar". CRC Press, 2008. 600p.

Estimação de Parâmetros de Qualidade de Serviço em Redes Sem Fio Utilizando Cálculo de Rede

Klebber de A. Ottoboni
Escola de Engenharia Elétrica e de Computação – UFG
klebberottoboni@yahoo.com.br

Flávio Henrique Teles Vieira
Escola de Engenharia Elétrica e de Computação – UFG
flavio@eeec.ufg.br

Rosana de Paula Lucas
Escola de Engenharia Elétrica e de Computação – UFG
rosana.rpl@hotmail.com

Luiz Henrique Dias Maia
Escola de Engenharia Elétrica e de Computação – UFG
fidelislh@yahoo.com.br

***Resumo*—O padrão IEEE 802.16 define a tecnologia de acesso à rede banda larga sem fio WiMAX. Uma tecnologia que se mostra promissora por oferecer serviços de dados, voz e vídeo, a grandes distâncias para usuários móveis e fixos. Neste trabalho, busca-se obter estimações para parâmetros de qualidade de serviço, especificamente, o tamanho médio da fila (*backlog*) e retardo (*delay*) para diferentes séries de tráfego de redes sem fio. Objetiva-se comparar os valores de *backlog* e *delay* reais com os valores limitantes estimados utilizando os processos envelopes determinísticos monofractal e multifractal (obtidos, respectivamente, através da estimação do parâmetro de Hurst e do expoente de Hölder) e os envelopes efetivos para vários valores de probabilidade de violação.**

Palavras chave— Monofractal, Multifractal, Qualidade de Serviço, Retardo, Tamanho médio da fila.

***Abstract*—The IEEE 802.16 standard defines the access technology to the WiMAX broadband network. It is a promising technology for providing data, voice and video service to long distances, to mobile and fixed customers. In this work, it is aimed at obtaining estimations for quality of service parameters, especially the average backlog and delay for different wireless network traffic traces. The goal is to compare real backlog and delay rates to bounding values estimated by using the monofractal and multifractal deterministic envelopes process and also by the effective envelopes computed to various violation probability values.**

Keywords— Average backlog, Delay, Monofractal, Multifractal, Quality of Service.

Manuscrito recebido em 28 de fevereiro de 2013; revisado em 2 de abril de 2013.

K. de A. Ottoboni (klebberottoboni@yahoo.com.br), F. H. T. Vieira (flavio@eee.ufg.br), R. P. Lucas (rosana.rpl@hotmail.com) e L. H. D. Maia (fidelislh@yahoo.com.br) pertencem à Universidade Federal de Goiás – UFG, Campus Colemar Natal e Silva, Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação, Setor Leste Universitário - Goiânia – GO – Brasil - 74605-010

I. Introdução

A partir de amostras de tráfego de uma rede, pode-se estabelecer um parâmetro que represente o seu grau de autossimilaridade (a relevância do padrão existente nessa rede que independe da escala de análise). Esse é o parâmetro de Hurst *(H*), com o qual se define o processo envelope FBAP (Processo de Chegada com Limitante Fracionário) através da Equação 1 [7].

$$A^*(t) = \mu.t + k_\gamma.t^H \quad (1)$$

onde μ é o valor médio e $k\gamma$ é o valor máximo da série de tráfego.

Entretanto, alguns tipos de tráfego necessitam de uma análise mais sofisticada, pois possuem propriedades fractais mais complexas que impossibilitam estabelecer um padrão apenas pelo parâmetro de Hurst. Sendo, então, estabelecidos modelos baseados em processos denominados multifractais [7]. O processo envelope gerado por essa análise, MFBAP (Processo de Chegada com Limitante Multifractal) é obtido pela Equação 2 [7].

$$A^*(t) = \mu.t + k\gamma.t^{H(t)} \quad (2)$$

onde μ e $k\gamma$ continuam sendo, respectivamente, o valor médio e o valor máximo da série de tráfego e $H(t)$ é denominado expoente de Hölder.

Define-se envelope efetivo como um processo envelope no qual se leva em consideração uma probabilidade de violação (E_p), ou seja, uma probabilidade de desvio dos valores reais determinada especificadamente para a rede em análise e seus objetivos de projeto. Neste trabalho obtêm-se o envelope efetivo através do Teorema do Limite Central [6], do qual advém a aproximação para o envelope efetivo dada pela Equação 3 [6].

$$G(\tau, Ep) \approx N.\mu.\tau + z.\sqrt{N}.\mu.\tau.\sqrt{\frac{A^*(\tau)}{\mu.\tau} - 1} \quad (3)$$

onde $z \approx \sqrt{|\log(2\pi E_p)|}$, N é o número de fluxos, μ é o valor médio da série e o $A^*(\tau)$ utilizado, neste caso, o MFBAP (multifractal).

Para estimar os limitantes dos parâmetros de qualidade de serviço da rede (tamanho máximo da fila (b_{max}) e máximo retardo (d_{max})), através dos processos envelopes e envelopes efetivos, utiliza-se o Cálculo de Rede, do qual se define as Equações 4 e 5 [8].

$$b_{max} = A^*(t) \oslash S(U) \quad (4)$$

$$d_{max} = inf\{d \geq 0 | \forall t \geq 0, A^*(t-d) \leq S(t)\} \quad (5)$$

onde $S(t)$ é a curva de serviço e é definida como $S(t) = Ct$, sendo C a taxa de transmissão.

Estes limitantes calculados podem ser comparados com os valores reais de tamanho máximo da fila e máximo retardo para o tráfego, dados pelas Equações 6 e 7.

$$b = Q_{med} \quad (6)$$

$$d = \frac{Q_{med}}{C} \quad (7)$$

onde Q_{med} é o tamanho médio da fila no *buffer* e C a taxa de transferência.

II. Objetivos

Nesse trabalho objetiva-se:

- Obter curvas de envelopes de tráfego através da estimação do parâmetro de Hurst (monofractal) e do expoente de Hölder (multifractal) para as séries de tráfego analisadas;
- Obter os envelopes efetivos a partir do envelope MFBAP, para vários val[illegible] probabilidade de violação;
- Variar a escala de tempo da série de tráfego e verificar o comportamento destes envelopes;
- Analisar e comparar para todos os envelopes propostos os valores de *delay* e *backlog* calculados através do Cálculo de Rede;
- Comparar os valores estimados de *delay* e *backlog* com resultados reais.

III. Metodologia

A metodologia deste trabalho trata-se, basicamente, da implementação e simulação computacional no software Matlab dos conceitos apresentados. O parâmetro de Hurst foi calculado pelo software Selphis e os expoentes de Hölder através da *toolbox* do Matlab, Fraclab.

Foram utilizados, para análise, dois grupos de séries de tráfego. O primeiro grupo é formado pela série de tráfego Internet lbl5-pkt (que pode ser obtida no site http://ita.ee.lbl.gov/html/traces.html) nas escalas de tempo de: 1ms; 10 ms; 100 ms e 512 ms. Esse grupo possui quantidade fixa de dados (1000 dados por série), cada dado representa a quantidade de bytes transmitidos no respectivo intervalo de tempo. A denominação utilizada para cada série de acordo com a escala de tempo foi, respectivamente, lbl5_1ms, lbl5_10ms, lbl5_100ms e lbl5_512ms.

O segundo grupo é formado pela série de tráfego real Ethernet da Bellcore Bc-Aug (que podem ser obtidas no site http://ita.ee.lbl.gov/html/traces.html) em diferentes escalas de tempo. Esse grupo de séries possui quantidade de dados variável e as séries possuem intervalo de amostragem de: 10 ms; 50 ms; 100 ms; 200 ms; 400 ms; 800 ms e 1000 ms. Estas são denominadas, respectivamente, PAUG10, PAUG50, PAUG100, PAUG200, PAUG400, PAUG800 e PAUG1000.

Os valores utilizados para a probabilidade de violação E_p foram: 0.1 para uma primeira análise individual do envelope efetivo e [0.99, 0.95, 0.6, 0.4, 0.2, 0.1, 0.01, 0.001, 0.0001, 0.00001] para uma análise da influência da variação da probabilidade de violação nos resultados finais.

Os valores reais de *backlog* (tamanho máximo da fila no *buffer)* e *delay* (retardo) das séries de tráfego foram calculados a partir da implementação de um software em Matlab denominado *Buffer* Finito que gera como resultado Q_{med}.

IV. RESULTADOS

As figuras de 1 a 10 apresentam alguns resultados obtidos das simulações computacionais para obtenção dos processos envelopes determinísticos FBAP e MFBAP e dos envelopes efetivos EECLT. As figuras 1 e 2 representam os resultados obtidos para a série lbl5_1ms.

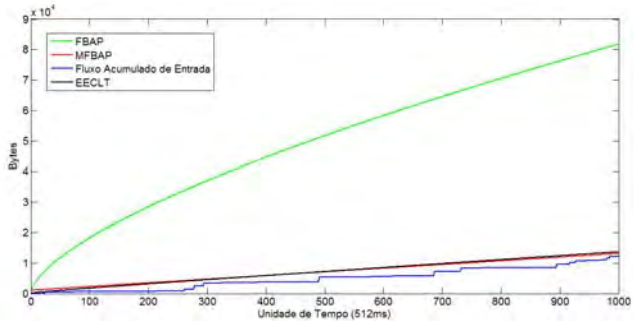


Fig. 1: Envelopes FBAP, MFBAP e EECLT para E_p = 0.1 – lbl5_1ms

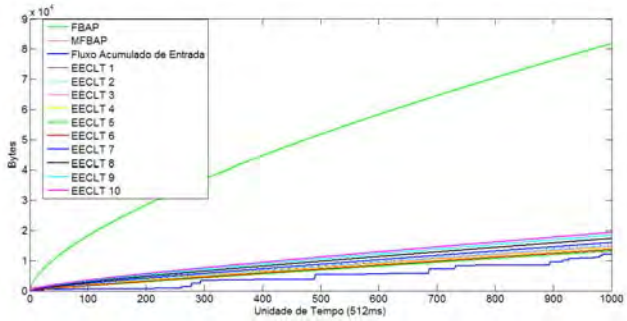


Fig. 2: Envelopes FBAP, MFBAP e EECLT para 10 valores respectivos do vetor E_p – lbl5_1ms

Na figura 1 observa-se que o envelope FBAP (monofractal) está a uma distância considerável da curva que representa o fluxo acumulado, enquanto o envelope MFBAP (multifractal) e o envelope efetivo com probabilidade de violação de 0.1 (EECLT), que estão praticamente sobrepostos, margeiam essa curva.

Na figura 2 nota-se que os envelopes efetivos seguem inicialmente um padrão de se aproximar do envelope MFBAP. Porém, depois de certo valor da probabilidade de violação, estes envelopes começam a seguir um padrão diferente, de afastamento do envelope MFBAP. As figuras 3 e 4 apresentam os resultados obtidos para a série de tráfego lbl5_512ms.

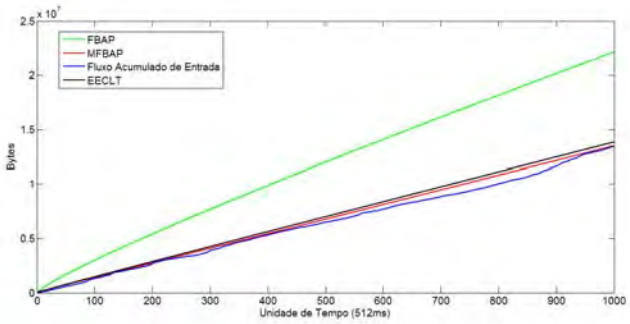


Fig. 3: Envelopes FBAP, MFBAP e EECLT para E_p = 0.1 – lbl5_512ms

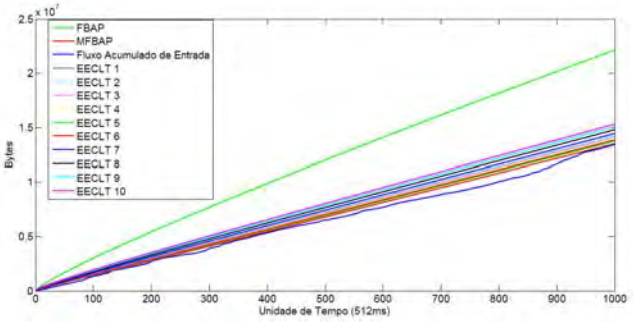


Fig. 4: Envelopes FBAP, MFBAP e EECLT para 10 valores respectivos do vetor E_p – lbl5_512ms

As mesmas características observadas nas figuras 1 e 2 são observadas nas figuras 3 e 4. Verifica-se, então, que a mudança da escala de tempo da série analisada, de 1ms para 512ms, não altera de maneira significativa os resultados. A alteração mais relevante está na diminuição da distância do envelope FBAP à curva de tráfego real acumulado.

As figuras 5 a 10 referem-se ao segundo grupo de séries de tráfego (PAUG). A análise deste segundo grupo objetiva a verificação da correspondência existente entre os resultados obtidos com essas séries de tráfego de uma rede Ethernet e os resultados obtidos anteriormente. As figuras 5 e 6 apresentam os envelopes obtidos para a série PAUG10.

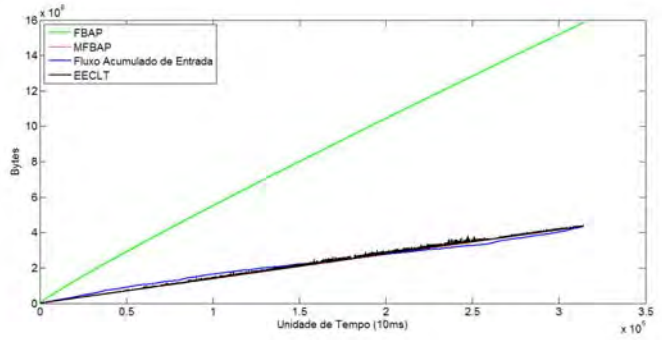


Fig.5: Envelopes FBAP, MFBAP e EECLT para E_p = 0.1 – PAUG10

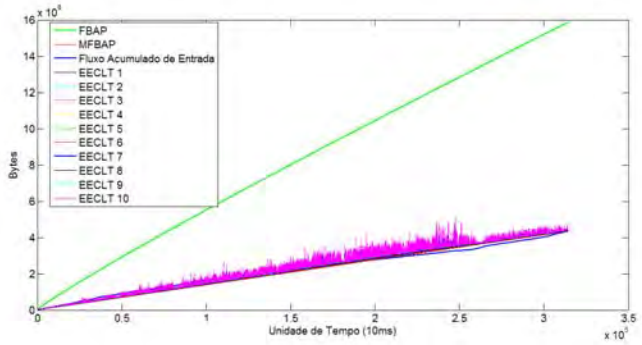


Fig. 6: Envelopes FBAP, MFBAP e EECLT para 10 valores de E_p – PAUG10

A figura 5 sugere que os envelopes para a série PAUG10 comportam-se de maneira substancialmente semelhante aos envelopes para a série lbl5_1ms. Os envelopes MFBAP e EECLT (para probabilidade de violação igual a 0.1) também estão praticamente sobrepostos e margeando a curva de fluxo de tráfego acumulado. Há também uma grande distância entre

o envelope FBAP e essa curva. As figuras 7 e 8 representam os envelopes para a série PAUG100 e as figuras 9 e 10 representam os envelopes para a série PAUG1000.

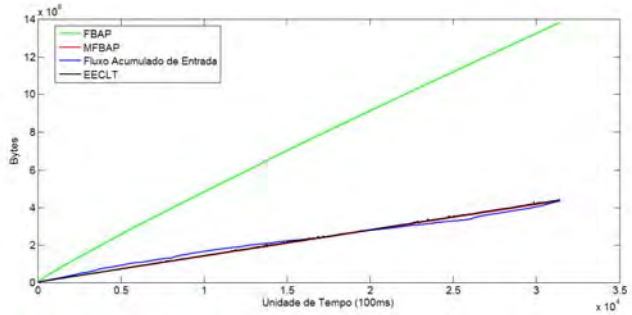


Fig.7: Envelopes FBAP, MFBAP e EECLT para E_p = 0.1 – PAUG100

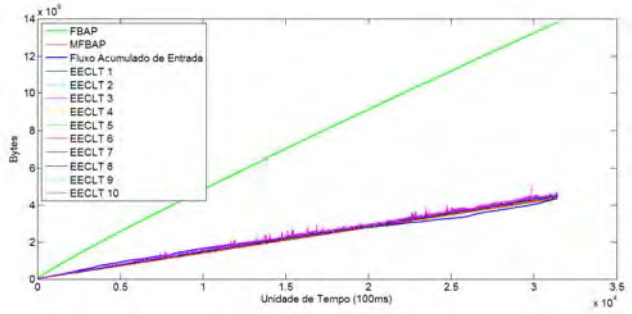


Fig. 8: Envelopes FBAP, MFBAP e EECLT para 10 valores respectivos do vetor E_p – PAUG100

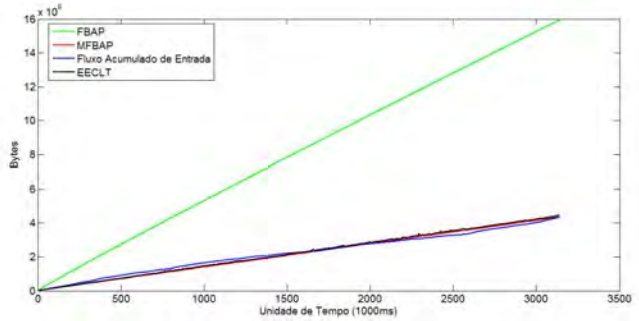


Fig. 9: Envelopes FBAP, MFBAP e EECLT para E_p = 0.1 – PAUG1000

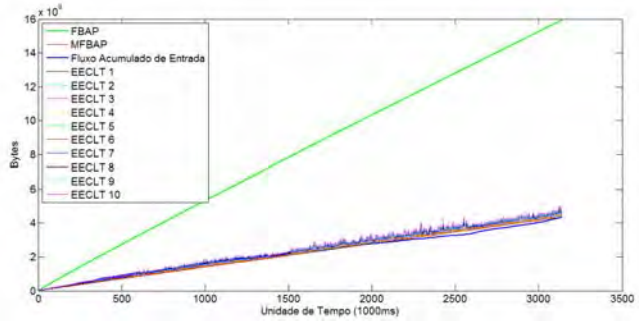


Fig. 10: Envelopes FBAP, MFBAP e EECLT para 10 valores respectivos do vetor E_p – PAUG1000

Nota-se que para as séries de tráfego do segundo grupo também não houve mudança significativa nos resultado com o aumento da escala de tempo. Porém, percebe-se que entre os dois grupos de séries há uma diferença notável entre os envelopes efetivos e o MFBAP. Para as séries de tráfego Ethernet houve a presença de uma oscilação muito mais evidente nesses envelopes. A figura 11 representa uma ampliação da figura 10.

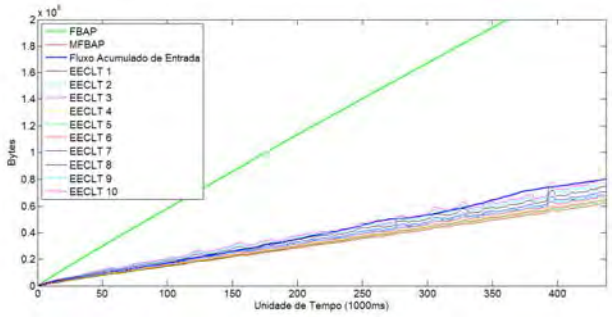
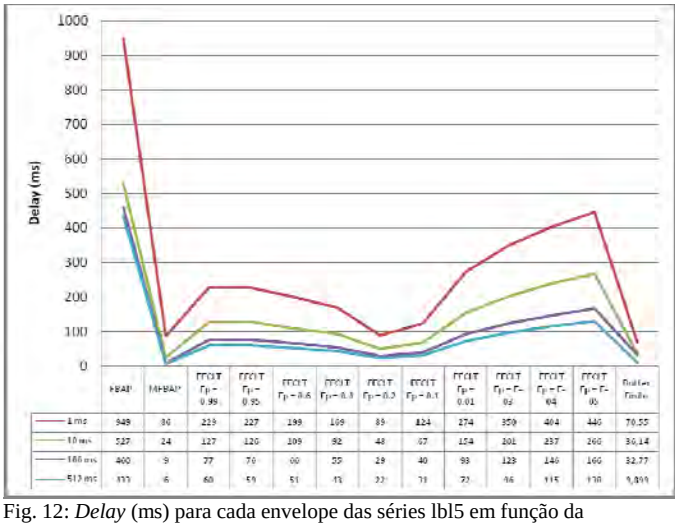


Fig. 11: Envelopes FBAP, MFBAP e EECLT para 10 valores respectivos do vetor E_p – PAUG1000 (zoom)

A partir da figura 11 percebe-se que há uma relação entre a diminuição da probabilidade de violação e o aumento das oscilações.

Depois de obtidos os processos envelopes e envelopes efetivos, foram calculados através das equações 4 e 5, os valores respectivos de *delay* e *backlog* para cada um.

As figuras de 12 a 17 representam os resultados obtidos para o cálculo de *delay* e *backlog*. O *delay* é dado em milissegundos e o *backlog* em bytes. Os gráficos acompanhados de tabelas nessas figuras são ferramentas para comparação, pois, representam a variação do *delay* e do *backlog* em função do envelope e em função da escala de tempo de cada série de tráfego. Para as figuras 12, 13, 15 e 16 estão representados horizontalmente os processos envelopes FBAP, MFBAP, os envelopes efetivos com a probabilidade de violação decrescente e o campo para o valor obtido pelo programa *Buffer* Finito. E para as figuras 14 e 17, horizontalmente, estão representadas as escalas de tempo para cada série.



	FBAP	MFBAP	EECLT Ep = 0.99	EECLT Ep = 0.95	EECLT Ep = 0.6	EECLT Ep = 0.3	EECLT Ep = 0.2	EECLT Ep = 0.1	EECLT Ep = 0.01	EECLT Ep = E-03	EECLT Ep = E-04	EECLT Ep = E-05	Buffer Finito
1 ms	949	86	229	227	199	169	89	124	274	350	404	446	70,55
10 ms	527	24	127	126	109	92	48	67	154	201	237	266	36,14
100 ms	400	9	77	76	60	55	29	40	93	123	146	166	32,77
512 ms	[illegible]	6	60	59	51	43	22	31	72	96	115	130	[illegible]

Fig. 12: *Delay* (ms) para cada envelope das séries lbl5 em função da probabilidade de violação* para várias escalas de tempo (1ms, 10ms, 100ms e 512ms)

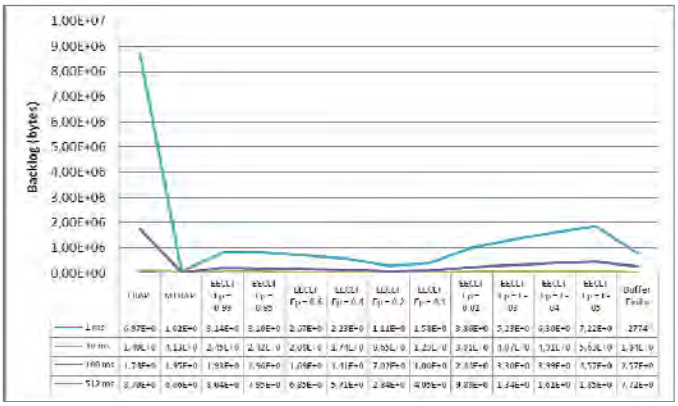
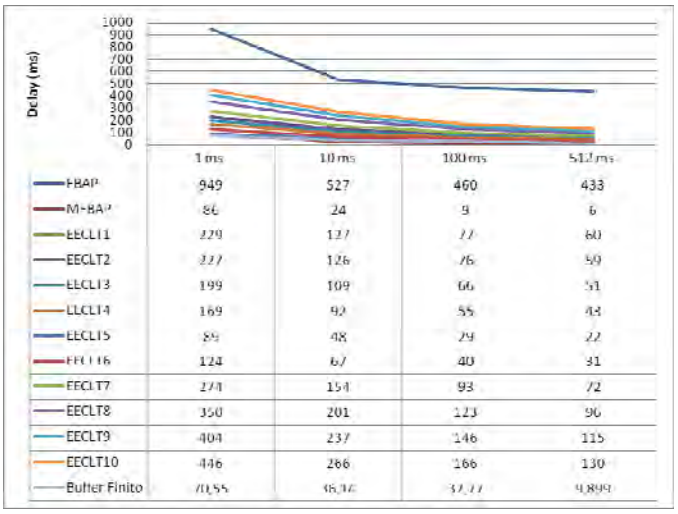


Fig. 13: *Backlog* (bytes) para cada envelope das séries lbl5 em função da probabilidade de violação* para várias escalas de tempo (1ms, 10ms, 100ms e 512ms)



	1 ms	10 ms	100 ms	512 ms
FBAP	949	527	460	433
M-BAP	86	24	9	6
EECLT1	229	127	77	60
EECLT2	227	126	76	59
EECLT3	199	109	66	51
EECLT4	169	92	55	43
EECLT5	89	48	29	22
EECLT6	124	67	40	31
EECLT7	274	154	93	72
EECLT8	350	201	123	96
EECLT9	404	237	146	115
EECLT10	446	266	166	130
Buffer Finito	70,55	46,16	37,77	9,899

Fig. 14: *Delay* (ms) para séries lbl5 em diferentes escalas de tempo (1ms, 10ms, 100ms e 512ms)

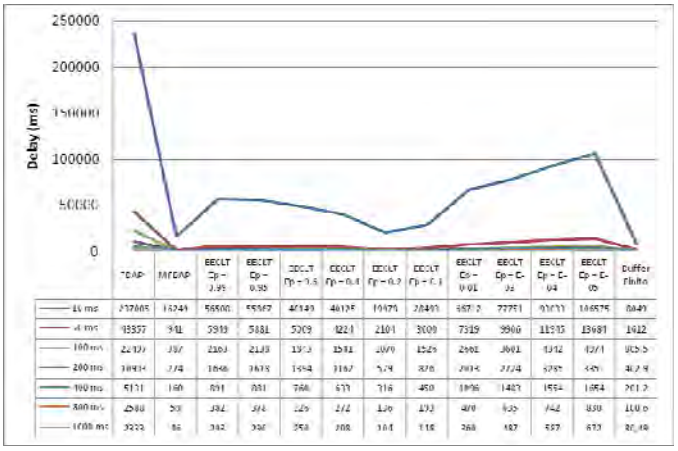


Fig. 15: *Delay* (ms) para cada envelope das séries PAUG em função da probabilidade de violação* para várias escalas de tempo (10ms, 50ms, 100ms, 200ms, 400ms, 800ms e 1000ms)

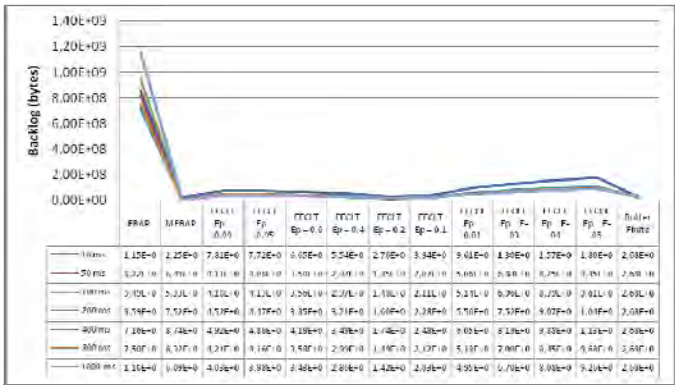
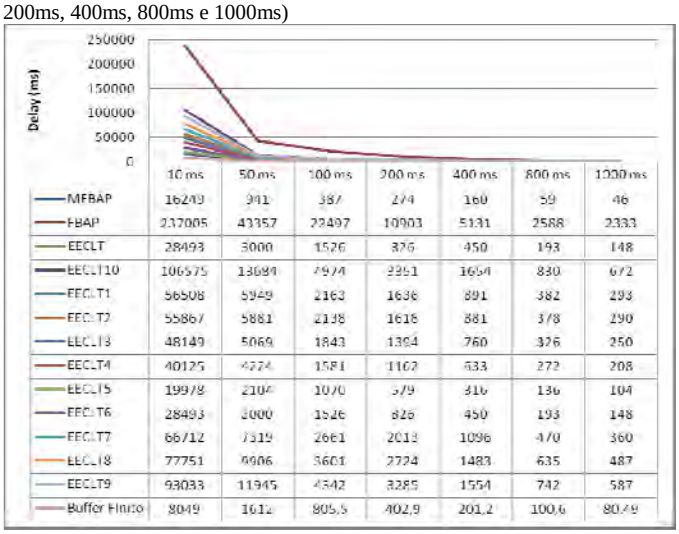


Fig. 16: *Backlog* (bytes) para cada envelope das séries PAUG em função da probabilidade de violação* para várias escalas de tempo (10ms, 50ms, 100ms, 200ms, 400ms, 800ms e 1000ms)



	10 ms	50 ms	100 ms	200 ms	400 ms	800 ms	1000 ms
MFBAP	16249	941	387	274	160	59	46
FBAP	217005	43357	29497	10903	5131	2588	2333
EECLT	28493	3000	1526	826	450	193	148
EECLT10	106575	13688	7974	3351	1654	830	672
EECLT1	56508	5949	2162	1636	891	382	293
EECLT2	55867	5881	2138	1618	881	378	290
EECLT3	48149	5069	1843	1394	760	326	250
EECLT4	40125	4224	1581	1162	633	272	208
EECLT5	19978	2104	1070	579	316	136	104
EECLT6	28493	3000	1526	826	450	193	148
EECLT7	66712	7319	2661	2013	1096	470	360
EECLT8	77751	9906	3601	2724	1483	635	487
EECLT9	93033	11945	4342	3285	1554	742	587
Buffer Finito	8049	1612	805,5	402,9	201,2	100,6	80,49

Fig. 17: *Delay* (ms) para séries PAUG em diferentes escalas de tempo (10ms, 50ms, 100ms, 200ms, 400ms, 800ms e 1000ms)

Percebe-se que para os dois grupos de séries de tráfego as curvas de *delay* e *backlog* em função da probabilidade de violação e em função da escala de tempo possuem formas semelhantes. Observa-se que com a diminuição de E_p até um limite, os valores de *delay* e *backlog* diminuem, porém a partir desse limite começam a aumentar. Nota-se, principalmente através das figuras 12 e 15, que além das curvas de variação do *delay* e do *backlog* pertencentes ao mesmo grupo variarem de maneira semelhante, essa semelhança persiste quando comparadas séries de tráfego de diferentes redes.

V. Discussão

O FBAP proporcionou altos valores de *delay* e *backlog*, por esse motivo, pode ser ineficiente para modelar o processo envelope de séries de tráfego reais. Percebe-se que em todos os casos analisados, o envelope multifractal MFBAP foi o que mais se aproximou dos valores reais de *delay* e *backlog*, visto que nas figuras 14 e 17, para todas as amostras, a curva que corresponde aos valores de *delay* para esse envelope está praticamente sobreposta à curva definida pelo programa *Buffer* Finito. Os envelopes efetivos que mais se aproximam dos valores obtidos com o programa *Buffer* Finito são para as probabilidades 0.2 e 0.1 (EECLT5 e EECLT6) para os dois grupos de amostras.

Nas simulações onde foram estabelecidos 10 valores distintos para a probabilidade de violação, percebe-se que com a diminuição do valor da probabilidade (até um valor limite) o envelope EECLT sofre um deslocamento vertical para baixo se aproximando da curva de tráfego acumulado. E no caso do segundo grupo de amostras (PAUG), no qual há maiores oscilações no envelope MFBAP, torna-se fácil verificar que essas oscilações aumentam com a diminuição da probabilidade de violação.

As curvas traçadas para o *delay* e *backlog* nos permitem observar que um valor ótimo para a probabilidade de violação, para ambas as redes, situa-se no intervalo entre 0.2 e 0.1. As curvas de todas as séries possuem um ponto de mínimo nessa região. A única diferença notável entre cada grupo de amostras, é que no segundo grupo esse valor mínimo encontra-se um pouco mais deslocado para o extremo do intervalo, para 0.2.

VI. CONCLUSÕES

Foi observado que uma análise monofractal das séries de tráfego de redes representadas pelas séries lbl5 e PAUG não é capaz de fornecer um bom modelo para o seu processo envelope, enquanto que o envelope baseado em processos multifractais apresenta uma melhor aproximação dos valores reais. Para uma utilização mais eficiente de recursos, podendo-se tolerar uma perda relacionada à probabilidade de violação (E_p), foi proposto um processo envelope efetivo dado pela equação 3. O envelope efetivo proposto se aproxima da curva de tráfego acumulado para valores de E_p ligeiramente maiores que 0.1. Para valores menores que 0.1 o processo envelope efetivo proposto apresenta maiores oscilações e maiores valores de *delay* e *backlog*.

Para diferentes séries de tráfego, mesmo com resultados bem diferentes para *delay* e *backlog*, verificou-se que estes variam de maneira semelhante em função da probabilidade de violação e da escala de tempo da série. Além disso, para os dois grupos de séries analisados, quanto maior a escala de tempo de amostragem da série, conseqüentemente, quanto maior o valor em bytes de cada dado, menor o valor do *delay* calculado.

REFERÊNCIAS

[1] Ahson, S.; Ilyas, M. “WiMAX: Technologies, Performance Analysis, and QoS”, CRC Press, 2008.

[2] Koffman, I.; Roman, V.,”Broadband wireless access solutions based on OFDM access in IEEE 802.16” Communications Magazine, IEEE, Vol.40,No.4, pp. 96-103, Abril, 2002.

[3] C. Eklund, “IEEE Standard 802.16: A Technical Overview of the WirelessMAN™ Air Interface for Broadband Wireless Access,” IEEECommun. Mag., pp. 98-107, Junho 2002.

[4] Niyato, D.; Hossain, E. “Queueing analysis of OFDM/TDMA systems” IEEE Global Telecommunications Conference, Vo. 6, No. 2, pp- 16-37, Dez.2005.

[5] Almut Burchard, Jörg Liebeherr, Stephen Patek. A Network Calculus With Effective Bandwidth. Chengzhi Li, Almut Buchard,Jörg Liebeherr; IEEE Transactions on Information Theory 52:4105-4114 (2006).

[6] Robert R. Boorstyn, Almut Burchard, Jörg Liebeherr, Chaiwat Oottamakorn. Statistical Service Assurances for Traffic Scheduling Algorithms, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 18, No 12, December 2000.

[7] Modelagem, Policiamento e Escalonamento de redes Ethernet PON. Flávio de Melo Pereira, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

[8] Almut Burchard, Jörg Liebeherr, Stephen Patek. A calculus for end-to-end Statistical Service Guarantees, Technical Report: University of Virgínia, CS-2001-19(2nd – revised version). “revisado pelo orientador”.

Alocação de Banda em Redes Sem Fio Baseada em Estimação Adaptativa do Parâmetro de Escala Global

Bruno Lopes de Abreu

Escola de Engenharia Elétrica e de Computação – UFG
Bruno.LdeA@hotmal.com

Flávio Henrique Teles Vieira

Escola de Engenharia Elétrica e de Computação – UFG
flavio@eeec.ufg.br

Rosana de Paula Lucas

Escola de Engenharia Elétrica e de Computação – UFG
rosana.rpl@hotmail.com

Diógenes Mesquita Coelho

Escola de Engenharia Elétrica e de Computação – UFG
diogenesmesquita@hotmail.com

***Resumo*— Neste artigo, apresentamos inicialmente um algoritmo para estimação adaptativa do parâmetro que mede o grau de autossimilaridade do processo de tráfego. Utilizando esse parâmetro, denominado de parâmetro de escala global, apresentamos um esquema de alocação adaptativo de banda. Avaliamos o desempenho deste esquema de alocação de banda com parâmetro de escala global adaptativo comparado a outro algoritmo que utiliza apenas um valor para o parâmetro de Hurst.**

***Palavras chave*— Banda, Escala, Estimação, Global, Hurst, Parâmetro.**

***Abstract*— In this paper we, firstly, introduce an algorithm for adaptive estimation of a parameter that measures the level of selfsimilarity of the traffic process. By using this parameter, called global scale parameter, we present an adaptive allocation bandwidth scheme. We evaluated the performance of this scheme with adaptive global scale parameter compared to another which uses only one value for the Hurst parameter.**

Keywords— Rate allocation, Estimation, Global, Hurst, Parameter, Scale.

Manuscrito recebido em 28 de fevereiro de 2013

B. L. de Abreu (Bruno.LdeA@hotmal.com), F. H. T. Vieira (flavio@eee.ufg.br), R. P. Lucas (rosana.rpl@hotmail.com) e D. M. Coelho (diogenesmesquita@hotmail.com) pertencem à Universidade Federal de Goiás – UFG, Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação, Setor Leste Universitário - Goiânia – GO – Brasil - 74605-010

I. Introdução

Uma das necessidades evidentes nas comunicações sem fio é o controle de alocação de banda. Este controle visa delimitar e direcionar o uso dos recursos disponíveis na rede, visando a melhoria do desempenho e uma melhor utilização dos recursos disponíveis se comparado ao serviço que fornece uma taxa fixa de banda. Por outro lado, a alocação de banda pode ser feita de acordo com a demanda. Neste trabalho, é proposto um esquema de alocação de recursos para tráfego autossimilar, no qual uma quantidade de banda é alocada adaptativamente de acordo com os padrões de exigência adotados e levando em consideração uma estimação adaptativa para o parâmetro de escala global do tráfego. O algoritmo proposto de controle de banda pode ser utilizado não só para alocação de taxa, mas também para controle de admissão, no qual uma nova chamada poderá ser aceita em um sistema desde que os comportamentos das filas e dos enlaces para todos os usuários puderem ser mantidos no nível desejado.

II. Estimação do Parâmetro de Hurst (Parâmetro de Escala Global).

O parâmetro de Hurst H_g define o grau de autossimilaridade do processo, quanto mais próximo de 1 (um), mais autossimilar é o processo. A autossimilaridade refere-se à propriedade de um determinado fenômeno manter certas características quando observado em diferentes escalas

(tempo, espaço, etc.). Visualmente, a autossimilaridade do tráfego manifesta-se como uma invariância em relação à escala de tempo. Por exemplo: se forem construídos gráficos "Pacotes/Unidade de Tempo" vs. "Unidade de Tempo" para diversas escalas de tempo, pode-se verificar que o tráfego parece o mesmo [1].

Neste estudo, analisaram-se diferentes séries de tráfego utilizando dois métodos em termos do Parâmetro de Hurst, que chamamos também de Parâmetro de Escala Global. O primeiro método é baseado na utilização do programa SELFIS, que pode ser encontrado em [3], o qual calcula um único valor de H_g para a série de tráfego. Foram analisadas 3 (três) séries de tráfego TCP-IP [4]. O TCP-IP é um conjunto de protocolos de comunicação entre computadores em rede (também chamado de pilha de protocolos TCP/IP). Seu nome vem de dois protocolos: o TCP (*Transmission Control Protocol* - Protocolo de Controle de Transmissão) e o IP (*Internet Protocol* - Protocolo de Interconexão). O conjunto de protocolos pode ser visto como um modelo de camadas, onde cada camada é responsável por um grupo de tarefas, fornecendo um conjunto de serviços bem definidos para o protocolo da camada superior. As camadas mais altas estão logicamente mais perto do usuário (chamada camada de aplicação) e lidam com dados mais abstratos, confiando em protocolos de camadas mais baixas para tarefas de menor nível de abstração [4].

As séries de tráfego consideradas nesta pesquisa estão disponíveis para download em [5]. Na tabela abaixo estão listados os resultados obtidos dos seus respectivos valores para o parâmetro de escala global utilizando o programa SELFIS [5]:

TABELA I
PARÂMETRO DE HURST PARA DIFERENTES SÉRIES DE TRÁFEGO.

SÉRIES DE TRÁFEGO	PARÂMETRO DE HURST
ec-pkt-2-100	0.774
Wireless 1	0.565
Wireless 5	0.566

O segundo método é baseado na implementação de um algoritmo que faz um cálculo adaptativo de H_g em vários instantes do processo. A seguir está descrito o algoritmo proposto para tal cálculo. Este algoritmo foi proposto em [6].

Primeiro passo) Seja $p_{1.0} = 1$, $\hat{a}_0^q = [0\ 0]$, $k=0,...,K$ e $q = 1,...,q_2$;

Segundo passo) Calcule $\hat{\underline{a}}_k^q = [\hat{\tau}_0(q) \quad log\hat{c}(q)]$ para todo valor de "q" utilizando as seguintes equações recursivas:

$$p_{q,k} = p_{q,k-1} - p_{q,k-1}\underline{x}_k[1+\underline{x}_k^T p_{k-1}\underline{x}_k] - \underline{x}_k^T p_{q,k-1} \quad (1)$$

$$\hat{\underline{a}}_k^q = \hat{\underline{a}}_{k-1}^q - p_{q,k}[x_k x_k^T \hat{\underline{a}}_{k-1}^q - \underline{x}_k y_k^q] \quad (2)$$

onde:

$$y_k^q = log(|X^{(k)}|)^q e \quad {}_k^T = [1log2...logk] \quad (3)$$

Sendo $\hat{\tau}_0(q)$ a função de escala, e $c(q)$ é o fator de momento de um processo multifractal. Caso $\tau(q)$ seja linear em q o processo é dito ser monofractal, caso contrário, é multifractal [6].

A relação entre $\hat{\tau}_0(q)$ e α é dada por:

$$f(\alpha) = min_q\{q\alpha - \tau(q)\} \quad (4)$$

onde $f(\alpha)$ é o espectro multifractal de um processo $X(t)$ e pode ser visto como a transformada de Legendre de $\tau(q)$.

Terceiro passo) Estime o valor do parâmetro α de τ_0 usando o algoritmo de Levenberg-Marquardt de acordo com a seguinte equação de atualização:

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i - (H_{es} - \eta diag(H))^{-1} \blacktriangledown \Phi(\alpha_i) \quad (5)$$

Quarto passo) Aplique novamente o algoritmo de Levenberg-Marquardt para estimar os valores dos parâmetros ρ e γ da função $c(q)$.

A equação final para o cálculo de H_g é [6]:

$$H_g = 1 - \frac{log_2(\frac{\alpha+1}{\alpha+0.5})}{2} \quad (6)$$

Quarto passo) Aplique novamente o algoritmo de Levenberg-Marquardt para estimar os valores dos parâmetros ρ e γ da função $c(q)$.

O software utilizado para implementação do algoritmo foi o MATLAB. Neste caso, o parâmetro de escala global foi estimado em intervalos de 1 ms. A seguir, mostramos os gráficos obtidos diretamente do algoritmo para as mesmas séries de tráfego anteriormente analisadas:

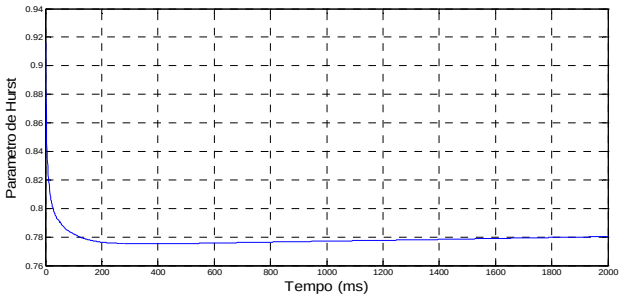


Fig. 1. Comportamento de H_g ao longo do tempo para série dec-pkt-2-100.

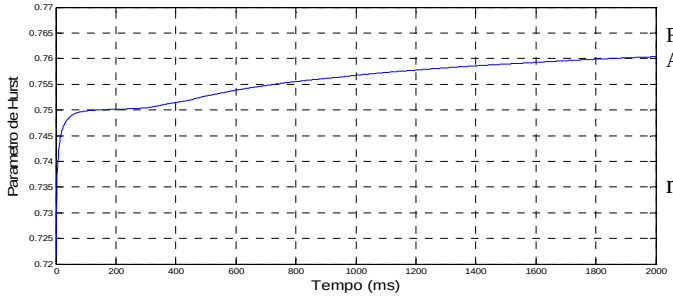


Fig.2. Comportamento de H_g ao longo do tempo para série wireless1.

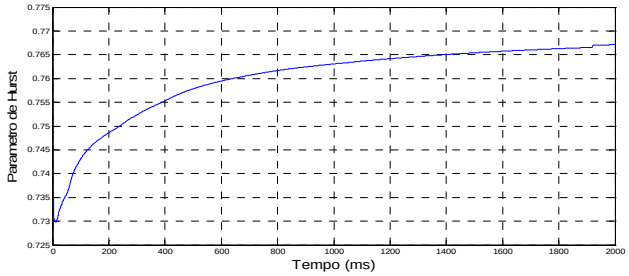


Fig.3. Comportamento de H_g ao longo do tempo para série wireless5.

O algoritmo de estimação adaptativa fornece valores para o parâmetro de escala global que tendem aos valores estimados de forma estática utilizando o programa Selfis. Pode-se perceber que H_g tende a manter variações menores à medida com o tempo, mas não se pode dizer que isso seja uma regra geral.

A. Análise da Estimativa de Banda Alocada Para Diferentes Séries de Tráfego

Com os valores de H_g calculados adaptativamente, é possível estimar os outros parâmetros que definem o processo de alocação dinâmica de banda e assim obter estimativas para a largura de banda "C_n" que deve ser alocada num intervalo de tempo "*n*" do processo. Assim, com o propósito de comparação, implementamos o esquema de alocação dinâmica de recursos (*Dynamic Resourse Allocation* - DRA) proposto em [2]. O algoritmo DRA é aplicável ao tráfego de redes com características monofractais e baseia-se na predição do tráfego de entrada e na estimação de parâmetros como o H_g (parâmetro de Hurst) e μ (a média da taxa de tráfego de entrada). O algoritmo DRA é aplicado a um sistema de fila a fim de controlar os valores de taxas de transmissão do enlace adaptativamente a medida que um preditor de tráfego e um estimador de parâmetros fornece informações ao controlador de taxa, conforme representado pela Figura 4[6]:

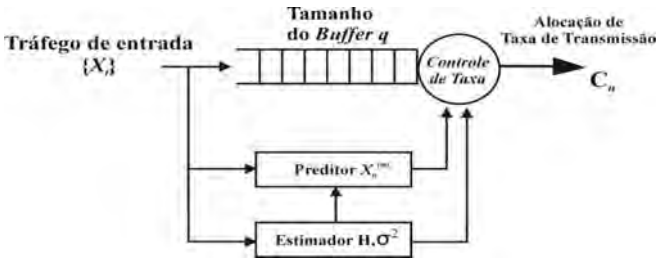


Fig.4. Esquema de alocação dinâmica de recursos (DRA – Dynamic Resource Alocation).[6]

No algoritmo DRA, define-se uma variável chamada de média do processo de tráfego dado em blocos como:

$$X_n^m = \frac{1}{m}(X_{nm-m+1} + \cdots + X_{nm}) \quad (7)$$

onde $m, n = \{1, 2, ...\}$, m é o tamanho do bloco e n o número do bloco. Dessa forma, um preditor para $X_n^{(m)}$ pode ser dado por:

$$X_n^m = aX_{n-1}^m + (1-a)\mu \quad (8)$$

onde $a = (2^{2H} - 2)/2$ e a está contido no intervalo aberto (0,1), ou seja, $a \in (0,1)$. H é o parâmetro de Hurst.

A taxa alocada *C* para o bloco n é dada por:

$$C_n = X_n^m + \Delta C \quad (9)$$

Segundo os autores em [2] a seguinte aproximação é válida para se estimar ΔC:

$$\Delta C \approx \left(\frac{(-2\ln\varepsilon + 2\ln\frac{1}{\sqrt{2\pi}}y^{-1})^{\frac{1}{2}}\sigma(1-a)H^H(1-H)^{1-H}}{q^{1-H}}\right)^{1/H} \quad (10)$$

Onde ε é a probabilidade de violação do tamanho do *buffer*, σ o desvio padrão do tráfego considerado e q o tamanho do buffer. A variável y está relacionada com a aproximação:

$$\varepsilon \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}}y^{-1}\exp\left(-\frac{1}{2}y^2\right) \quad (11)$$

Em [2] os autores consideram o DRA como um método eficiente para alocação dinâmica de taxa, quando comparado ao serviço de taxa fixa, já que este esquema apresenta melhor utilização dos recursos enquanto provê as mesmas garantias

de qualidade de serviço (QoS – *Quality of Service*). No entanto, o DRA pode não conseguir capturar eficientemente características do tráfego de redes, tais como rajadas de tráfego persistentes em diversas escalas de tempo. Isso porque ao aplicar o esquema adaptativo de alocação de taxa de transmissão ao tráfego de entrada, o algoritmo DRA considera a média como única estatística pertinente para cada bloco de tráfego. Os demais parâmetros utilizados no método, como σ e *H* são obtidos para toda série de tráfego, e por esse motivo não traduzem fielmente as características de cada bloco de tráfego [6].

Assim, propomos aplicar o algoritmo de estimação adaptativa do Parâmetro de Escala Global no algoritmo de alocação dinâmica de banda e também consideramos para tanto o cálculo adaptativo da média de tráfego à medida que o mesmo é recebido, de acordo com a seguinte relação:

$$\bar{h}(k) = \frac{k-1}{k}\bar{h}(k-1) + \frac{1}{k}h(k) \qquad (12)$$

Ou seja, à medida que chega um valor de volume (bytes) de tráfego h(k), a média $\bar{h}(k)$ da série de tráfego é atualizada baseada no valor de média anterior $\bar{h}(k-1)$ do tráfego. Além disso, comparamos a taxa de alocação com o valor real de tráfego conforme é mostrado nas figuras 5 e 6. Nestas figuras, o tamanho do buffer foi considerado como sendo de 2000 bits. O tráfego real nas figuras representa o cálculo de banda feito em intervalos de 20ms considerando para a banda alocada, a média das intensidades de tráfego real no intervalo de tempo considerado. A banda alocada nos gráficos é dada em bytes/s.

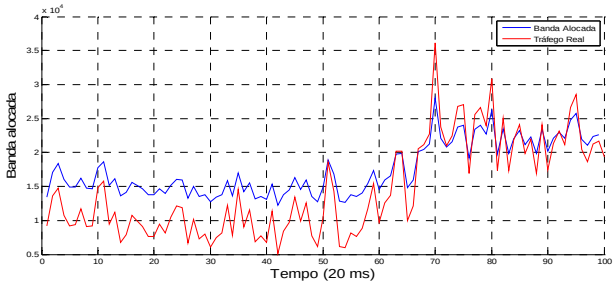


Fig. 5: Estimativa de Banda Alocada para Série dec-pkt-2-100 utilizando H_g adaptativo.

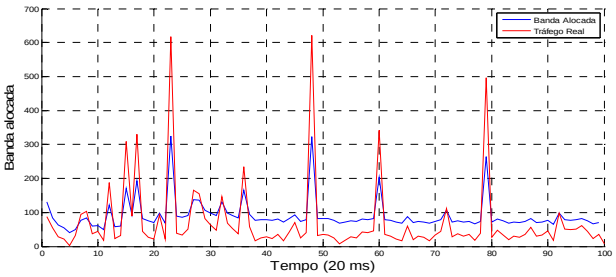


Fig. 6: Estimativa de Banda Alocada para Série wireless1 utilizando H_g adaptativo

A análise gráfica sugere que na maioria dos casos para cada instante de tempo a banda alocada foi superior ao tráfego real. Mais adiante neste trabalho será feita uma análise mais minuciosa dos parâmetros que permitem estimar parâmetros de QoS (Quality of Service – Qualidade de Serviço) do sistema em análise.

Agora, em vez de considerar um H_g adaptativo, fizemos a análise de alocação de banda utilizando um H_g fixo, determinado pelo programa SELFIS, como mostra as figuras a seguir, e utilizando as equações de previsão de tráfego de acordo com [2].

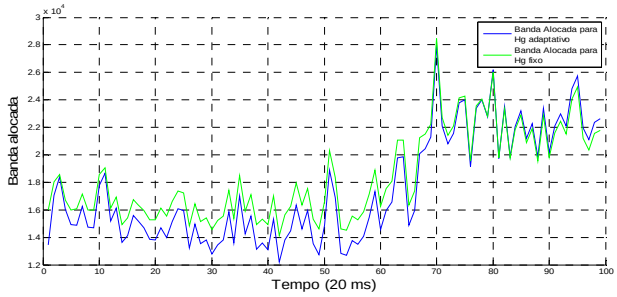


Fig.7: Estimativa de Banda Alocada para Série dec-pkt-2-100 utilizando H_g fixo.

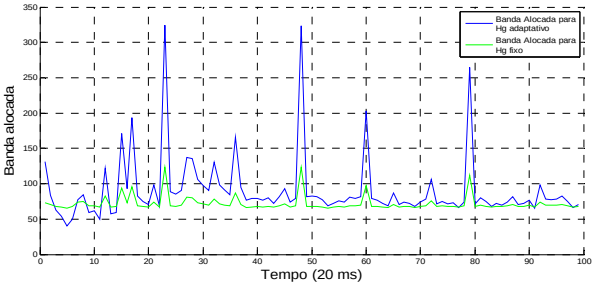


Fig.8: Estimativa de Banda Alocada para Série wireless1 utilizando H_g fixo.

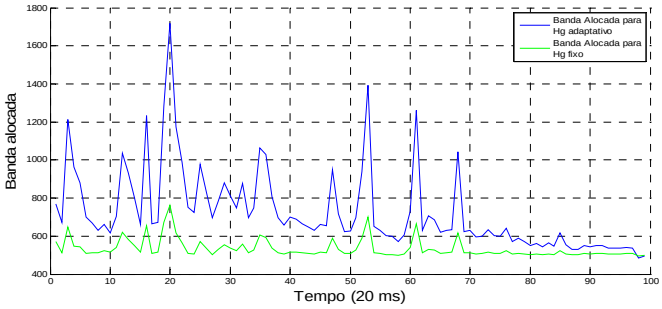


Fig. 9: Estimativa de Banda Alocada para Série wireless5 utilizando H_g fixo.

Percebe-se que para a série dec-pkt-2-100 o comportamento da alocação tanto para H_g fixo quanto para H_g adaptativo foram bastante parecidos, sendo difícil de perceber visualmente qual se comportou melhor de forma a garantir a melhor utilização dos recursos disponíveis. Já no caso das séries wireless a análise gráfica sugere que o mecanismo de alocação dinâmica conseguiu obter uma quantidade de banda alocada superior se comparado ao cálculo com H_g fixo, isso ocorre porque este último método (de H_g fixo), pode não conseguir acompanhar de forma eficaz as características do tráfego de rede, pois como já foi mencionado anteriormente,

ele considera como único parâmetro de estimativa apenas a média do tráfego para cada bloco, tendo, por exemplo, o desvio padrão e H_g calculados para toda a série de tráfego.

	Q_{max}	Q_{min}	Q_{med}	*ro*	*p*	*Pp*
Método proposto	2000	0	213,21	71,21	925,86	1,77
Média	2.000	0	367,71	68,26	3057,80	4,23
H_g fixo	2.000	0	890.70	86,79	6.497,00	12,40

B. Análise de Desempenho do Algoritmo de Alocação de Banda Proposto

Nesta parte do trabalho foi avaliado o comportamento de fila para as séries de tráfego utilizando 3 (três) técnicas. A primeira consiste em utilizar a nossa proposta de alocação adaptativa de banda (ou seja, com estimação adaptativa de H_g), a segunda, sugere um H_g fixo (calculado pelo programa SELFIS) e a terceira, utiliza-se como taxa do enlace, o valor médio dos valores alocados da primeira proposta. Na primeira parte, avaliamos os seguintes parâmetros: valor máximo e mínimo de *buffer* utilizado (Q_{max} e Q_{min}), média de utilização do buffer (Q_{med}), porcentagem de utilização do *buffer* (*ro*), perdas (*p* , em bits) e porcentagem de perdas (*pp* , em %). Ao final dessa análise são apresentados os gráficos referentes ao tamanho da fila no buffer para as séries de tráfego analisadas considerando a alocação adaptativa de banda (método proposto), onde o tamanho do *buffer* é *q*=2000 (bytes).

	Q_{max}	Q_{min}	Q_{med}	*ro*	*p*	*Pp*
Método proposto	2000	0	213,21	71,21	925,86	1,77
Média	2.000	0	367,71	68,26	3057,80	4,23
H_g fixo	2.000	0	890.70	86,79	6.497,00	12,40

TABELA II

	Q_{max}	Q_{min}	Q_{med}	*ro*	*p*	*Pp*
Método proposto	651,61	0	93,77	79,38	0	0
Média	751,08	0	232,08	79,38	0	0
H_g fixo	1.249,8	0	622,33	97,50	0	0

TABELA III

TABELA IV

Observando as tabelas é possível inferir que o método de alocação dinâmica, entre os três métodos estudados, apresenta um desempenho melhor para as séries wireless. O método que aloca banda com um H_g fixo teve um desempenho razoavel, porém utilizou uma maior porcentagem do *buffer*, mostrando uma boa utilização do enlace, mas mantendo perdas de bits com valores próximos, às vezes superiores às perdas do método proposto, principalmente para as séries *wireless*. O desempenho do algoritmo utilizando a média da banda alocada para série dec-pkt-2-100 não se mostrou muito eficaz. Na verdade quando se utiliza a média de tráfego como banda alocada e a série possui rajadas persistentes em vários instantes de tempo é provavel ter uma maior perda de dados devido a alocação de banda não acompanhar de forma fiel as características da série de tráfego em análise e ao mesmo tempo atender os requisitos de QoS. Na análise da série wireless1, todos os 3 métodos satisfizeram as expectativas, observando ainda que o terceiro método (que utiliza um H_g fixo) teve uma maior utilização do enlace na análise das séries *wireless*, em torno de 86 a 97%, enquanto para os outros métodos a utilização foi, em média, de aproximadamente 80%. A utilização do enlace é um parâmetro importante na análise de desempenho, pois mostra o quanto do enlace foi utilizado durante toda a série, sendo um parâmetro importante para o dimensionamento dos recursos da rede.

Aprofundando a análise, observamos agora o tamanho da fila no *buffer* para as séries de tráfego utilizadas (considerando o controle de alocação de taxa adaptativo), podendo verificar então instantes em que se apresentava capacidade ociosa ou nos quais ocorreram perdas de bits:

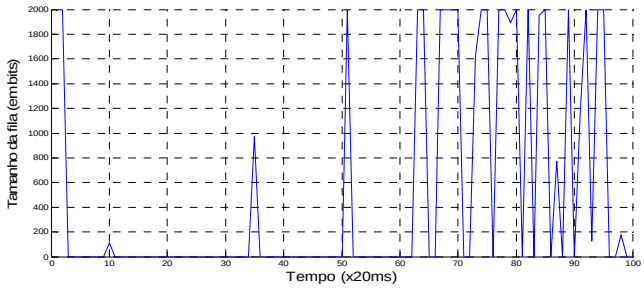


Fig. 10: Tamanho da fila no *buffer* para série dec-pkt-2-100.

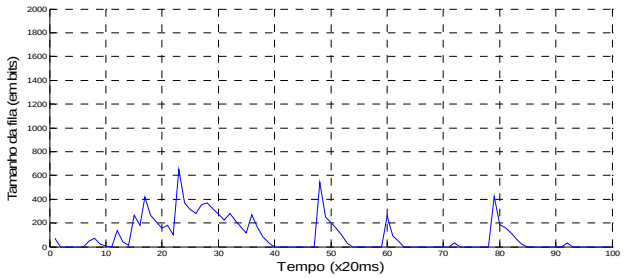


Fig. 11: Tamanho da fila no buffer para série wireless1.

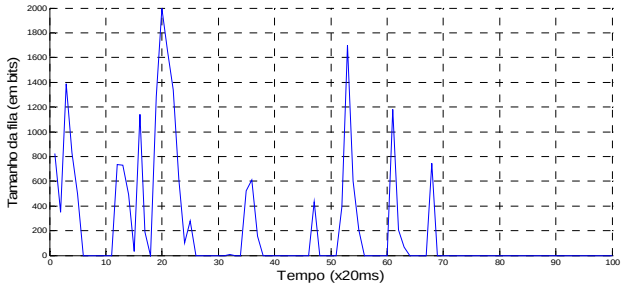


Fig. 12: Tamanho da fila no *buffer* para série wireless5.

Os instantes onde os gráficos marcam zero são momentos em que há capacidade ociosa, e os instantes onde o gráfico marca 2000 (tamanho total do *buffer*), é o momento onde ocorrem perdas de dados. Assim, não houve perdas para a série *wireless* 1, algumas perdas para a série *wireless*5 e para a série dec-pkt-2-100 ao se utilizar o algoritmo proposto.

Agora, faremos o estudo da influência do tamanho do *buffer* na porcentagem de perdas de dados. Verificaremos as taxas de perdas para os três métodos considerados utilizando as 3 (três) séries analisadas anteriormente:

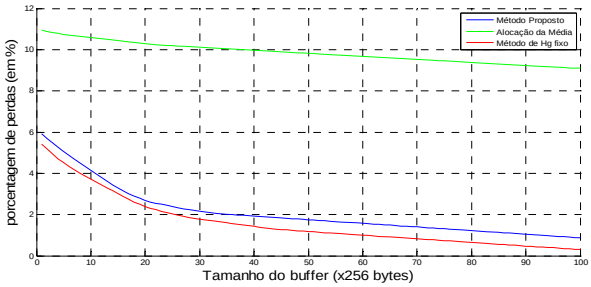


Fig. 13: Influência do buffer na porcentagem de perdas de bits para série dec-pkt-2-100.

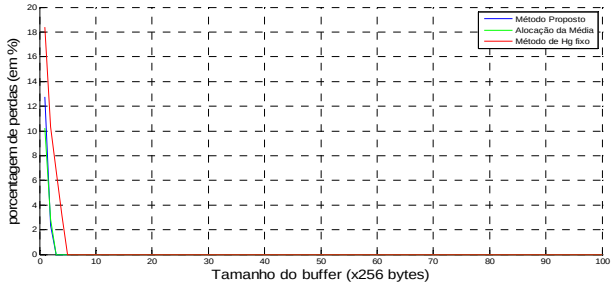


Fig. 14: Influência do tamanho do *buffer* na porcentagem de perdas de bits para série *wireless*1.

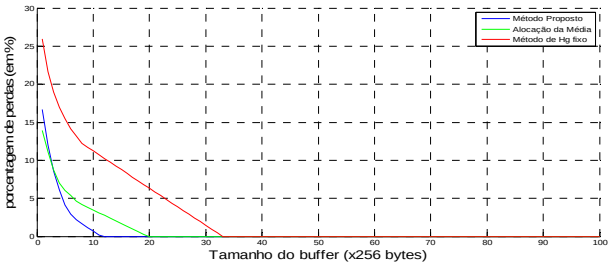


Figura 15: Influência do tamanho do *buffer* na porcentagem de perdas de bits para série *wireless*5.

É simples de constatar que quanto maior o tamanho do *buffer*, menor a porcentagem de perdas. Mas isso não significa que se pode utilizar um *buffer* grande indiscriminadamente, tem-se ainda que verificar o custo e se realmente existe a necessidade de um *buffer* grande, sendo que um menor poderia atender às especificações de projeto, por isso esta análise se faz interessante.

Obtivemos taxas de perdas em geral menores, principalmente para as séries *wireless*, utilizando o algoritmo proposto de alocação de banda em comparação ao algoritmo com H_g fixo, conforme se pode observar pelas Figuras 13 a 15.

III. Conclusões

A atual demanda sempre crescente por Internet sem fio de qualidade gera a necessidade de obtenção de melhorias de desempenho das redes utilizadas para o tráfego de dados. Um dos métodos propostos na literatura para se obter essas melhorias é o DRA. Neste trabalho foi proposto um algoritmo que utiliza as características do DRA, mas leva em consideração uma estimação adaptativa do parâmetro de escala global H_g e da média de tráfego. Ou seja, é um algoritmo mais realista onde não são feitas suposições prévias para o tráfego.

A utilização do método proposto neste trabalho é uma estimativa mais real para a banda que deve ser alocada para uma determinada série de tráfego já que durante a transmissão de dados não é possível prever o comportamento de toda a série e definir as características particulares das mesmas levando em conta apenas parâmetros estáticos. Além disso, observou-se que o esquema de alocação dinâmica de banda baseada na estimação adaptativa de H_g obteve resultados similares e em alguns casos superiores ao método proposto pelo DRA. Nossa análise sugere que levando em conta a utilização do enlace e a taxa de perdas o esquema de alocação de banda proposto neste trabalho obteve um desempenho mais desejável, já que tendo uma boa utilização do enlace, mesmo sendo menor que a utilização do DRA, obteve porcentagem de perdas menores.

Pôde-se constatar também neste estudo que alocar como taxa a média do tráfego não é uma boa escolha, pois desta forma perde-se as características necessárias para uma boa utilização dos recursos disponíveis.

REFERÊNCIAS

[1] Prata Jr., O.G. Uma Proposta de Modelagem Matemática para Tratamento de Tráfego comCaracterística Auto-Similar. Santa Rita do Sapucaí, 2003. Instituto Nacional de Telecomunicações.

[2] N. C. Trinh, T. Miki. Dynamic resource allocation for self-similar traffic in ATM networks Communications, 1999. APCC/OECC '99. Fifth Asia-Pacific Conference on … and Fourth Optoelectronics and Communications Conference. Oct 1999

[3] O programa SELFIS pode ser encontrado em: http// www.cs.ucr.Edu/~tkarag/selfis/selfis.html (ultimo acesso em 03-04-2011).

[4] protocolo TCP/IP. http://pt.wikipedia.org/wiki/TCP/IP (ultimo acesso em 17-03-2011).

[5] The internet traffic archive. http://ita.ee.lbl.go/html/contrib/. (último acesso em 19-03-2011).

[6] Vieira, F. H. T. e Ling, L. L. (2009) "Adaptive wavelet-based multifractal model applied to the effective bandwidth estimation of network traffic flows". IET Communications; 3: p. 906.

Estudo do material Molibdenita como sucessor do Silício

Alan Henrique Inocêncio

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
inocencio@gee.inatel.br

Vênus Líria Silva Mendes

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
venus@gee.inatel.br

Bruna Daniel Ferreira Gonçalves

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
brunad@gee.inatel.br

Silvio Bottrel Guimarães

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
silvio.bottrel@inatel.br

***Resumo*—Este artigo é dedicado ao estudo do material molibdenita (MoS2) como sucessor do silício na indústria eletrônica, para confecção de dispositivos que atualmente são fabricados como o semicondutor silício. Apresentamos aqui as características e analogias para melhor analise e compreensão. Além de um estudo da história da e tendência de mercado da molibdenita.**

***Palavras chave*—Engenharia Elétrica, Molibdenita, Sucessor do Silício, Tecnologia.**

Abstract—This article is dedicated to study of molybdenite material (MoS2) as sucessor to silicon in the eletronic industry for prepare devices that use silicon as a semiconductor. Here are present the features and analogies to improve a analysis and understending. In addition, a study about history and the market trend of molybdenite.

Keywords—Electrical Engineering, Molybdenite, Sucessor to Silicon, Technology.

I. INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica não para e não irá cessar até o fim dos tempos. E é pela incessante busca do homem pela descoberta e evolução, que a tecnologia beneficia cada vez mais, não só a indústria, mas a natureza, até mesmo quando seus recursos se esgotam, outras alternativas são buscadas através de pesquisas realizadas por cientistas ao redor do mundo.

Em 2011 na Escola Politécnica Federal na Suíça, pesquisadores publicaram as primeiras informações sobre o material Molibdenita como sucessor do silício e até mesmo do Grafeno que até então, era visto como o principal sucessor do Silício.

O material em questão possibilita a fabricação de componentes menores e maleáveis, o que geraria muitas mudanças para a tecnologia, uma vez que o material é abundante e barato.

II. HISTÓRIA

O Molibdênio, cujo símbolo químico é *Mo* teve seus compostos confundidos com os de outros elementos químicos, ao que indica, até o século VXIII, quando no ano de 1778, um químico sueco chamado Carl Wilhelm Scheele obteve uma substância que o levou a acreditar que se tratava de um novo elemento químico e, que poderia ser isolado a uma temperatura elevada. Com essa crença em mente, Scheele reagiu a molibdenita com ácido nítrico e o chamou de *acidum molibdena*. [1]

Já em 1782, quatro anos após o descobrimento e depois das experiências realizadas por Carl Scheele, o também químico sueco Peter Jacob Hjelm foi o primeiro a isolar o elemento molibdênio. [2]

Com essa façanha, Hjelm obteve o crédito do descoberta do mineral, mas com os estudos atuais mostram a importância do trabalho de Scheele.

Alguns outros elementos químicos descobertos por Scheele foram creditados a outros pesquisadores. Por exemplo, em 1774 descobriu o cloro, mas somente após trinta anos, o

A. H. Inocêncio (inocencio@gee.inatel.br), B. D. F. Gonçalves (brunad@gee.inatel.br) , S. B. Guimarães (silvio.bottrel@inatel.br) e V. L.S. Mendes (venus@gee.inatel.br) pertencem ao Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel. Av. João de Camargo, 510 - Santa Rita do Sapucaí - MG - Brasil - 37540-000.

também químico Humphy Davy teve material necessário para desvendar que o cloro era um novo elemento químico. Apesar da descoberta da molibdenita ter sido creditada a Hjelm e o cloro a Davy, Scheele também fez experimentos importantes com bário, mas somente Davy levou o crédito, pois conseguiu isolar o elemento muitos anos depois. [3]

A molibdenita é considerada um metal de transição, ou seja "cujo átomo possui um subnível d incompleto ou que possa vir a formar cátions com um subnível d incompleto". [4] É um metal muito duro encontrado em coloração branca prateada, além disso, tem um ponto de fusão muito alto, um dos mais altos entre da tabela periódica. É aplicado ainda para enrijecer ligas de aço e dar proteção anti-corrosão. [5]

A. Utilização

No início de 2011, após estudos realizados na Escola Federal de Lausanne – Suíça, puderam ser conhecidos alguns resultados de pesquisas na utilização de componentes e materiais eletrônicos.

É interessante observar que, atualmente o silício é o mineral responsável pela confecção de componentes eletrônicos e, a partir das pesquisas realizadas ficou provado que a molibdenita é mais eficiente que o silício, pois a partir do material em questão, seria possível produzir dispositivos e componentes mais potentes, consumindo menos energia e de dimensões físicas também menores.

Atualmente, um concorrente direto da molibdenita para a substituição do silício na confecção de dispositivos eletrônicos é o grafeno, mas não possui a mesma eficiência. [6]

B. Dados Importantes

Na década de 2000, os registros encontrados apontam para uma estagnação na quantidade de molibdênio contido nas principais reservas mundiais. Diferente de ouro e prata encontrados em abundância na América Latina ao longo de vários séculos, o molibdênio acumula suas reservas em países como China e Estados Unidos, seguidos do Chile, país sul americano, como terceira força de reservas.

As três maiores reservas do mineral ao redor do mundo correspondem aproximadamente 82,5% do total mundial de molibdênio. [7]

No que diz respeito ao Brasil, atualmente não se encontram dados oficiais que apontem para a produção ou reservas de molibdenita em terras nacionais. Porém, não oficialmente houve registro de uma pequena produção ocorrida no estado da Bahia, devido à exploração de diamantes.

III. CONTEXTO INTERNACIONAL

No que diz respeito às importações e a grande demanda interna brasileira, os dados apontam que no ano de 2007 o país importou aproximadamente 10,415 t do material primário. Na década de 2000, a importação do mineral ao Brasil cresceu de forma interessante, mostrando que de um ano para o outro, a quantidade em t de molibdênio teve o incremento de cerca de 1,5 t. Os principais fornecedores do Brasil nessa década foram o Chile, com uma parcela de 63% e a Holanda que exportou 31% do total consumido em solo brasileiro.

Além disso, os produtos semimanufaturados também sofreram incremento nas importações feitas pelo Brasil, onde do total importado de produtos e subprodutos de molibdênio, os semimanufaturados totalizaram 23,4%.

O Brasil, apesar de importar o molibdênio para sua produção interna, possui uma demanda crescente nas exportações de produtos gerados a partir do molibdênio. [8]

IV. FATORES RELEVANTES

É importante registrar que a molibdenita é um material altamente reutilizável. Nos Estados Unidos, por exemplo, a reciclagem de ligas de aço com base de molibdênio representa um total de 30% do consumo. [9]

O molibdênio é encontrado em grande quantidade na água do mar, e sua deficiência no organismo pode produzir graves problemas, porém é encontrado em quase todos os alimentos, tornando a deficiência rara. É um elemento químico básico do ponto de vista da biologia e de grande importância na indústria. [10]

V. ANÁLISE DA PARTE FÍSICA DO MATERIAL MOLIBDENITA

O mineral molibdenita é de aparência cinzentada, possui um brilho metálico que lembra o grafite. Por muitos anos este mineral foi confudido com compostos de outros elementos, tais como o chumbo e o carbono.

Este mineral não é encontrado puro na natureza. O nome molibdenita veio da fusão de um àtomo do metal molibdênio e dois àtomos de enxofre. Uma vez que o molibdênio é que se encontra puro na natureza.

A. Pirncipais características físicas:

Fórmula química - $MoS_{2;}$
Composição - Bissulfeto de molibdênio 40,0% S, 60,0% Mo;
Cristalografia - Hexagonal;
Brilho - Metálica;
Cor - Cinza- azulado escuro e preto;
Propriedades Ópticas - Anisotropia muito forte, branco;
Peso específico: 4,62 – 4,73
Dureza - 1 - 1,5;
Densidade relativa - 4,7 - 4,8. [11]

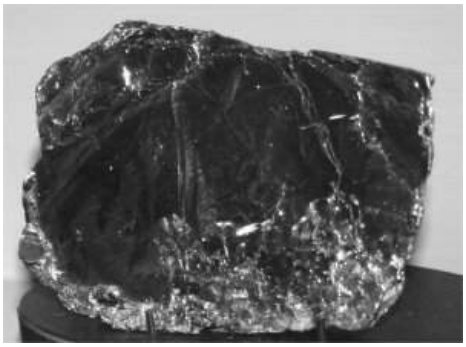


Fig.1. Cristal de Molibdenita. [11]

VI. Analogia entre molibdenita e o silício

Análoga ao silício, segundo uma pesquisa da Escola Politécnica Federal de Lausann, na Suíça, onde o primeiro chip de molibdenita foi construído em 2011, a molibdenita supera o silício no consumo de energia de transistores, consumindo 100.000 vezes menos energia. Um número significativo para a eletrônica.

Outra importante vantagem é o volume, pois a molibdenita possibilita a fabricação de uma folha de seu material tão fina quanto de silício, tornando-a mais maleável mecanicamente e flexível, possibilitando construção de objetos dobráveis, como por exemplo computadores e calculadoras enroláveis, além da construção de componentes ainda menores, podendo um processador, por exemplo, ser até três vezes menor que um de silício.

“Em uma folha com 0,65 nanômetro de espessura de MoS2, os elétrons podem se mover tão facilmente quanto em uma folha de silício de 2 nanômetros de espessura.” [12]

"A capacidade de amplificar sinais eletrônicos é exatamente a mesma que a do silício: os sinais de saída são até quatro vezes mais fortes do que os sinais de entrada. 'Os transistores de MoS2 também são mais eficientes do que os transistores de silício: 'Eles podem ser ligados e desligados mais rapidamente, e podem ser colocados em um modo de *standby* mais completo." [13]

VII. Transistor

A molibdenita forma folhas sobrepostas que se soltam com facilidade, assim sendo, o transistor construído pelos pesquisadores Suíços foi criado quando, para a coleta dessa, foi usada uma técnica bastante simples e já conhecida por ganhar o prêmio Nobel de Física quando usaram para coletar o grafeno. Essa técnica utiliza de uma fita adesiva que é levemente pressionada ao cristal bruto dopado com uma camada de 270 nanômetros de SiO_2.

"O nanotransístor também utiliza uma camada de 30 nanômetros de óxido de háfnio, um material de elevada constante dielétrica (high-k) que tem-se tornado o 'ingrediente milagroso' dos transistores mais modernos." [14]

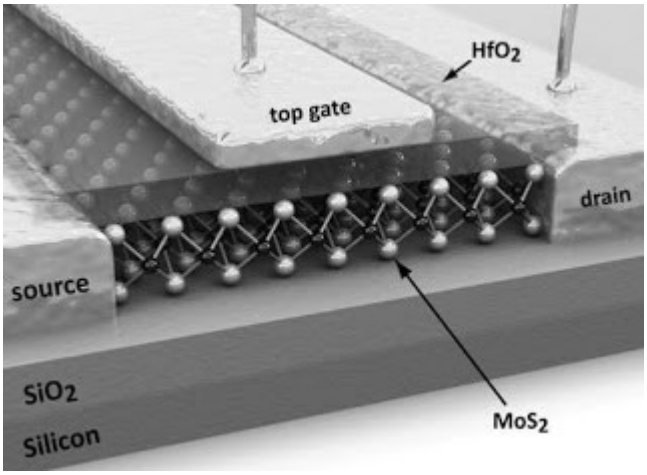


Fig. 2. Modelo. Este modelo digital mostra como a molibdenita pode ser integrada para formar um transistor. [15]

VIII. Aplicações

Na eletrônica, a molibdenita é considerada um material bidimensional e fino, apresenta um potencial real e significativo para a nanotecnologia, como para a construção de transistores, diodos emissores de luz e células solares.

Também é muito importante e significativo para a construção de processadores até três vezes menor que os de silício, quando este atingir seu limite físico, sobressaindo, revolucionando e destacando a molibdenita, por trabalhar formando camadas de apenas três átomos de espessura, enquanto o silício não suportaria ser manipulado para trabalhar abaixo de dois nanômetros. [16] [17]

IX. Band gap

Segundo a capacidade de carga elétrica, os materiais podem ser classificados em três classes: Condutores, semicondutores e isolantes, os quais são revelados pela análise da região de Band Gap.

Isolante, é um material que não conduz carga, enquanto que um material que seja um excelente condutor de carga é chamado condutor, um material cuja condutividade elétrica seja intermediária que contem um isolante e um condutor é chamado semicondutor.

Através das estruturas de bandas de energia eletrônica pode-se observar a diferença entre eles como mostrado na Fig.4. Para um isolante, a banda de energia dos elétrons da camada de valência está separada da banda de energia dos elétrons da camada de condução por uma lacuna (GAP) de energia, denominada banda proibida (Fig. 3a).

Em um isolante, a energia que deve ser fornecida a um elétron da camada de valência por um campo elétrico é muito inferior ao GAP de energia para levar o elétron de uma camada ocupada para uma camada livre. A lacuna de energia também é vista no semicondutor devido à banda proibida, porém, o GAP de energia é bastante inferior ao do isolante (Fig. 3b). A ligação atômica de um condutor, sendo do tipo metálica, na qual os elétrons das camadas mais externas estão fracamente ligados aos núcleos atômicos, faz com que as bandas de energia de valência e de condução se superponham (Fig.3c), permitindo a existência de elétrons livres responsáveis pela alta condutividade elétrica destes materiais. [18]

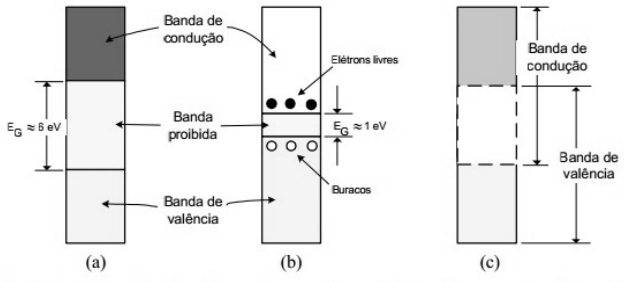


Fig. 3 .Estrutura de banda de energias para (a) um isolante, (b) um semicondutor e (c) um condutor. [18]

Comparação Band gap	
Silício (Se)	1,10 eV
Germânio(Ge)	0,66 eV
Grafeno	0,25 eV
Molibdenita (MoS_2)	1,80 eV

A diferença entre a banda de condução e banda de valência, denominada banda proibida ou band gap é dada pela equação (1):

$$Egap = Ec - Ev \qquad (1)$$

O comportamento do semicondutor como um isolante, ocorre quando a diferença da região da banda proibida é muito pequena. A zero graus Kelvin, o semicondutor se comporta como um isolante perfeito, mas devido ao pequeno GAP, a agitação térmica devido ao aumento da temperatura é capaz de fazer com que os elétrons da banda de valência pulem para a banda superior. Ao passar para a banda de condução esses elétrons deixam buracos na camada de valência, e esses buracos também são responsáveis pela condutividade do material.

Segundo Longo, Beltran e Sambrano (2005), o "GAP" indireto ocorre quando o máximo da BV (Banda de Valência) e o mínimo da BC (Banda de Condução) encontram-se em pontos diferentes da zona de Brilloium e o "GAP" direto, quando o máximo da BV e o mínimo da BC coincidem no mesmo ponto da zona de Brilloium. A escolha da zona de Brilloium deve-se ao fato de que esta representa a região que contém todos os pontos equivalentes no espaço recíproco com relação ao grupo de simetria utilizado. [19]

X. Instituições e Universidades que realizaram pesquisas com o material molibdenita

A Universidade Unicentro – Universidade Estadual do Centro-Oeste localizada no Paraná e a Universidade de Brasília – Instituto de Geociências Departamento de Mineralogia e Petrologia localizada em Brasília.

XI. Conclusões

Conforme apresentado nesse artigo, a molibdenita ainda é um material em estudo, porém muitos anseiam pelas oportunidades e vantagens que trarão ao mercado tecnológico concomitante a sua evolução, como também para a vida dos consumidores que de alguma forma irão usufruir de suas facilidades. Em relação à molibdenita como sucessor do silício na área tecnológica, se espera que aconteça trazendo vantagens eletrônicas e financeiras, além das novidades mercadológicas.

Apesar de auspicioso é importante ressaltar que muitas pesquisas e testes continuarão sendo feitos, até que um dia, a molibdenita seja o presente, entrando na realidade de cada um, comprovando as teorias estudadas, atendendo e superando as expectativas dos pesquisadores, curiosos e satisfazendo as demandas que surgirão.

Referências

[1] http://pt.wikipedia.org/wiki/Molibdênio
[2] Christoph Friedrich. *(1989).* "Deutsch-schwedische Wissenschaftsbeziehungen an der Universität Greifswald zwischen 1770 und 1850 unter besonderer Berücksichtigung von Chemie und Pharmazie". Berichte zur Wissenschaftsgeschichte ***12*** *(3): 177–192* (http://pt.wikipedia.org/wiki/Peter_Jacob_Hjelm)
[3] http://pt.wikipedia.org/wiki/Carl_Wilhelm_Scheele
[4] IUPAC. Compendium of Chemical Terminology, 2nd ed. (the "Gold Book"). Compiled by A. D. McNaught and A. Wilkinson. Blackwell Scientific Publications, Oxford (1997). XML on-line corrected version: http://goldbook.iupac.org
[5] http://pt.wikipedia.org/wiki/Molibdênio
[6] Andrei Ferreira Garcia; Maria, Luciana; Floriano, Giovanni Henrique Faria. Estudo do Potencial da Molibdenita para Confecção de Dispositivos Eletrônicos. Anais do Incitel 2012, p. 241.
[7] DNPM-DIDEM. Mineral Commodity Summaries 2008. United States Geological Survey.
[8] SECEX-MF, CIEF-SRF, ABRAFE. Mineral Commodity Summaries 2008. United States Geological Survey.
[9] Helano Régis da Nóbrega Fonteles. Molibdênio. DNPM/PI. Disponível em http://pt.scribd.com/doc/56578039/molibdenio
[10] http://pt.wikipedia.org/wiki/Molibdênio
[11] http://www.rc.unesp.br/museudpm/banco/sulfetos/molibdenita.html
[12] http://mecatronicaonline.blogspot.com.br/2011/02/um-novo-material-semicondutor.html
[13] http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=chip-molibdenita-sucessor-silicio
[14] http://mecatronicaonline.blogspot.com.br/2011/02/um-novo-material-semicondutor.html
[15] http://www.ataldatecnologia.me.ht/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=34&Itemid=53&limitstart=40
[16] http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=chip-molibdenita-sucessor-silicio
[17] http://www.ataldatecnologia.me.ht/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=34&Itemid=53&limitstart=40
[18] http://www.demar.eel.usp.br/eletronica/aulas/Semicondutores.pdf
[19] http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_WIC_076_536_11934.pdf

Estudo Diagnóstico de Representação de Cálculo de Áreas e de Volumes por Integrais

Monique Paula Jardim Garcia

Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
monique@gee.inatel.br

Natan Wender Brandão

Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
natan@gec.inatel.br

Nivaldo Faria

Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
ng.faria@uol.com.br

***Abstract*— This text aims to present procedures that are already being adopted, as well as those to be followed in conducting a survey whose focus is directed to issues relating to difficulties in the learning process of the Diagnostic Study of Representation Calculation of Areas and Volumes Integrals for the discipline of Differential and Integral Calculus. This research is using a qualitative approach and seeks to understand the difficulties presented by the students, taking as its starting point the analysis of the errors committed by them in carrying out tests and other activities such as exercises performed in class, group work, among others. While acknowledging the influence of other factors, the concern of researchers in this research is centered on the mathematical calculation. In this article, show your intentions with the research objectives of the research problem, theoretical frameworks, and also some thoughts on the subject. Also, describe the steps already in progress and the steps they intend to follow.**

***Index Terms* — Analysis of the errors, Calculus, Integrals, Study.**

***Resumo*— Este texto tem como objetivo apresentar procedimentos que já estão sendo adotados, bem como aqueles a serem seguidos, na realização de uma pesquisa cujo foco está direcionado para questões relativas às dificuldades no processo de aprendizagem do Estudo Diagnóstico de Representação de Cálculo de Áreas e de Volumes por Integrais da disciplina de Cálculo Diferencial e Integral. Tal investigação está utilizando uma abordagem qualitativa dos dados e busca a compreensão das dificuldades apresentadas pelos alunos, tendo como ponto de partida a análise dos erros cometidos por eles na realização de provas e demais atividades como: exercícios realizados em sala de aula, trabalhos em grupo, entre outros. Embora reconheçam a influência de outros fatores, a preocupação dos pesquisadores nessa investigação está centrada nos conhecimentos matemáticos relativos ao Cálculo. Nesse artigo, apresentam suas intenções com a investigação, objetivos da pesquisa, problema, referenciais teóricos e, também, algumas reflexões sobre o assunto. Além disso, descrevem as etapas já em andamento e os passos que pretendem seguir.**

Palavras chave— **Análise dos erros, Cálculo de áreas, volumes, integrais, estudo.**

I. Introdução

Especificamente sobre o ensino de Cálculo no Estudo Diagnóstico de Representação de Cálculo de Áreas e de Volumes por Integrais, existem muitas linhas de pesquisa já contempladas e outras em desenvolvimento. Em uma breve investigação inicial, pesquisamos que tais pesquisas focalizam temas variados, sendo que a maioria trata de diferentes metodologias que visam o uso de computadores, entre outras.
Geralmente quando os alunos apresentam dúvidas com relação a determinados conteúdos relacionados às integrais, procuram ajuda na monitoria da disciplina ou diretamente com o professor. Em pesquisas relacionadas a esse assunto constatamos que os alunos têm dificuldade para entender o cálculo de áreas e volumes utilizando as integrais. As maiores dificuldades apontadas pelos alunos eram: representar a figura no plano cartesiano, fazer manipulações algébricas para resolução de algumas integrais e montar os cálculos utilizando as integrais. Com isso percebemos que as grandes dificuldades estavam relacionadas à Matemática estudada no Ensino Médio (geometria, trigonometria e funções, em particular) e também no Ensino Fundamental (em grande parte, as manipulações algébricas). Fazendo uma análise de outros trabalhos cujo objetivo era estudar as questões que estavam relacionadas com o cálculo, percebemos que todos têm uma preocupação com o alto índice de reprovação, e mesmo mostrando algumas alternativas, como: uma quantidade maior de aulas de cálculo, aulas de nivelamento matemático, aulas de matemática básica, não conseguiram ainda identificar que tipo de dúvidas os alunos apresentam. Discussões sobre este assunto são enormes e, de um modo geral, colocam a culpa sempre na qualidade do ensino Fundamental e Médio, livrando de certa maneira o ensino Superior. Outro aspecto abordado é a metodologia para ensinar dos professores, que envolve vários fatores, como: qualificação profissional, entendimento da turma em relação ao tema especificado, metodologia de ensino, mostrar mais aplicações, entre outros fatores que podem influenciar diretamente na aprendizagem do aluno. Mesmo que propusessem modificações no ensino Fundamental e Médio e na Metodologia de ensino, teríamos toda uma geração de estudantes com uma grande deficiência na aprendizagem. Lembrando que é muito difícil propor e executar tais mudanças no Brasil.

Fizemos a proposta desse tema por não acreditar que questão principal deste problema seja o conteúdo específico. Queremos mostrar alguma forma de dar apoio ao ensino de Cálculo de área e integrais de volume, que poderia superar esse problema, a partir da compreensão das dúvidas apresentadas pelos alunos. Queremos que o INATEL invista nesse sentido, para trazer um grande retorno à própria Instituição, de tal forma que seus alunos não desistissem de seus sonhos ao encontrarem seu primeiro obstáculo.

A primeira etapa da nossa pesquisa consiste nos Estudos Teóricos sobre integrais e entender quais dúvidas os alunos apresentam no inicio de integrais de cálculo de área. Essas dificuldades se referem aos erros cometidos pelos alunos. Mesmo que existam outros fatores que as influenciam na aprendizagem, como hábitos de estudo, aspectos psicoemocionais e situação socioeconômica, é possível entender muitas das dificuldades. O nosso trabalho estará voltado aos aspectos referentes ao conhecimento matemático e, pesquisar sobre as dificuldades dos alunos no entendimento de tal disciplina, portanto, sem um maior aprofundamento nos demais fatores. Assim, a partir dessas produções, é possível compreender as dificuldades apresentadas por eles com relação aos conteúdos. Com essa compreensão torna-se viável a elaboração de estratégias efetivas para a superação de tais dificuldades.

Inicialmente, a intenção é confrontar as dificuldades encontradas na etapa de levantamento de dados com as apontadas nos estudos relacionados ao tema em questão. A partir deste confronto, pretendemos dar embasamento teórico às nossas suspeitas iniciais e iniciar a pesquisa relacionada, com maior enfoque aprofundando cada vez mais no tema, levantando questões como: Estudos sobre as principais propriedades das integrais levando em conta a dificuldade de aprendizagem e mostrando melhorias no processo para se tiver uma melhor adaptação ao tema. Também mostraremos pesquisas sobre o estudo da representação de áreas e de volumes por integrais, mostraremos quais as possibilidades de para um melhor entendimento, sendo auxiliado pela utilização de um software na representação de áreas e de volumes por integrais, exemplificando que o software é uma ferramenta de auxilio ao aluno, para melhor visualização do aluno, e mostrar as soluções especificas e resultados relevantes para que o aluno se adapte melhor ao tema especificado.

II. METODOLOGIA

Nossa proposta é entender os problemas encontrados pelos alunos na disciplina por meio de entrevista e mostrar que com a utilização de softwares para desenhar a figura e mostrar o cálculo da integral de área, os alunos poderão entender de uma forma mais clara esse conceito de cálculo de áreas. Muitos dos estudantes têm dificuldade para visualizar gráficos ou como uma integral pode ajudar no cálculo de áreas. Com a ajuda desses softwares para mostrar a área calculada pelas integrais, o aluno pode suprir algumas dúvidas individuais. Outra coisa, as aulas ficariam mais dinâmicas, aumentando assim o nível de interesse dos alunos. Sabemos que é difícil para o professor de matemática ministrar aulas de cálculo diferentes do método tradicional, pois para o aprendizado de cálculo é necessário muita disposição por parte dos alunos em desenvolver atividades voltadas ao cálculo.

Dessa maneira o professor pode conquistar seus alunos para o estudo dessa área, porque além de interessante pode ser ensinada e aprendida com prazer. Durante as aulas usa-se o computador apenas para leitura de slides, que deixam as aulas desgastantes e isso faz com que os alunos dispersem. Por isso que usando novos métodos, podemos fazer com que os alunos fiquem mais interessados, assim o professor pode mostrar como é feita a utilização do software e mostrar de uma maneira mais simples e rápida a resolução do problema proposto, pois os alunos podem ter dificuldades no entendimento, por meio do software terão mais interesse e assim uma melhor adaptação na disciplina. Seguiremos três tópicos:

- Encontrar dúvidas e problemas encontrados pelos alunos por meio de entrevistas com os próprios.
- Encontrar a melhor solução para problema, tendo em vista as dificuldades dos alunos.
- Sugestões para suprir as falhas encontradas, visando um melhor aproveitamento pelos alunos do primeiro período.

III. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo mostrar que as utilizações de softwares para cálculo podem trazer uma flexibilidade no tratamento de dados aos alunos e professores e proporcionar a possibilidade de representações múltiplas de um mesmo problema. Podem ser usados para demonstrações em sala de aula ou como trabalhos fora da sala de aula. Ao visualizar as expressões matemáticas os alunos têm uma melhor compreensão sobre os assuntos ministrados em classe, assim facilitando o aprendizado.

Aprender como as integrais podem ser usadas para calcular áreas, volumes e outras coisas, não é tão fácil, principalmente porque os alunos vêm com certa deficiência do ensino médio e fundamental. Os softwares como MATLAB e SCILAB, no nosso caso, possuem uma grande potencialidade em relação ao ensino de tópicos de cálculo, ele oferece vários recursos como a capacidade de computação algébrica, numérica e gráfica, capacidade de manipulação de fórmulas e números e uma linguagem de programação de alto nível. Portanto, utilizando o software MATLAB ou SCILAB, os conceitos vistos em sala de aula serão apresentados de maneira computacional, tornando o aprendizado mais prazeroso do que o ambiente que o professor utiliza em sala de aula. Isso ajudará os alunos a terem uma visão mais ampla e objetiva, mostrando uma melhor maneira de correção dos exercícios propostos e melhorando o entendimento dos alunos.

IV. PESQUISA

Durante nossas pesquisas e estudo sobre Cálculo no Diagnóstico de Representação de Cálculo de Áreas e de Volumes por Integrais, foram realizadas entrevistas com os alunos que cursam a disciplina de cálculo, no Instituto Nacional de Telecomunicações, sendo entrevistados 20

alunos, mostrando características em comum em todos os entrevistados. Por meio da pesquisa temos um melhor entendimento das dificuldades e um entendimento mais aprofundado de onde está o problema na compreensão da representação do cálculo de áreas e de volumes por integrais
Sendo treze perguntas dos mais variados tipos. As perguntas abordadas na pesquisa foram:
1- Quais foram às dificuldades que você encontrou para cursar a disciplina de calculo?
2- Qual foi seu aproveitamento nas aulas durando o aprendizado do calculo?
3- Quanto tempo você dedicou ao estudo do calculo integral e diferencial?
4- Com relação aos professores que ministram as aulas quais sais dificuldades encontradas no entendimento da disciplina?
5- Com relação às atividades propostas em sala de aula, exercícios e desafios propostos são bem explicados?
6- O material utilizado em sala de aula, como apostilas, livros entre outros, são bem claros?
7- O que você acha que pode facilitar o seu entendimento da disciplina em relação aos livros disponibilizados?
8- Há algum tipo de falhas na disciplina que dificultam o entendimento?
9- Há algum de preconceito estabelecido pela turma para o estuda da disciplina?
10- O que falta pra melhorar o seu entendimento da matéria?
11- Qual a maior dificuldade encontrada na disciplina?
12- Qual o seu objetivo ao entender melhor o calculo?
13- Qual a sua sugestão para melhor entendimento da disciplina?

Por meio dessas perguntas descobrimos características em comum entre os alunos, sendo que todos apresentavam as mesmas respostas. Assim analisamos todas as respostas no tópico V, chegamos ao um consenso geral sobre tal assunto. Os alunos disseram que vieram com certa deficiência em matemática no ensino médio, e isso estava refletindo no rendimento dos alunos em cálculo. Os professores foram elogiados, portanto era uma falha pessoal de cada um. Nas nossas pesquisas também foram analisadas as notas que os alunos obtiveram na disciplina, tendo em vista descobrir, qual a diferença entre alunos de escolas públicas e alunos de escolas privadas. Como mostrado abaixo:

Ensino Privado:

Aluno1: nota obtida final: 65
Aluno4: nota obtida final: 72
Aluno5: nota obtida final: 84
Aluno8: nota obtida final: 62

Ensino Público:

Aluno2: nota obtida final: 46
Aluno3: nota obtida final: 60
Aluno6: nota obtida final: 45
Aluno7: nota obtida final: 43

Podemos notar que os alunos das escolas privadas têm o ensino melhor em relação aos da escola pública, pela comparação das notas vimos que a maioria dos alunos reprovados em cálculo vem do ensino público, suas notas são relativamente menores em relação aos alunos do ensino privado. As escolas públicas estão precárias quando comparadas às escolas particulares, então a primeira coisa a fazer é nivelar os alunos das escolas públicas com os alunos das escolas privadas. Podemos concluir que o ensino antes de entrar na faculdade influencia diretamente na disciplina e que a cada oito alunos entrevistados, três pegam dependência na disciplina, sendo que os três são de ensino público que tem maior deficiência no entendimento do cálculo, isso nos leva a perceber o alto índice de dependentes na disciplina. Observação: As notas mostradas acima não têm nenhuma relação com os alunos entrevistados a seguir. Para o apoio aos alunos do primeiro período é oferecido um nivelamento de calculo, onde se tem um reforço matemático para diminuir o alto índice de reprovação na disciplina que chega a quase setenta por cento, por meio do nivelamento podemos implementar o auxilio do software, pois no reforço matemático, tem como objetivo melhorar o entendimento dos alunos e compensar o que o aluno não entendeu em sala de aula, sendo que o problema encontrado está na falta de base do ensino médio e fundamental por meio das nossas pesquisas no tópico V.O uso dos softwares nas aulas dão grande noção matemática sobre calculo de área e integrais, assim os alunos terão um melhor aproveitamento e diminuiremos o índice de reprovação, sendo uma maneira mais pratica e de fácil entendimento para os alunos, como um melhoramento para a disciplina abordada, tendo maior foco e mostrando uma maneira diferente de aprender. Nem todos os alunos entrevistados estão presentes, pois o conteúdo poderia ficar extenso e repetitivo.

V. Entrevistas

Quais foram às dificuldades que você encontrou para cursar a disciplina de cálculo?
Aluno1: A principal foi à falta de base na área de exatas que o ensino médio público oferece.
Aluno2: Falta de base do ensino médio.
Aluno3: As minhas dificuldades foram falta de base em matemática básica, e não ser acostumado com o sistema de provas do INATEL.
Aluno4: Falta de base em matemática.
Aluno5: Em escolas públicas o ensino da matemática básica é péssimo
Aluno6: Com certeza a falta de base.
Aluno7: Em minha opinião, me faltou uma estrutura de conhecimentos matemáticos.
Aluno8: Acredito que seja a falta de base.
Aluno9: Falta de base em matemática.
Aluno10: Para o curso de engenharia eu deveria ter tido uma base melhor

Qual foi seu aproveitamento nas aulas durante o aprendizado do cálculo?
Aluno1: Eu obtive um ótimo aproveitamento durante minhas aulas.

Aluno2: Foi bom. Mais por causa de entender pouco da matéria às vezes ficava "viajando".
Aluno3: Aproveitamento não foi muito bom, pois as dificuldades vindas do ensino médio me prejudicaram muito durante toda a matéria.
Aluno4: Ainda sinto um pouco de dificuldade para entender integrais.
Aluno5: Foi bom, mas porque me esforcei muito fora das aulas.
Aluno6: Depois de várias tentativas consegui um bom aproveitamento.
Aluno7: Razoavelmente bem.
Aluno8: Pode ser considerado bom.
Aluno9: Bom.
Aluno10: Consegui aprender bastante.

Quanto tempo você dedicou ao estudo do cálculo integral e diferencial?
Aluno1: a partir do começo de maio o meu tempo foi dedicado somente ao estudo do calculo diferencial e integral.
Aluno2: meu primeiro semestre.
Aluno3: Dois dias na semana eram dedicados ao estudo de calculo diferencial e integral.
Aluno4: uma hora depois de cada aula de integrais são dedicadas para resolver exercícios propostos.
Aluno5: Todas as noites, relendo o conteúdo e resolvendo exercícios.
Aluno6: Durante o primeiro semestre.
Aluno7: Em período de provas minha dedicação é maior.
Aluno8: Primeiro e segundo período.
Aluno9: Primeiro semestre.
Aluno10: Três vezes por semana com duração de 1 hora, era totalmente dedicado só para integrais.

Com relação aos professores que ministram as aulas quais sais dificuldades encontradas no entendimento da disciplina?
Aluno1: O professor, que eu tenho conhecimento, foi bem claro e objetivo.
Aluno2: Em relação aos professores não foram encontradas nenhuma dificuldade.
Aluno3: Nenhuma dificuldade, ambos prestavam atendimento até mesmo fora do horário.
Aluno4: Meus professores tiveram um ótimo método de ensino.
Aluno5: nenhuma, até me ajudaram bastante no horário de atendimento.
Aluno6: Ensinam muito bem, não tenho nada a reclamar.
Aluno7: Nenhuns todos os professores são esclarecedores.
Aluno8: nenhuma dificuldade encontrada.
Aluno9: O INATEL tem professores excelentes.
Aluno10: Os professores são claros e objetivos, a matéria que é difícil mesmo.

Com relação às atividades propostas em sala de aula, exercícios e desafios propostos são bem explicados?
Aluno1: No meu ponto de vista são muito bem explicados e de fácil entendimento.
Aluno2: Sim.
Aluno3: São bem explicados mais o conteúdo é muito extenso, e acaba ficando muito corrido o conteúdo para pouco tempo de aula.
Aluno4: Sim.
Aluno5: Muito conteúdo.
Aluno6: Faltam mais exemplos.
Aluno7: Sim.
Aluno8: Sim, muito bem esclarecidos.
Aluno9: Sim.
Aluno10: São muito claros e objetivos.

O material utilizado em sala de aula, como apostilas, livros entre outros, são bem claros?
Aluno1: No meu ponto de vista são muito bem explicados e de fácil entendimento.
Aluno2: Sim.
Aluno3: São bem explicados mais o conteúdo é muito extenso, e acaba ficando muito corrido o conteúdo para pouco tempo de aula.
Aluno4: Sim.
Aluno5: Muito conteúdo.
Aluno6: Faltam mais exemplos.
Aluno7: Sim.
Aluno8: Sim, muito bem esclarecidos.
Aluno9: Sim.
Aluno10: São muito claros e objetivos.

O que você acha que pode facilitar o seu entendimento da disciplina em relação aos livros disponibilizados?
Aluno1: Mais exemplos, os primeiros principalmente deveriam ser o mais simples possível pra mais fácil entendimento.
Aluno2: Nada os livros são bons.
Aluno3: Não há nada que possa ser feito a respeito dos livros, pois nossa biblioteca tem um grande acervo com vários títulos e exemplares diferentes.
Aluno4: Nossa biblioteca é muito bem equipada, onde podem ser escolhidos muitos autores diferentes.
Aluno5: Nada para reclamar em relação aos livros.
Aluno6: Exemplos mais simplificados para facilitar o entendimento.
Aluno7: Uma linguagem menos formal, ajudaria muito o esclarecimento.
Aluno8: Os livros são ótimos.
Aluno9: Mais exercícios resolvidos.
Aluno10: Nada, pois os livros são muito bons.

Há algum tipo de falhas na disciplina que dificultam o entendimento?
Aluno1: No meu ponto de vista não tenho do que reclamar.
Aluno2: Às vezes a maneira muito rápida de lesionar dos professores.
Aluno3: Em minha opinião, as aulas de monitoria e ac301 são feitas apenas para completar o quadro de horário, pois o aproveitamento obtido nelas é muito baixo, assim não ajudando na disciplina de calculo.
Aluno4: “Enxergar” os gráficos, principalmente os 3D, o que dificulta o entendimento do cálculo das integrais.
Aluno5: Muito conteúdo para pouco tempo, isso torna a matéria muito corrida.

Aluno6: As monitorias são muito vagas, esse tempo poderia ser mais bem aproveitado.
Aluno7: Não há nada que eu pude observar.
Aluno8: A matéria é difícil, não existem falhas no ensino.
Aluno9: As turmas de monitoria poderiam ser menores para facilitar o aprendizado dos alunos.
Aluno10: Nenhuma falha de acordo com minhas observações.

Há algum de preconceito estabelecido pela turma com disciplina?
Aluno1: Não que eu tenha conhecimento.
Aluno2: Não.
Aluno3: Em minha opinião, não.
Aluno4: Não que eu saiba.
Aluno5: Sim, antes de saber do que se tratam os alunos já tem medo das integrais.
Aluno6: Não.
Aluno7: Não há.
Aluno8: Não.
Aluno9: Não.
Aluno10: Acredito que não.

O que falta pra melhorar o seu entendimento da matéria?
Aluno1: Não é possível alguém entender cem por cento da matéria, sempre fica alguma coisa, porém o que falta é só um pouco mais de estudo.
Aluno2: Como já havia dito. Falta de base é o que mais prejudica.
Aluno3: Não falta nada, pois o Inatel fornece ao aluno todo tipo de ajuda disponível.
Aluno4: Maior dedicação por parte dos alunos.
Aluno5: Nada.
Aluno6: O Inatel é muito bem equipado com livros e bons professores, o que falta é mais concentração e dedicação dos alunos.
Aluno7: Talvez se usassem os projetores para fazer simulações seria mais bem aproveitado do que só para apresentações de slides.
Aluno8: Nada.
Aluno9: Não falta nada.
Aluno10: base em matemática.

Qual a maior dificuldade encontrada na disciplina?
Aluno1: A falta de conceitos básicos no ensino médio e fundamental
Aluno2: A dificuldade das provas superior aos exercícios cobrados na sala de aula.
Aluno3: complicações em relação às falhas do ensino médio e fundamental.
Aluno4: Provas.
Aluno5: As matérias básicas para o entendimento do cálculo.
Aluno6: Falta de base em matemática.
Aluno7: Gráficos e funções.
Aluno8: Ter disposição para estudar todos os dias.
Aluno9: Entender a definição de integral e derivada, e as aplicações.
Aluno10: Não saber certos conceitos que deveriam ter sido aprendidos no ensino médio.

Qual o seu objetivo ao entender melhor o calculo?
Aluno1: ter um bom rendimento nos próximos períodos escolares.
Aluno2: Concluir a disciplina.
Aluno3: Formar-me Engenheiro, pois não e possível fazer engenharia sem saber calculo.
Aluno4: Aprender a calcular diferentes integrais.
Aluno5: Formar-me.
Aluno6: Terminar a matéria de forma proveitosa.
Aluno7: Saber as aplicações do uso das integrais.
Aluno8: Conseguir uma formação adequada para quando em ambiente de trabalho me sair bem.
Aluno9: Ser um engenheiro de sucesso.
Aluno10: Conseguir um bom aproveitamento, tanto escolar quanto no mercado de trabalho.

Qual a sua sugestão para melhor entendimento da disciplina?
Aluno1: Mais horários de atendimento, disponibilização de monitores para auxiliar quando as provas estão próximas (eu não sei se já tem isso). Livros autoexplicativos.
Aluno2: Estudar a base de calculo para se sair bem.
Aluno3: As monitorias deveriam ser melhores ministradas, com conteúdos programados ajudando todos os alunos que iniciam o curso de engenharia.
Aluno4: Se possível dividir mais os conteúdos.
Aluno5: Gastar mais tempo resolvendo exercícios.
Aluno6: Exercícios para entregar, que além de ajudar no entendimento, ajuda na nota.
Aluno7: Como disse antes, usar os projetores para fazer simulações e aplicações seria mais bem aproveitado do que só para apresentações de slides.
Aluno8: O nivelamento poderia rever conceitos mais básicos.
Aluno9: Perto das provas um horário de atendimento maior.
Aluno10: Mais tempo para revisão dos conceitos básicos (teoricamente visto no ensino médio).

VI. Análise Geral

A nossa pesquisa mostrou que a maior dificuldade foi o pouco conhecimento de matemática visto nas escolas do ensino médio. Todos concordaram que falta muito conceito básico para o aprendizado das integrais. Várias sugestões foram dadas pelos alunos, mas a que mais chamou nossa atenção foi opção de mostrar aplicações para as integrais, isso aumenta o interesse dos alunos e também facilita a aprendizagem. Ao descobrir o porquê de estudar cálculo, os alunos teriam uma motivação para aprender como calcular e usar as integrais. A aplicação que iremos estudar será o cálculo de áreas e volumes. Faremos com que o cálculo fique mais interessante para os alunos de engenharia, vamos usar os softwares para mostra ao aluno como fazer o cálculo de áreas e volumes.

VII. Softwares na compreensão de áreas e volumes de integrais

O aumento do número de softwares para auxílio das disciplinas, principalmente no ensino de engenharia, traz inúmeros benefícios para o professor e para o aluno e servem

para aprendizagem, que pode ser desencadeada pela metodologia utilizada pelo professor, que geralmente é a aula expositiva. Os softwares exercem grande influência no desenvolvimento intelectual dos alunos, permite que o aluno interaja com o computador e visualize o resultado dessa interação. No caso do cálculo de áreas e volumes, ele irá apresentar as soluções e mostrar através de gráfico a área e o sólido obtido. Existem inúmeros softwares matemáticos, alguns de domínio público e outros com direitos autorais, que podem ser utilizados na disciplina de Cálculo.
Vamos utilizar o MATLAB que é um software simples, tem fácil acesso e permite construir gráficos bidimensionais e tridimensionais, manipula expressões simbólicas e numéricas, incluindo integração. Essas possibilidades, em conjunto com o fato de ser de domínio público, tornam o MATLAB uma ferramenta muito interessante no ensino e aprendizagem de Cálculo de áreas e volumes. Outra ferramenta pode ser utilizada qual o método é o mesmo do MATLAB, é o SCILAB uma ferramenta grátis, que usa os mesmos princípios do MATLAB.

A. Apresentação de MATLAB

Introdução: MATLAB é um software inteligente para cálculos científicos e de engenharia. Foi criado no fim dos anos 70 por Cleve Moler, então presidente do departamento de ciências de computação da Universidade do Novo México. O MATLAB é um sistema interativo cujo elemento básico de informação é uma matriz que não requer dimensionamento. Esse sistema permite a resolução de muitos problemas numéricos em apenas uma fração do tempo que se gastaria para escrever um programa semelhante em linguagem Fortran, Basic ou C. Além disso, as soluções dos problemas são expressas no MATLAB quase exatamente como elas são escritas matematicamente.
Porque usaremos MATLAB? Amplas bibliotecas de funções predefinidas. Fácil acesso as funções.
Comandos básicos:
Who: lista de variáveis;
Clc: Limpa tela;
Clf: limpa figura atual;
Clear: apaga variáveis do Workspace;
Help: ajuda do MATLAB;
Close all: fecha as janelas de figura aberta;
[;] no final do comando, executa, mas não mostra o resultado.
[%] indica comentário
Variáveis:
O MATLAB é case sensitive. (variável A diferente de a)
Caso não ser forneça um nome da variável de atribuição, o MATLAB cria uma variável com o nome de ans.
Se a variável já existe o MATLAB armazena a última atribuição feita.
Deve-se evitar dar os nomes as variáveis iguais ao dos comandos internos do MATLAB.
O nome da variável deve começar com uma letra e não pode conter espaços nem caracteres especiais.
Integrais Numéricas:
Antes de calcular as integrais deve-se criar um arquivo do tipo m-file, seguindo os passos abaixo:
Abrir o editor de texto, clicando no “new m-file”;
Ao abrir o editor crie uma função, como no exemplo da Fig. 1.
function: Cria uma função.
end: Termino da função criada

```
1    function z = funcao(x)
2 -    z= sin(2*x)+cos(4*x);
3
4 -  end
```

Fig. 1. Exemplo de criação de função

Obs: criou-se uma variável “z” que recebe uma função de “x” Para z igual à função que será analisada pelo comando da integral.
Salve a função, com a extensão .m .
Abaixo segue exemplos de cálculos de integrais usando o MATLAB, mostrando assim os comandos para a realização das integrais definidas.

Comandos:

quad: avaliação de integral numérica(método ordem baixa)
Exemplo de cálculo de integral de uma função, usando o método de ordem baixa, para a função definida acima na Fig.1 {f(x) = sen(2x) + cós(4x)}, no intervalo de integração entre 0 e 2:
Integral de “funcao(x) = sin(2*x)+cos(4*x) “ entre 0 e 2, criada acima.

```
>> resultado = quad('funcao',0,2)

resultado =

    1.0742
```

Fig. 2. Cálculo de uma integral numérica.

Obs.: Resultado é uma variável qualquer criada pelo usuário do programa para receber o valor calculado pelo comando quad. Ao colocar ‘funcao’, está se referindo a função criada anteriormente. Depois é mostrado o valor que foi encontrado pelo comando.

quadl: avaliação de integral numérica (método ordem alta)
Exemplo de cálculo da mesma função definida acima, porém utilizando o método ordem alta:

```
>> resultado = quadl('funcao',0,2)

resultado =

    1.0742
```

Fig. 3. Exemplo de uma integral numérica de ordem alta.

dblquad: avaliação de integral numérica dupla.
Sintaxe:
a=dblquad(‘funcao’, xmin, xmax,ymin,ymax)

Exemplo de cálculo de uma Integral dupla da função "f(x,y)=sin(x)+cos(x)", com intervalo de integração em x variando de 0 à 2, e em y entre 0 e 2:

```
>> xmin = 0;
>> xmax = 2;
>> ymin = 0;
>> ymax = 2;
>> a = dblquad('funcao',xmin,xmax,ymin,ymax)

a =

    4.6509
```

Fig. 4. Exemplo de uma integral dupla.

Obs.: Para maior entendimento da sintaxe do comando, foram criadas variáveis com os nomes xmin, xmax, ymin e ymax para receberem os valores do intervalo de integração, assim ao digitar o comando no exemplo fica definido a ordem que deve ser colocada os intervalos de integração de uma integral dupla.

Tlipequad: avaliação de integral tripla.
Sintaxe:
a= tlipequad('funcao',xmin,xmax,ymin,ymax,zmin,zmax)
Exemplo de cálculo de uma Integral tripla da função "f(x,y,z)= sin(x)+cos(x)+z", com intervalos de integração todos entre 0 e 2:

```
>> xmax = 2;
>> xmin = 0;
>> ymax = 2;
>> ymin = 0;
>> zmax = 2;
>> zmin = 0;
>> a = triplequad('funcao',xmin,xmax,ymin,ymax,zmin,zmax)

a =

   17.3018
```

Fig. 5. Exemplo de uma integral tripla.

Para plotar gráficos:
x = -pi:0.01:pi;
xt=0:0.01:2;
yt=função(xt);
plot(x,funcao(x))
hold
area(xt,yt)
Gráfico da integral calculada no exemplo da Fig.2, como se pode observar o MATLAB, é uma ótima ferramenta para a demonstração de gráficos, já que são feitos em escala e com uma precisão maior que se desenhada pelo professor. Onde a variável "x" é o vetor de pontos para serem calculados quando for plotado o gráfico, e "xt" é o intervalo de integração, primeiramente plota-se o gráfico da função há ser analisada, depois hold para manter o gráfico na figura, para então ser marcada a área de integração.

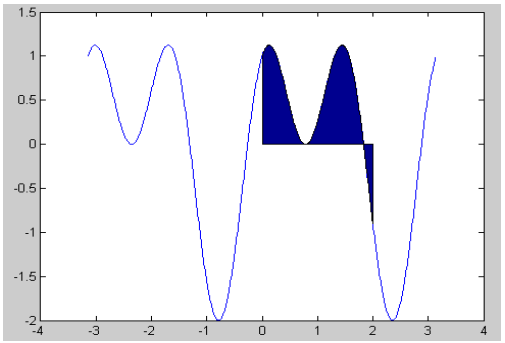


Fig. 6. Gráfico onde marca os limites de integração.

VIII. Aplicação do Software no Estudo das Integrais

Por meio do software foram apresentados os resultados iniciais alcançados com o desenvolvimento no ambiente MATLAB para auxílio à disciplina e na compreensão de áreas e volumes de integrais, facilitando a apresentação do conteúdo teórico das funções básicas e do entendimento mais simples do conteúdo abordado. Deve-se frisar a utilidade de se ter um programa escrito em código aberto e comentado, o que possibilita aos alunos da disciplina aprender diretamente com o uso do programa. Estas características permitem ainda a aprendizagem dos conceitos básicos mesmo pela internet, onde o programa está sendo disponibilizado para o público em geral, difundindo-se assim informações muitas vezes encontradas apenas nos curso Cálculo. O principal interesse desse programa é ampliar o entendimento dos conceitos de integrais de áreas e volumes, por parte dos alunos de engenharia da computação, engenharia elétrica, engenharia biomédica e também outros que utilizam conceitos relacionados. Como objetivo final, deseja-se um software didático que englobe um vasto conteúdo no cálculo de áreas e volumes por integrais.
Sendo assim, a aprendizagem do cálculo de áreas é facilitada se acompanhada pelo uso do software. Mostrando que calcular áreas usando integral é mais fácil que usando os métodos tradicionais aprendidos no ensino médio. O aluno que está cursando os primeiros anos do curso superior estará mais equipado se tiver em mãos e aprender a trabalhar com esse software, que é uma ferramenta dinâmica.

IX. Conclusão

Em nossas pesquisas utilizamos um método de entrevista para obter opiniões de diferentes partes, e ter uma solução que abrangesse todos os problemas relacionados à disciplina. Com isso notamos que a dificuldade dos alunos está na matemática vista no ensino médio e não no cálculo em si. Para diminuir essa falha no ensino do cálculo, vamos propor a utilização de um software já disponível em outras disciplinas e que faz parte da grade curricular dos alunos do INATEL, o MATLAB. Essa ferramenta é para que o professor possa auxiliar os alunos a visualizar a resolução dos exercícios propostos em sala, mostrando a eles o gráfico gerado pela função, os pontos do domínio e outras coisas que o aluno não conseguiu entender no ensino médio. Com isso, podemos melhorar o aprendizado

dos alunos e aumentar o seu interesse para o cálculo, principalmente quando estiverem fazendo os exercícios. Dessa forma, os alunos não desistiriam na menor dificuldade que aparecesse.

Nossas pesquisas mostram também a deficiência do ensino público. Poderia ter mais investimento na educação básica, fundamental e média, para que o aluno venha a ter maior interesse e melhor aprendizado nas disciplinas, principalmente as que estão relacionadas à matemática. De acordo com nossas pesquisas vimos que o melhor aproveitamento dos alunos que fazem cálculo no Ensino Superior são os que vêm do Ensino Privado, sendo assim é muito importante investir na educação do Brasil.

Em pesquisas futuras, acompanhando o avanço tecnológico, podemos desenvolver um software que pode ser utilizado em dispositivos móveis para que os estudantes não fiquem presos à ferramenta computacional, assim tendo uma ferramenta de auxilio e explicação mais detalhada do processo de resolução do cálculo de áreas e de volumes por integrais.

REFERÊNCIAS

[1] Matsumoto, Élia Yathie, “Matlab 6.5: Fundamentos de programação”, 2nd ed. , Ed. Erica, 2003.

[2] FINNEY, Ross. L. et al. Cálculo de George B. Thomas. 10 ed. São Paulo: Addison Wesley, 2005.v.1.

[3] EDWARDS, B. H., HOSTETLER, R. P.,LARSON, R. E.; Cálculo com Geometria Analítica. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 1998.v.1.

[4] ANTON, H. Cálculo: um novo horizonte.6ªed..Porto Alegre: Bookman, 2000.v1

[5] GUIDORIZZI, Hamilton Luiz. Um Curso de Cálculo. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos Editora S. A.,1987. v.1

[6] LEITHOLD, Louis. Cálculo com Geometria Analítica. 3.ª ed. São Paulo: Harbra Ltda., 1994. v.1.

[7] YNOGUTI, CARLOS ALBERTO.,GRIMARARÃES, DAYAN ADIONEL. Disponível: www3.inatel.br/biblioteca/normatizacao-de-trabalhos-academicos/doc_download/5040-04a-modelo-de-artigos-cientificos

[8]Cavasotto,Marcelo.Disponível: http://www.pucrs.br/edipucrs/online/IIImostra/EducacaoemCienciaseMatematica/62352%20-%20MARCELO%20CAVASOTTO.pdf

[9]CÉSAR,TIBÚRCIO.Disponível: http://contabilidadefinanceira.blogspot.com.br/2011/02/o-que-deve-ter-uma-conclusao-de-um.html

Monique Paula Jardim Garcia nasceu em Pouso Alegre, MG, em 15 de junho de 1991. Cursando nono período engenharia elétrica pelo Inatel(previsão de formatura para 2013). Possui os títulos: Técnico em Eletrônica (ETE ``FMC'', 2009), Monitor do Inatel responsável pela disciplina de Introdução a engenharia(2013).

Natan Wender Brandão nasceu em Pouso Alegre, MG, em 21 de novembro de 1990. Cursando o nono período de engenharia da computação pelo Inatel (previsão de formatura para 2013). Possui os títulos: Monitor de artes marciais

Aplicações na Engenharia do Estudo de Funções Desenvolvido no Cálculo Diferencial e Integral I

Flávio Antunes de Siqueira

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
flavioantunes@get.inatel.br

Paulo Cesar Xavier Duarte

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
pcduarte@inatel.br

Mateus de Faria Pereira

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
mateus.pereira@gee.inatel.br

***Abstract* – This paper aims to highlight through examples, some applications in engineering of the study of functions developed in differential and integral calculus I.**

Index Terms – Function, engineering, calculus, applications.

***Resumo* - Este projeto visa destacar, através de alguns exemplos, algumas aplicações na engenharia do estudo de funções desenvolvido no cálculo diferencial e integral I.**

Palavras chave – Função, engenharia, cálculo, aplicações.

I. INTRODUÇÃO

A análise das relações entre as quantidades físicas ou matemáticas é uma das questões mais relevantes desenvolvidas no Cálculo Diferencial e Integral. Essas relações podem ser descritas em formas de tabelas, gráficos, lei de formação, fórmulas ou mesmo por palavras.

Em consonância a isto, o Cálculo procura desenvolver o conceito de função, que é a ideia básica associada a maioria das relações matemáticas ou físicas, independente de como essas são expressas. Associado a essa definição, existem também propriedades que procuram embasar o conceito de função.

Isso posto, convém destacar que o objetivo deste projeto é enumerar algumas aplicações associadas ao estudo de funções desenvolvidos no Cálculo diferencial e Integral [1].

Manuscrito recebido em 03de março de 2013; revisado em 05 de março de 2013

Flávio Antunes de Siqueira(flavioantunes@get.inatel.br) é aluno do 5º período de Engenharia de Telecomunicações no Instituto Nacional de Telecomunicações.

Mateus de Faria Pereira(mateus.pereira@gee.inatel.br) é aluno do 5º período de Engenharia de Telecomunicações no Instituto Nacional de Telecomunicações.

Paulo Cesar Xavier Duarte(pcduarte@inatel.br) pertence ao Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel. Av. João de Camargo, 510 - Santa Rita do Sapucaí - MG - Brasil - 37540-000.

II. ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE FUNÇÃO

Segundo McCallum, uma função é uma regra que aceita certos números como entrada e associa a cada um deles um número de saída definido. O conjunto de todos os números de entrada é chamado de domínio da função e o conjunto de saída resultantes é chamado de imagem da função.

Hoffmann afirma que função é uma regra que associa cada objeto de um conjunto A a um e somente um objeto de um conjunto B.

Já Spiegel diz que função é uma regra que estabelece uma correspondência entre dois conjuntos e que o conjunto de valores que x pode assumir é chamado domínio da função, onde x é a variável independente e y a função, ou variável dependente. Afirma que se a cada valor de x do domínio corresponde um único valor de y, a função diz-se unívoca. Destaca também que o gráfico de uma função definida por y=f(x) é uma representação pictórica da função e pode ser obtido através da demarcação de pontos num sistema cartesiano de coordenadas retangulares, onde os pontos são dados pelos pares de números x e y. Sobre os tipos de funções, Spiegel classifica as funções como polinomiais, algébrica e transcendente, sendo que as funções exponenciais, as logarítmicas, as trigonométricas, as trigonométrica inversas, as hiperbólicas e as hiperbólicas inversas, são denominadas como transcendentes especiais[3].

III. DESENVOLVIMENTO

Isso posto, podemos destacar que o estudo de funções é fundamental em matemática. No quotidiano, sempre dizemos frases como, o preço do combustível é dado em função da cotação internacional do petróleo ou mesmo que o índice de glicose de um paciente é dado em função do nível de açúcar ingerido por este.. Tais afirmações indicam que a palavra função expressa a ideia de que o conhecimento de um fato nos leva associar isto a outro fato. Nessa linha de pensamento, podemos frisar que essencialmente em matemática, as funções importantes são aquelas que o conhecimento de números nos leva a outros números, por exemplo, se conhecermos o raio de uma esfera, teremos a área de sua superfície bem como também o seu volume [4].

Após essas considerações, passaremos a citar, baseados em Hoffmann, algumas aplicações do estudo de funções desenvolvidas no Cálculo Diferencial e Integral I, em algumas áreas do conhecimento e em especial, na engenharia.

Vejamos:

Custo de fabricação: Suponha que o custo de fabricação de x unidades de um produto seja dado pela função $C(x)=x^3-30x^2+400x+500$. Determine o custo de fabricação de 100 unidades deste produto.

Eficiência de operários: Um estudo sobre a eficiência de operários de certa indústria indica que um operário que chega ao trabalho as 07 00 da manhã, terá montado, t horas após, $f(t)= -t^3+6t^2+ 15t$ aparelhos eletrônicos. Quantos desses aparelhos o operário terá montado às 11 horas da manhã?

Mudança de temperatura: Suponha que as y horas da madrugada, a temperatura em certa cidade fosse de $T(y)= \frac{1}{3}y^2+4y+ 10$ graus Celsius. Qual a temperatura dessa cidade às 15 horas?

Crescimento populacional: Estima-se que a população de certo bairro de um município daqui a z anos, será dada por $P(z)= 40- \frac{2}{z+1}$ milhares. Qual a população daqui a 10 anos desse bairro?

Psicologia experimental: Para estudar a taxa do nível de aprendizagem dos animais, um grupo de estudantes de psicologia fez uma experiência na qual uma cobaia era enviada repetidamente, através de um labirinto. Os estudantes notaram que o tempo requerido para a cobaia percorrer o labirinto, na n - ésima tentativa era de $f(x)= 4 + \frac{10}{x}$ minutos. Qual o domínio dessa função e para quais valores de x, no contexto do problema, f(x) possui significado?

Custo de distribuição: Estima-se que o número necessário de funcionários-hora para distribuir catálogos de telefone novos entre x por cento de moradores num certo bairro seja dado pela função $f(x)=\frac{500x}{400-x}$, determine o domínio dessa função e quantos funcionários são necessários para distribuir catálogos novos entre os primeiros 20% dos moradores.

Imunização: Durante um programa de imunização da população, contra uma doença infecciosa, representantes do Ministério da Saúde, constataram que o custo da vacinação de x por cento da população era de, aproximadamente, $f(x)=\frac{140x}{220-x}$ milhões de reais. Pede-se o domínio dessa função e qual o custo para que os primeiros 50% da população seja vacinada?

Velocidade de um objeto móvel: Uma bola foi jogada de cima de um prédio. A altura dessa bola, em metros, é dada depois de t segundos, pela função $H(t)= -15t^2 + 225$. Determine a altura dessa bola depois de 4 segundos e o tempo em que a mesma atingirá o chão [2].

Assim, através de exemplos, como os acima, podemos verificar a aplicabilidade do estudo de funções nas diversas áreas do quotidiano, em especial, na engenharia

IV. CONCLUSÕES

Sem dúvida alguma, podemos afirmar que o estudo de funções é considerado um dos assuntos mais importantes da Matemática e que seus aspectos básicos estão presentes desde fatos mais simples, como em processos elementares de contagem, bem como em problemas de engenharia.

Pelos exemplos citados neste artigo, notamos a variedade de aplicações utilizadas nas diversas áreas da engenharia, desde o custo de fabricação, a eficiência de operários, o controle de temperatura, o crescimento populacional, a psicologia experimental, o custo de distribuição, a imunização, passando até pelo cálculo da altura de queda de um objeto.

Sendo assim, destacamos a importância de se estudar e aplicar os conceitos bem como as propriedades das funções, devido sua aplicabilidade deste estudo na engenharia

V. REFERÊNCIAS

[1] ANTON, H. Cálculo: um novo horizonte. 6ªed. Porto Alegre: Bookman, 2000, v1.

[2] HOFFMANN, L. D. Cálculo: um curso moderno e suas aplicações. Rio de Janeiro: LTC, 1986.

[3] SPIEGEL, M. R. Cálculo Avançado. São Paulo. Mc Graw Hill do Brasil, 1974

[4] UGHES, H; GLEASON; McCALLUM Cálculo de uma variável. Rio de Janeiro: LTC, 2004