

# XXX CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO INATEL - 04 A 06 DE JUNHO DE 2018

ISSN 2359-6457

REALIZE

A large, detailed portrait of Isaac Newton, showing him from the chest up. He has long, wavy, light-colored hair and is wearing a dark blue or black robe with a white cravat. He is looking slightly to the right of the viewer with a serious expression. The background is dark and indistinct.

# Incitel

*Congresso de Iniciação Científica do Inatel*

"Nenhuma grande descoberta  
foi feita jamais sem um palpite  
ousado."

*Isaac Newton*

"Isaac Newton, pai da Física  
Moderna e criador da lei de  
gravitação universal."

Apoio:



Realização:

# Inatel

I373

Incitel 2018 – Congresso de Iniciação Científica do Inatel (2018: Santa Rita do Sapucaí)

Anais do Congresso de Iniciação Científica do Inatel – Incitel, 04 a 06 maio 2018, Santa Rita do Sapucaí, Minas Gerais, Brasil. Publicado por Rosanna Mara Rocha Silveira (Org.). – Santa Rita do Sapucaí: Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL, 2018.

Modo de acesso: <http://www.inatel.br/incitel/anais-incitel> (Anual)  
ISSN 2359-6457

270 p. il.

1. Engenharia – I. Título. II. SILVEIRA, Rosanna Mara Rocha. III. Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL.

CDU – 621

Ficha Elaborada pelo Bibliotecário da Instituição  
Paulo Eduardo de Almeida CRB6-2718

#### **Catálogo Sistemático**

Engenharia Biomédica	CDU – 57.089
Engenharia da Computação	CDU – 62
Engenharia de Telecomunicações	CDU – 621.39
Engenharia de Controle e Automação	CDU – 681.5
Empreendedorismo	CDU – 658.3


## **Mensagem da Coordenação**

É com grande satisfação que recebemos vocês, jovens pesquisadores, aqui no Inatel, para o Incitel 2018. Este encontro tem como principal objetivo a troca de ideias, informações e experiências, nas diversas áreas da ciência.

Esperamos também que possamos, nestes dias de convívio, fazer novos amigos e novos contatos.

A organização de um congresso é bastante trabalhosa e, portanto, gostaria de agradecer à aluna Laís de Souza pelo enorme esforço dedicado a este projeto.

Desejo a todos um ótimo congresso e, para aqueles que não são moradores da cidade, uma excelente estadia em Santa Rita do Sapucaí.



**Prof.<sup>a</sup> Rosanna Mara Rocha Silveira**  
**Coordenadora Geral – Incitel 2018**

## SESSÕES

### Sessão Técnica I - Biomédica I

**Captação de sinais eletromiográficos para acionamento de dispositivos de locomoção e movimento.....1**

Ingrid Alves de Paiva Barbosa, Luma Rissatti Borges do Prado, Profa. Elisa Renno Carneiro Dester, Prof. Yvo Marcelo Chiaradia Masseli e Rani de Souza Alves.

**Fonte universal de corrente elétrica para aplicação em iontoforese.....5**

Prof. Giovanni Henrique Faria Floriano, Mirela Eduarda Custódio e Nayara Dias Pereira.

**Protótipo de Eletrocardiograma utilizando a plataforma Arduino e amplificadores operacionais.....11**

Adam Johny da Mota, Gabriela Ribeiro Lopes, Mayara Maria Braga Gomes e Prof. Carlos Augusto Rocha.

### Sessão Técnica II - Computação I

**CodeTroopers: Uma proposta lúdica para ensino de conceitos de programação.....16**

Adriene Zilda Corrêa Magalhães, Lucas Sales de Oliveira Almeida e Prof. Renzo Paranaíba Mesquita.

**Desenvolvimento de ferramenta computacional interativa para aprendizado sobre o microcontrolador MSP430.....22**

Edson Laurindo Marques, Leonardo Siqueira Castilho e Profa. Ana Letícia Gomes Gonçalves.

**“Piratas do Futuro” - Uma Ferramenta de Gamificação para o Ensino de Algoritmos e Programação.....25**

Profa. Rosimara Beatriz Arci Salgado, Prof. Carlos Alberto Ynoguti, Jonas Vilasbôas. Moreira e Lucas Riboli Freire.



### **Sessão técnica III - Controle e Automação I**

<b>Arduino Challenge.....</b>	<b>30</b>
Alessandra Carolina Domiciano, Ana Flávia de Almeida, Bruno Roque Gozo, Eliza Aparecida Crisóstomo Reis, Luan Vilela Bertolucci e Rodolfo Fernandes Becker.	
<b>Construção de impressora 3d com plataforma arduino.....</b>	<b>33</b>
Baltazar J. Ribeiro e Ítalo Eluezer Rodrigues Vicente.	
<b>Desenvolvimento de interface android para controle manual e monitoramento de robôs autônomos.....</b>	<b>38</b>
Felipe Domingos Argenton Gaglietti, Marconi Januario, Kleyton Hoffman e Renato Scortegagna.	

### **Sessão Técnica IV - Telecomunicações I**

<b>A Comparative Study Between LPWAN's LoRa and SigFox Protocols.....</b>	<b>42</b>
Guilherme G. L. Ribeiro, Luan F. de Lima, Luiz Oliveira e Prof. Joel J. P. C. Rodrigues.	
<b>Estudo dos Canais de Comunicação Rádio-Móvel.....</b>	<b>46</b>
Maria Virgínia Silva Magalhães e Prof. Rausley Adriano Amaral de Souza.	
<b>Sensoriamento Espectral em Canais de Desvanecimento Utilizando Detector de Energia.....</b>	<b>52</b>
Maria Virgínia Silva Magalhães e Prof. Rausley Adriano Amaral de Souza.	

## **Sessão Técnica V - Controle e Automação II**

**Sistema Inteligente Aplicado a Robôs Para Otimização de Processos Industriais.....58**  
Prof. Alexandre Baratella Lugli, Prof. Egídio Raimundo Neto, Gabriel Augusto Melo, Leonardo Eufrazio Nogueira, Lucas Reis Veiga Dias e Thalís Andrade Oliveira de Souza.

**Sistemas Robóticos para Otimização dos Processos Industriais.....64**  
Prof. Alexandre Baratella Lugli, Prof. Egídio Raimundo Neto, Lucas de Oliveira Saldanha, Luiz Felipe Pereira Duarte, Lais de Souza, Mario Eduardo Camargo de Lima, Thales Eduardo Lima Castro e Prof. Wanderson Eleutério Saldanha.

**Sistemas Inteligentes Aplicados para Otimização dos Processos Industriais.....68**  
Prof. Alexandre Baratella Lugli, Prof. Egídio Raimundo Neto, Drauzio Ramos Oppenheimer, Felipe Silva Bastos, Mylena Stefânia Silveira Rocha, Nicole Escobar Alves, Nixon Teixeira e Prof. Wanderson Eleutério Saldanha.

**Técnica de Inteligência Artificial Aplicada a Sistemas Robóticos para Otimização dos Processos Industriais.....73**  
Prof. Alexandre Baratella Lugli, Prof. Egídio Raimundo Neto, João Paulo Martins Semensato, José Vitor Santos Resende, Maria Clara Nascimento Costa, Mariana Helena Inês Moreira, Manoela Folquito Jorge Miziara e Wanderson Eleutério Saldanha.

## **Sessão Técnica VI - Computação II**

**Board is Under Attack: Proposta de jogo que auxilia na aprendizagem de eletrônica computacional.....78**  
Fernanda Carneiro Avelar, Lucas de Paiva Rosa Gaspar e Prof. Renzo Paranaíba Mesquita.

**Estudo do aquecimento de um Raspberry Pi 3 em manipulação de imagem e implementação de sistema térmico.....84**  
Daniel Rodrigues Ferraz Izario, Yuzo Iano, Bruno Rodrigues Ferras Izario e Prof. Carlos Nazareth Motta Marins.

**Sistema de alerta para automóveis: acidente, furto e sequestro.....89**  
Anderson José Costa Sena, Deuzimar Carvalho de Menezes Junior, Gustavo Henrique dos Santos Carvalho e Maurício Santos da Costa.

**Validação de experiência indoor para redes 5G através de simulações utilizando o software Winprop.....93**  
Prof. Dr. Arismar Cerqueira Sodré Júnior e Maria Aline Magalhães Julidori.

## **Sessão Técnica VII - Biomédica II**

**Bisturi Elétrico e Interferência Eletromagnética.....**96  
Samuel José do Couto, Taíssa Fernandes Carvalho, Rani de Souza Alves e Prof. Carlos Nazareth Motta Marins.

**Traceability and Control in Biomedical Devices.....**100  
Wesley Silva Magalhães e Prof. Francisco Eduardo de Carvalho Costa.

**Válvula solenoide proporcional aplicada no equipamento de sedação consciente.....**106  
Maria Aparecida Braga Floriano, Monalisa Conceição Silva, Paulo Vlady Mendes e Rani de Souza Alves.

## **Sessão Técnica VIII - Controle e Automação III**

**Estudo de Técnicas para Detecção e Classificação de Falhas em Redes Industriais.....**110  
Roger William Ribeiro Carneiro e Prof. Egídio Raimundo Neto.

**Redes industriais, vantagens e versatilidades do padrão PROFINET.....**114  
Prof. Egídio Raimundo Neto, Luiz Felipe Pereira Duarte e Marcelo Augusto Vilas Boas.

**Sistema de Monitoramento da Irrigação de Cana de Açúcar Utilizando Ethernet e Banco de Dados.....**120  
Caio Castro Rodrigues, Daniel Felipe Cardoso Pereira de Almeida, João Vitor Natal Silva Quincó Maciel, Nilcilene Branquinho da Silva e Paulo Henrique Lisboa Pinheiro.

## **Sessão técnica IX - Telecomunicações II**

**Estudo do uso da conexão por HTTPS para fazer a transmissão do streaming.....**125  
Leonardo Borges Faria de Oliveira, Vinícius Pereira Silva e Prof. Carlos Augusto Rocha.

**Implementação de Sensoriamento Espectral para Sinais ISDBTb.....**130  
Ana Carolina Vivian dos Reis, Prof. Dayan Adionel Guimarães, Rafaela R. Santos e Prof. Guilherme Pedro Aquino.

**Reforçador de RF para Drones Baseado em Arranjo de Antenas Monopolo.....**136  
Letícia Duarte Bernardes e Prof. Dr. Arismar Cerqueira Sodré Júnior.

## **Sessão Técnica X - Telecomunicações III**

**Cálculo semi-analítico da dispersão cromática de uma fibra de cristal fotônico.....**139  
Fabiana Oliveira Fagundes e Prof. Ph.D. Felipe Beltrán Mejía.

**Propriedades magnéticas e suas aplicações na engenharia.....**141  
Felipe Sales Pinto.

**Um Sistema de Localização Indoor baseado em Bluetooth.....**146  
Filipe M. Ribeiro, Mauro Sérgio M. Pereira e Prof. Carlos A. Ynoguti.

## **Sessão Técnica XI - Computação III**

**Accessibility: Efetividade no Acesso a vagas reservadas.....**149  
Carlos Bryan Andrade de Paiva, João Paulo Prado Rosa, Lucas Eduardo M. da Silva, Rodrigo Henrique Maciel de Assis e Prof. Guilherme A. Barucke Marcondes.

**Desenvolvimento de interface gráfica para jogo de reabilitação de membro superior.....**154  
Gabriel Luiz da Silva, Pedro Henrique Carvalho Alves, Rani de Souza Alves e Prof. Rinaldo Duarte Teixeira de Carvalho.

**Implementação de um Ponto de Acesso Personalizável com a Utilização de um Single Board Computer para Estabelecimentos Comerciais.....**157  
Maicon Gaburo dos Santos e Everson Scherrer Borges.

**Técnicas para segurança em aplicações web - baseado em message-digest algorithm.....**162  
Daniel Rodrigues Ferraz Izario, Yuzo Iano, Bruno Rodrigues Ferraz Izario e Prof. Carlos Nazareth Motta Marins.

## **Sessão Técnica XII - Controle e Automação IV**

**Análise e Comparação dos Métodos de Sintonia de Controladores PID.....167**  
Prof. Egídio Raimundo Neto e Marcelo Augusto Vilas Boas.

**Desenvolvimento de um Controlador Fuzzy utilizando CLP.....173**  
Ana Carolina Daniel Silvério, Daiane Aparecida Rosa Batista e Prof. João Paulo Carvalho Henriques.

**Desenvolvimento de uma planta de controle de posição e velocidade.....178**  
Bruno Moreira Fernandes Mendes e Prof. João Paulo Carvalho Henriques.

**Projeto Otimizado dos Elementos de Filtro e Semicondutores do Circuito de Potência do Conversor Boost CC/CC.....182**  
Alexandre Rodrigues Vaz e Yan Ambrósio de Oliveira.

## **Sessão técnica XIII - Controle e Automação V**

**Automatização de Braço Robótico para Coleta em Corpos Hídricos com Contaminantes Nocivos à Saúde Humana.....188**  
Jussiléa Gurjão de Figueiredo, Louise Aimée Reis Guimarães e Ylan Dahan Benoliel Silva.

**Mobilidade auxiliada por sensores de movimento.....193**  
Christian Vitor Vilas Boas, Isaias Marrane Rosa e Renan Bastos dos Santos.

**Tecnologia Adaptativa em Aparelhos Domésticos.....196**  
Edson Minoru Yamazaki, Henrique Junji Skirakawa, Hernani Bernardo Marques e Prof. Dr. Antonio C. C. Migliano.



## **Sessão Técnica XIV - Computação IV**

**Acionamento remoto de equipamentos via comando de voz.....199**  
Rafaela Braga Moreira, Daniel Luiz Lopes Magri, Micael Lucas Rezende de Souza e Prof. Carlos Alberto Ynoguti.

**Implementação de um sistema de navegação autônoma para robôs móveis.....203**  
Daniel Liz Fonseca Castro Borges, Prof. Wander Wilson Chaves, Wesley Miguel dos Santos Peixoto e Prof. Carlos Alberto Ynoguti.

**Sistema de Monitoramento e Análise de Dados do Ar-Condicionado por Tecnologia Iot.....209**  
João Leonardo Andrade Morganti Silva, Matheus Tenório Resende Ricaldoni e Prof. Carlos Alberto Ynoguti.

**Visão geral da tecnologia Bluetooth 5.....214**  
Joice Caroline Felix, Vitor Rodrigues Di Toro, Prof. Carlos Albeto Ynoguti e Daniel Mazzer.

## **Sessão técnica XV - Telecomunicações IV**

**Controle da Topologia de Redes de Sensores sem Fio para Otimização do Consumo de Energia.....220**  
Izabela Gomes Tardioli, Prof. Edielson Prezato Frigieri, Prof. Antonio Alves Ferreira Junior e Profa. Rosimara Beatriz Arci Salgado.

**Estudo e aplicação de dispositivos para administrar minicursos de IoT.....224**  
Bruno Pereira Garcia Caputo, Prof. Carlos Alberto Ynoguti e Rafaela Monteiro Terra.

**Redes de Sensores Sem Fio aplicadas no combate de incêndios florestais.....227**  
Tarcisio Gregório Bernardo de Belo e Evandro Luís Brandão Gomes.

**Teste em escala da arquitetura NovaGenesis.....233**  
Gabriel Henrique Coutinho Cândido, Prof. Antônio Marcos Alberti, Elcio Carlos do Rosário, Vagner José Magalhães, Gabriel Dias Scarpioni e Everton Moraes.

## **Sessão Técnica XVI - Biomédica III**

### **Cicloergômetro adaptado para atividade física durante tratamento hemodialítico.....238**

Amanda Danielly Pereira, Anderson André Palma, Angélica Aparecida Braga, Rani Souza Alves e Profa. Elisa Rennó Carneiro Dester.

### **Desenvolvimento e sintetização da hidroxiapatita para utilização em impressora 3D.....242**

Bruna Goulart Rotella e João Paulo Silva Liguori.

### **Recuperação de metais de placas de circuito impresso por lixiviação Projeto Metallum.....245**

Gabriel Magalhães Garcia, Gabriel Resende Sandy, Leonardo Brandão Costa, Luiz Felipe Lopes Oliveira e Prof. Francisco Eduardo de Carvalho Costa.

## **Sessão Técnica XVII - Controle e Automação VI**

### **Aplicação de arranjos de Halbach em robô autônomo.....248**

Liliana Vigolo, Kleyton Hoffmann, Marconi Januario e Renato Scortegagna.

### **Sistema conversor de energias maremotriz.....252**

Andreza Augusto, Johadson Franco Dórea e Vinícius Ardachnikoff R. de Moraes.

### **Uma Proposta de Estudo da Utilização de Painéis Solares nas Janelas dos Edifícios.....257**

Nixon Teixeira e Prof. Egidio Raimundo Neto.

# Captação de sinais eletromiográficos para acionamento de dispositivos de locomoção e movimento

Ingrid Alves de Paiva Barbosa  
Inatel  
ingridbarbosa@gea.inatel.br

Luma Rissatti Borges do Prado  
Inatel  
lumarissatti@gea.inatel.br

Elisa Rennó Carneiro Dester  
Inatel  
elisa.renno@inatel.br

Yvo Marcelo Chiaradia Masseli  
Inatel  
yvo@inatel.br

Rani de Souza Alves  
Inatel  
rani@inatel.br

**Abstract**—This paper will present the study and development of an electromyographic signal capture circuit based on amplifiers and filters. From this circuit will be developed a control system of locomotion and movement devices, which will assist individuals who have suffered partial or total loss of limb movements and who are unable to control devices such as wheelchairs and hand prostheses.

**Index Terms**—Amplifier and filter, Rehabilitation, Surface electromyography

**Resumo**—Será apresentado neste artigo o estudo e desenvolvimento de um circuito de captação de sinais eletromiográficos baseado em amplificadores e filtros. A partir desse circuito será desenvolvido um sistema de controle de dispositivos de locomoção e movimento, que assistirá indivíduos que sofreram perda parcial ou total dos movimentos dos membros e que são incapazes de controlar dispositivos como cadeiras de rodas e próteses de mão.

**Palavras chave**—Amplificador e filtro, Eletromiografia de superfície, Reabilitação

## I. INTRODUÇÃO

A eletromiografia (EMG) é uma técnica de detecção, aquisição, análise, processamento, estudo e uso do sinal elétrico proveniente dos músculos [1]. Inicialmente, ela foi utilizada para fins de pesquisa e diagnóstico, entretanto a evolução tecnológica da eletrônica permitiu que a eletromiografia passasse a ser usada na área da reabilitação.

O sinal eletromiográfico é a soma algébrica de todos os sinais detectados no tecido muscular ativo, podendo ser alterado por propriedades musculares, anatômicas e fisiológicas, pelo controle do sistema nervoso periférico e até mesmo por fatores externos como a instrumentação utilizada para a aquisição dos sinais [2]. Através dessas alterações, é possível usar o sinal eletromiográfico para ajudar indivíduos que perderam a função de algum membro, mas que ainda possuem a capacidade de alterar intencionalmente o sinal proveniente do músculo.

A perda parcial ou total dos movimentos acarreta transtornos tanto profissionais quanto pessoais e por isso diversas medidas vêm sendo tomadas para melhorar a acessibilidade

das pessoas com deficiência, como rampas de acesso, guias rebaixadas e braços mecânicos [3]. Ainda que isso minimize as dificuldades enfrentadas, não atende os indivíduos que sequer conseguem impulsionar uma cadeira de rodas ou controlar uma prótese, por exemplo.

Através da captação de sinais eletromiográficos é possível desenvolver soluções que permitam o controle de dispositivos, como cadeira de rodas, exoesqueletos ou próteses, a partir do movimento de contração e relaxamento dos músculos que não estão afetados, propiciando mais autonomia às pessoas com deficiência.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de circuito de captação de sinais eletromiográficos para o controle de dispositivos de locomoção e movimento, como cadeiras de rodas, próteses e exoesqueletos.

## II. METODOLOGIA

Deu-se início a execução do projeto realizando a montagem do circuito de captação na protoboard e em seguida, foi desenvolvida a placa de circuito impresso (PCI), na plataforma Eagle.

Na Figura 1, E1 e E2 são as entradas dos sinais dos eletrodos, REF é o eletrodo de referência. Os demais componentes são capacitores, resistores e circuitos integrados (CIs) que compõem o circuito de captação do sinal eletromiográfico.

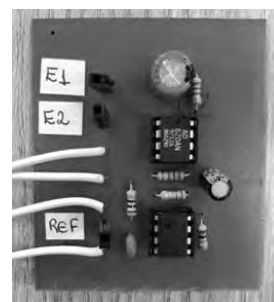


Fig. 1. Placa de circuito impresso

Esse sinal possui variações de amplitude, podendo chegar à 10 mV de pico-a-pico com o músculo contraído. Já a frequência do sinal varia de 6 a 500 Hz, com a maior potência localizada na faixa de 20 a 150 Hz [3]. Por isso, a obtenção de um sinal eletromiográfico adequado para ser processado por um microcontrolador e posteriormente controlar dispositivos depende da realização da captação através de eletrodos, e em seguida da amplificação e filtragem do sinal. O diagrama em blocos, apresentado na Figura 2 ilustra os estágios do projeto.



Fig. 2. Diagrama em blocos

A captação do sinal EMG é feita por eletrodos posicionados na linha média do ventre muscular, entre o ponto motor e a junção miotendinosa, com a superfície de detecção orientada no sentido das suas fibras, de acordo com a recomendação de De Luca [5]. Foram usados eletrodos de superfície de Ag/AgCl fabricados pela Covidien Kendall, pelo método não invasivo. A conexão entre os eletrodos e o circuito de captação utiliza cabos blindados a fim de reduzir o ruído.

Inicialmente, foram utilizados geradores de sinais simulando os sinais eletromiográficos, e posteriormente, substituiu-se os geradores por eletrodos.

Para realizar os testes com os eletrodos, aplicou-se álcool etílico hidratado 70° INPM (álcool 70) no braço da autora, antes da fixação dos eletrodos, a fim de diminuir a impedância da pele. Em seguida, dois eletrodos foram fixados no músculo bíceps braquial e um eletrodo de referência foi fixado no osso olécrano (cotovelo) de uma das autoras do projeto, do sexo feminino, 19 anos, com índice de massa corporal igual a 19,2 e sem doenças neurológicas. No momento da captação, a autora encontrava-se sentada, em repouso, com o cotovelo flexionado a 90° sem apoio e exerceu uma força em sentido contrário a um objeto, conforme apresentado na Figura 3.



Fig. 3. Eletrodos de superfície fixados no bíceps braquial para o teste do circuito de captação

Depois de captado pelos eletrodos, o sinal é enviado ao circuito eletrônico, que se baseia no uso de amplificadores diferenciais e filtros analógicos, conforme o esquema elétrico da Figura 4, que foi aperfeiçoado a partir de um trabalho dos autores Diego Barion e Marília Dourado [4].

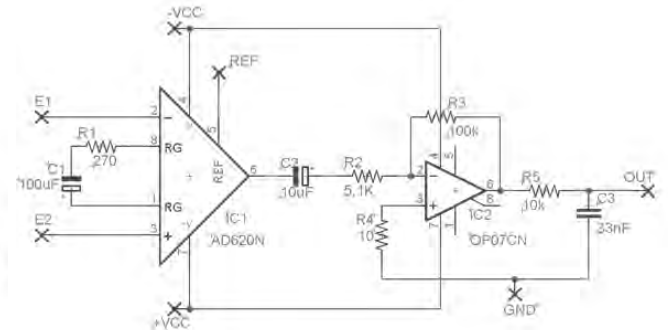


Fig. 4. Esquema elétrico utilizado para o desenvolvimento do projeto

O circuito foi composto de um pré-amplificador, um amplificador principal, um filtro passa-alta e um filtro passa-baixa, para reduzir ruídos e amplificar o sinal para facilitar a leitura.

O pré-amplificador é um amplificador de instrumentação e evita que o ruído de mesma amplitude nos dois canais entre no circuito. Utilizou-se o amplificador AD620 da fabricante Analog Devices que foi configurado para um ganho de 200 vezes no sinal captado e para filtrar frequências abaixo de 3 Hz, operando como um filtro passa-alta. O cálculo do ganho foi feito de acordo com o manual da fabricante e é apresentado na equação 1:

$$G = [50K/Rg] + 1 \quad (1)$$

O amplificador principal tem a função de amplificar ainda mais o sinal para que possa ser enviado ao microcontrolador para o acionamento de dispositivos. Além disso, esse amplificador tem a função de filtrar frequências acima de 500 Hz, sendo um filtro passa-baixa. Em conjunto com o pré-amplificador, forma um filtro passa-banda na faixa de 3 Hz a 500 Hz. Para isso, utilizou-se o amplificador OP07 da fabricante Analog Devices, configurado para um ganho de 20 vezes, totalizando um ganho de 4000 vezes.

Os amplificadores AD620 e OP07 foram escolhidos porque apresentam baixo custo, alta impedância de entrada e baixa impedância de saída e rejeição de modo comum (do inglês, *Common Mode Rejection Ratio* - CMRR), elevado, sendo ideais para captação de sinais de baixa amplitude como o EMG.

O circuito foi alimentado com uma tensão de  $\pm 15$  V. Para os testes foi utilizada uma fonte chaveada, posteriormente, substituiu-se a fonte por baterias a fim de evitar a interferência provocada pela rede elétrica.

Depois de amplificado e filtrado analógicamente, o sinal de EMG é enviado para o microcontrolador, no qual é feita a

digitalização que é composta pela conversão Analógico/Digital e pelo processamento digital.

Dentro do processamento são feitas duas etapas: decomposição de sinais em componentes senoidais (transformada de Fourier) e filtragem digital utilizando o filtro IIR.

Após o processamento digital, o sinal mioelétrico é muito mais nítido e pode ser usado para controlar os equipamentos. São estabelecidos padrões, como por exemplo, a prótese de mão fecha se o bíceps for contraído, e abre se este for relaxado. A partir desses padrões é desenvolvido o código no microcontrolador para realizar tais ações. Sabe-se que o bíceps contraído apresenta uma determinada amplitude, e se o sinal estiver acima desse valor, o microcontrolador aciona um driver, que por sua vez, irá acionar o motor responsável pelo fechamento e abertura da prótese de mão. Para cada equipamento controlado e cada usuário é necessário um código e padrão diferente.

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O primeiro teste realizado no circuito de captação foi utilizando dois geradores de sinais para simular o sinal dos eletrodos. Cada gerador foi ajustado com uma frequência de 100Hz e amplitude de 3 mV de pico, valores próximos ao sinal de EMG, de acordo com Nilton Armstrong [3]. Com os geradores ligados nas entradas do pré-amplificador e a ponta de prova do osciloscópio ligada à saída do circuito, obteve-se uma frequência de 100 Hz e amplitude de 12,6V, considerando-se que esta amplitude foi a máxima obtida, uma vez que os geradores de sinais não estavam em fase e portanto a amplitude ficava variando, pois hora os sinais na entrada do amplificador diferencial eram somados e hora eram subtraídos. Assim, com o teste dos geradores observou-se um ganho de 4200 vezes, valor muito próximo ao teórico de 4000 vezes que foi ajustado e configurado pela equipe.

Os amplificadores AD620 e OP07 configurados para garantir os ganhos apresentados acima foram escolhidos porque apresentam baixo custo, alta impedância de entrada e baixa impedância de saída e CMRR elevado, sendo ideais para captação de sinais de baixa amplitude como o EMG.

Em segundo teste, com o funcionamento do circuito comprovado, substituíram-se os geradores de sinais por eletrodos. Os eletrodos da fabricante Covidien Kendall foram escolhidos por possuírem o gel apropriado para redução da resistência da pele e cola para fixação.

O teste com os eletrodos fixados no bíceps da autora apresentou uma tensão de 400 mV com o músculo relaxado e até 11,2 V com o músculo contraído dependendo da força de contração que foi aplicada. A frequência do sinal variou de 5,32 Hz até 22,7 Hz. A Figura 5 mostra o sinal com o sistema em operação e a ponta de prova do osciloscópio ligada na saída do circuito. O sinal apresenta a resposta de duas contrações.

Com o circuito de captação finalizado, o sinal ainda não está pronto para controlar dispositivos. Isso porque o sinal biológico, na sua forma natural, é muito instável, varia de acordo com a pessoa e é difícil de ser interpretado. Por esse



Fig. 5. Sinal EMG captado pelo circuito

motivo, utiliza-se o processamento digital, que transforma o sinal analógico em digital, e ainda minimiza a superposição de espectros de frequência, pois elimina aqueles indesejáveis.

Na primeira etapa do processamento, utiliza-se a transformada de Fourier pois esta é uma técnica que descreve um sinal (periódico ou não) em somas de sinais senoidais. Além disso, essa técnica permite passar um sinal de base no tempo para a base na frequência, criando um sinal discreto e gerando um espectro de frequências, que será de grande importância nas etapas seguintes.

A partir do espectro criado com a transformada é possível ver as diferentes frequências do sinal, e através do filtro, eliminar aquelas que não são necessárias, ou então é possível a atenuação de alguma característica e amplificação de outra, que facilite a análise. Essas alterações são feitas com base em regras matemáticas e a mais adequada para o projeto é a regra para filtro média móvel, onde a saída é a média das últimas  $N$  entradas, e  $N$  é o comprimento do filtro. Esse tipo de filtro possui duas subdivisões: Filtro FIR (Finite Impulse Response) e filtro IIR (Infinite Impulse Response). Escolheu-se o filtro IIR feita pois ele requer menos coeficientes para ser calculado, o que exige menor capacidade do processador e entrega um resultado com menor atraso. Por outro lado, esse filtro tem um grau de distorção considerável. Mas ainda assim, a rapidez na filtragem é mais importante para a aplicação, e por isso será utilizado.

A partir do sinal digital processado é feito o controle de dispositivos através da alteração intencional da amplitude do sinal, ou seja, o indivíduo irá controlar a contração e relaxamento do músculo, onde os eletrodos estão fixados, e então poderá controlar o dispositivo de acordo com um padrão pré-estabelecido.

Esse padrão é individual, ou seja, a amplitude do sinal eletromiográfico depende da constituição morfofuncional de cada usuário, por exemplo, se o músculo foi parcialmente amputado a amplitude do sinal de EMG será diferente. Dessa forma, o limiar de tensão utilizado para acionamento do dispositivo será alterado para cada usuário. Antes de o usuário controlar o dispositivo, é feita uma calibração do sistema, ou seja, o usuário deverá contrair e relaxar o músculo e o microcontrolador fará uma leitura do sinal EMG captado e estabelecerá um limiar de tensão para ativação do dispositivo.



A partir desse limiar de ativação, o usuário irá fechar ou abrir a prótese de mão, por exemplo. Além disso, o código do programa no microcontrolador é feito de acordo com o dispositivo a ser acionado, ou seja, se o dispositivo for uma prótese de mão ou uma cadeira de rodas o código deve ser diferente, pois o funcionamento dos motores e drivers são próprios de cada um.

#### IV. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentado o desenvolvimento do circuito eletrônico de captação de sinais eletromiográficos. Entende-se que a partir desse circuito poderá ser desenvolvido um sistema de controle de dispositivos de locomoção e movimento, através da contração e relaxamento dos músculos de pessoas com deficiências físicas. Como trabalhos futuros, será realizado o processamento digital do sinal eletromiográfico e o sistema de controle de uma prótese de mão. O processamento

digital será feito por filtros digitais que, inicialmente, serão testados na plataforma MatLab para que, posteriormente, sejam transferidos para um microcontrolador, no qual será também desenvolvido o controle da prótese de mão.

#### REFERÊNCIAS

- [1] C. J. De Luca, "Electromyography," *Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation*, J. G. Webster, Ed. John Wiley Publisher, 2006, pp. 98-109.
- [2] R. M. Enoka, *Bases neurofisiológicas da cinesiologia*. São Paulo, SP: Manole, 2000.
- [3] N. B. A. Junior. (2004,03,29). *Sistema de reconhecimento de comandos baseados em sinais de eletromiografia (EMG)* [monografia online]. Disponível: <http://www.up.edu.br/blogs/engenharia-da-computacao/wp-content/uploads/sites/6/2015/06/2004.17.pdf>
- [4] D. P. Barion and M. A. L. Dourado. (2015,11,27) *Aquisição de sinal mioelétrico para acionamento de dispositivos* [monografia online]. Disponível: [www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180450](http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180450)
- [5] C. J. De Luca, "The Use of Surface Electromyography in Biomechanics," *Journal of applied biomechanics* no. 13, pp.135-136. 1997.

# Fonte universal de corrente elétrica para aplicação em Iontoforese.

Giovanni Henrique Faria Floriano  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
giovanni@inatel.br

Mirela Eduarda Custódio  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
mirelaeduarda@geb.inatel.br

Nayara Dias Pereira  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
nayaradias@gea.inatel.br

**Resumo** - Este artigo apresenta o desenvolvimento do projeto de uma fonte de corrente universal para ser utilizada em tratamentos terapêuticos que aplicam a técnica da iontoforese. A fonte projetada é capaz de fornecer três tipos diferentes de corrente elétrica: a corrente contínua, a corrente alternada quadrada e a corrente alternada senoidal. Essa fonte também permite ajustar a intensidade de cada tipo de corrente, a sua frequência e o seu tempo de aplicação.

**Palavras chave** - Correntes terapêuticas, Fonte de corrente, Iontoforese.

**Abstract** - This paper presents the development of the project of an universal current source for therapeutic treatments that apply the iontophoresis technique. The projected source is able to deliver three different types of electrical current: continuous current, square alternated current and the sinusoidal alternated current. This source, also allows the intensity adjust of each type of current, their frequency and the time of application.

**Keywords** - Therapeutics currents, Current source, Iontophoresis.

## I. INTRODUÇÃO

A iontoforese é uma técnica que utiliza corrente elétrica de baixa intensidade para penetração de substâncias terapêuticas na pele. A forma de onda, a intensidade, a frequência e o tempo de aplicação dessa corrente variam em função das características do tratamento e da substância a ser aplicada. Assim, é importante que o profissional de saúde que trabalha com a iontoforese tenha a disposição uma fonte de corrente que lhe permita selecionar de forma fácil e rápida a corrente adequada às necessidades do tratamento terapêutico que irá aplicar.

Essa necessidade motivou o desenvolvimento do projeto de fonte de corrente que é apresentado nas sessões seguintes. Primeiramente, na sessão II, é feita uma breve apresentação da técnica denominada iontoforese, dos eletrodos necessários para a sua aplicação e das características das correntes necessárias. Na sequência, a sessão III apresenta os principais componentes e métodos utilizados no desenvolvimento do projeto, desenvolvimento esse que é descrito na sessão IV. Na sessão V tem-se os resultados obtidos e, finalizando, na sessão VI as conclusões sobre o trabalho.

## II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### A. Iontoforese

A iontoforese, descoberta por Pivati em 1747, é uma técnica não invasiva, indolor e segura para transferência transdermal de fármacos de maneira controlada a partir de uma corrente elétrica. Essa técnica utiliza o princípio da eletrostática, em que cargas elétricas de mesmo sinal se repelem e cargas de sinal oposto se atraem, para a inserção de fármacos que atravessam a pele, através de repulsões eletrônicas de cargas iguais. [1]

Os fármacos carregados negativamente devem ser aplicados entre a pele e o eletrodo negativo e os fármacos carregados positivamente devem ser aplicados entre a pele e o eletrodo positivo.[2] A escolha do eletrodo é um fator importante no tratamento, pois pode causar uma variação na densidade da corrente. [3]

Quando a corrente é aplicada, os cátions presentes na solução em contato com o ânodo se movem em direção ao cátodo, enquanto os ânions presentes no cátodo se movem na direção oposta. Vários fatores influenciam a transferência das drogas através da iontoforese, entre eles podemos destacar a propriedade da droga, a propriedade da fonte de corrente elétrica e as variáveis biológicas (local da aplicação, fluxo sanguíneo e idade).[4]

O método envolve três partes principais: o sistema que fornece a corrente elétrica, a solução doadora do íon e a região alvo do tratamento no paciente. A penetração de certa droga através da pele em direção ao tecido subcutâneo possui três passos: o foliculo piloso e as glândulas sebáceas, os ductos sudoríparos e através do estrato córneo.[4]

A amplitude da corrente deve variar entre 0,1 e 0,5mA/cm<sup>2</sup> da área do eletrodo ativo[3], ocorrendo a ação da iontoforese em nível superficial variando de 6 a 20 mm de profundidade, alcançando maior profundidade no organismo graças a circulação capilar e ao transporte de membrana. Alguns autores defendem a idéia de que a penetração da substância pode alcançar até 5cm.[5]

Essa técnica é utilizada no tratamento de hiperidrose (caracterizada por sudorese excessiva, devido à hiperatividade das glândulas sudoríparas nas regiões planares, axilares e palmares), espasmos, edema, queimaduras entre outros. Também é utilizada para aplicação de anti-inflamatórios, anestésicos locais,

relaxantes musculares, pois permite uma maior penetração da droga através de difusão passiva.[4]

### B. Eletrodos

Na escolha do tamanho, formato e material (sendo os mais tradicionais feitos de alumínio, chumbo, estanho, cobre ou platina) do eletrodo deve-se levar em consideração a dimensão da área a ser tratada, pois tais fatores tendem a causar variações na intensidade da corrente. Para tratar lesões locais utilizam-se eletrodos menores, pois possuem maior densidade de corrente, já os eletrodos maiores são utilizados quando a área a ser tratada não é bem definida. [3]

Os eletrodos devem ser sustentados por borracha e coberto completamente por uma esponja, gaze ou toalha que esteja em contato com a pele, além disso devem ser, pelo menos, separados pelo diâmetro do eletrodo ativo, pois a densidade de corrente nos tecidos superficiais diminui conforme a distância entre os eletrodos aumenta, diminuindo assim a possibilidade de queimaduras.[3]



Figura 1 - Modelo de eletrodo utilizado na iontoforese.[6]

### C. Tipos de correntes

Na iontoforese são utilizados três tipos diferentes de correntes elétricas: a corrente contínua, a corrente alternada quadrada e a corrente alternada senoidal.

A corrente contínua, também conhecida como corrente galvânica, tem o fluxo unidirecional ininterrupto de elétrons em direção ao polo positivo. A aplicação dessa corrente de baixa voltagem causa várias mudanças fisiológicas que podem ser terapêuticamente utilizadas. [3]

A figura 2 apresenta a forma de onda da corrente contínua.

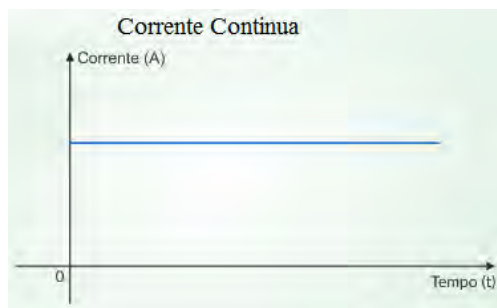


Figura 2 - Forma de onda da corrente contínua constante.[7]

A corrente contínua é a mais utilizada na iontoforese, porém em muitas aplicações a corrente alternada vem sendo mais eficaz por evitar queimaduras eletroquímicas. [3]

A corrente alternada tem o fluxo contínuo e bidirecional de elétrons, mudando sua direção constantemente, invertendo-se a polaridade. Seus efeitos terapêuticos são

parecidos com a corrente contínua e a administração do fármaco aumenta com a duração da aplicação. [3]

A corrente alternada utilizada na iontoforese pode apresentar duas formas de onda diferentes, a senoidal e a quadrada. As figuras 3 e 4 apresentam as formas de onda senoidal e quadrada, respectivamente. Na Tabela I temos um resumo das principais características dessas correntes.

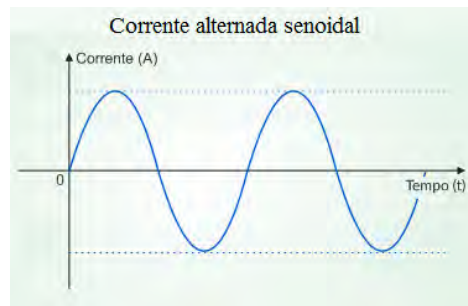


Figura 3 - Forma de onda da corrente alternada senoidal.[7]

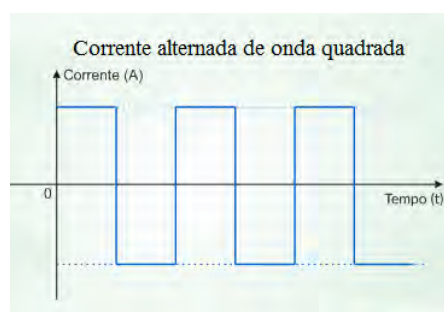


Figura 4 - Formas de onda da corrente alternada quadrada.[7]

TABELA I- TIPOS DE CORRENTES

Tipos de Corrente	Faixa de corrente	Frequência	Características da corrente
Contínua constante (galvânica)	0,1mA a 0,5mA por cm <sup>2</sup> de eletrodo.	-	Movimento das cargas de mesmo sinal se deslocando no mesmo sentido com uma intensidade fixa
Alternada	0,1mA a 0,5mA por cm <sup>2</sup> de eletrodo.	100 a 1KHz	Muda sua polaridade constantemente

## III. MATERIAIS E MÉTODOS

Em primeira instância, foi realizado um levantamento bibliográfico em livros e artigos científicos sobre iontoforese e correntes elétricas que ela utiliza.

Após essa pesquisa, foi realizada a seleção dos softwares que poderiam ser utilizados para o desenvolvimento do projeto da fonte. O escolhido foi o software Proteus 8 Professional 8.6 da Labcenter Electronics Ltd, que é um software que permite montar o esquemático e simular circuitos eletrônicos. Também foi escolhido o software Arduino 1.8.5 para programar o tempo da aplicação da corrente no projeto.

Já os principais componentes eletroeletrônicos selecionados para compor o circuito da fonte são descritos a seguir.

### A. Transformador de entrada

Alimentação de 127V no primário com saída 9/9V no secundário, ele é utilizado para transmitir a energia elétrica da rede alternada da rede para o circuito do fonte.

### B. Diodo de Silício

O diodo de silício 1N4004 foi utilizado nos retificadores de onda completa responsáveis pela retificação do sinal de tensão da saída do transformador. Apresenta uma queda de tensão de 0,7V.

### C. Diodo Zener

O diodo zener 1N4737A é utilizado como um regulador de tensão de 7,6V.

### D. LM555

Utilizando uma das configurações apresentadas no datasheet do componente, figura 5, foi possível obter na saída do circuito integrado, LM555, a forma de onda quadrada.

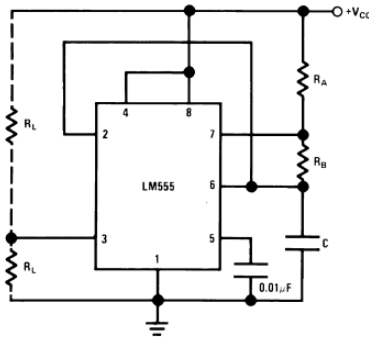


Figura 5 - Configuração de LM555 para gerar onda quadrada [10]

Onde os resistores  $R_A$  e  $R_B$  são responsáveis pela frequência do sinal. De modo que no projeto foi utilizado  $R_A$  fixo com valor de  $1K[\Omega]$  e em  $R_B$  um potenciômetro de  $10K[\Omega]$  responsável pela variação da frequência. Dada a equação: [10]

$$f = \frac{1,44}{R_A + 2 \cdot R_B} \quad (1)$$

Assim, isolando  $R_B$  temos que:

$$R_B = \frac{\frac{1,44}{f} - R_A}{2} \quad (2)$$

### E. LM358

O amplificador operacional, LM358, tem sua configuração apresentada na figura 6.

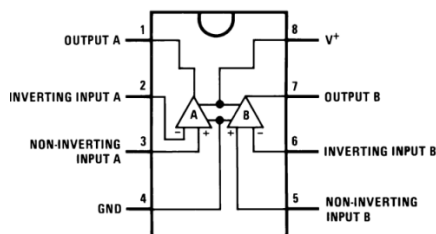


Figura 6 - Configuração de LM358[11].

O LM358 foi utilizado na etapa de geração de onda senoidal, em dois filtros passa baixas ativos, ilustrado na sessão IV do artigo, esses filtros foram calculados pelas equações 3,4,5,6 e 7 seguindo os seguintes passos:[12]

Escolhendo a frequência de corte  $f$  temos que:

$$C_2 \cong \frac{10}{f} \quad (3)$$

A partir da equação (3) podemos calcular

$C_1$

$$C_1 \leq \frac{C_2}{4(K+1)} \quad (4)$$

Com  $C_1$  e  $C_2$  calculados podemos calcular  $R_2$

$$R_2 = \frac{2(K+1)}{\left[ C_2 + \sqrt{C_2^2 - 4C_1C_2(K+1)} \right] f} \quad (5)$$

A partir de  $R_2$  calculamos  $R_1$

$$R_1 = \frac{R_2}{K} \quad (6)$$

E por último, calculamos  $R_3$

$$R_3 = \frac{1}{C_1C_2f^2R_2} \quad (7)$$

O LM358 foi utilizado em todo o projeto com uma alimentação simétrica, gerada a partir da saída do circuito de corrente contínua constante.

## IV. DESENVOLVIMENTO

Esta fonte é ligada por um botão on/off capaz de desligar a fonte e interromper o tratamento, se necessário. Quando ligada, o operador poderá escolher os parâmetros necessários para o tratamento, assim como, forma de onda, frequência, tempo de aplicação e intensidade da corrente. Após determinar os parâmetros necessários, o tratamento pode ser inicializado através de outro botão, e se necessário pode-se também pausar o tratamento. O funcionamento da fonte é apresentado no diagrama de blocos representado pela figura 7.

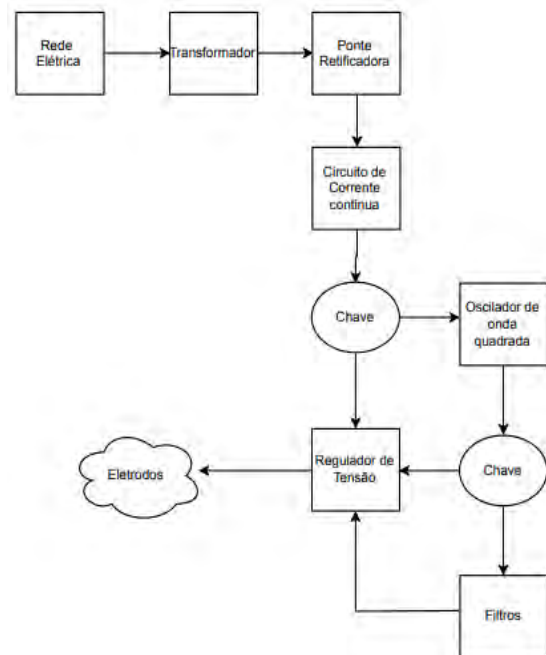


Figura 7 – Diagrama de blocos da fonte desenvolvida

### A. Corrente contínua constante

O circuito é alimentado por dois transformadores ligados na rede elétrica.

Para a geração da fonte simétrica de corrente contínua constante foi utilizado dois circuitos retificadores em ponte de onda completa com filtro a capacitor e zener de 7.6V, apresentado na figura 8.

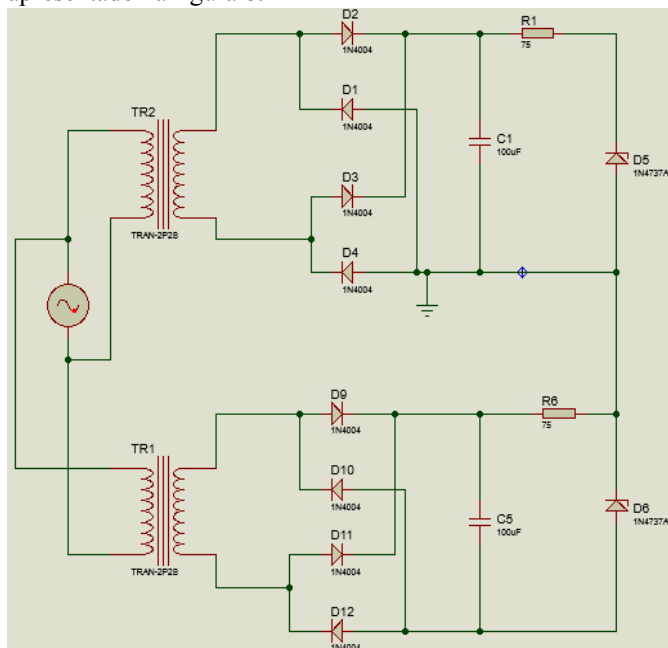


Figura 8 – Circuito de corrente contínua constante simétrica.

A corrente desejada pelo profissional será ajustada através de um potenciômetro analógico.

A fonte de corrente contínua foi utilizada como alimentação para os demais circuitos presentes no protótipo.

#### B. Corrente alternada de onda quadrada

O circuito integrado LM555 trabalha como oscilador para gerar corrente alternada com forma de onda quadrada e frequência variável, utilizando como alimentação a fonte de corrente contínua constante, já apresentada na figura 4.

A figura 9 apresenta o circuito responsável pela geração de onda quadrada com sua frequência que pode ser alterada por um potenciômetro.

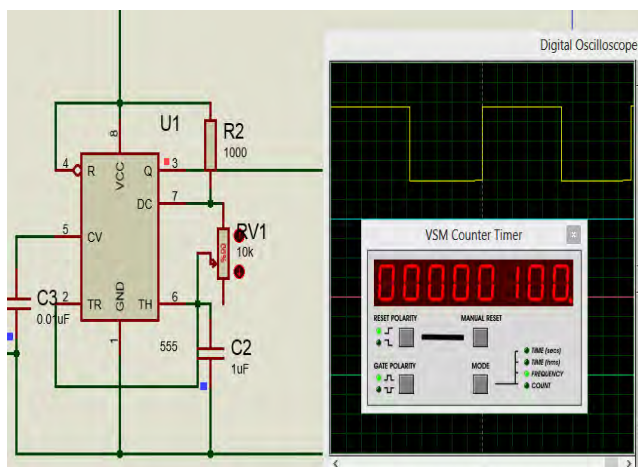


Figura 9 – Circuito de corrente alternada de forma de onda quadrada.

#### C. Corrente alternada senoidal

Na saída do circuito de onda quadrada foram utilizados dois filtros passa baixas ativos para obter-se a forma de onda senoidal.

As frequências de corte escolhidas para esses filtros foram de 300Hz e 1470Hz. É viável utilizar o filtro com frequência de corte igual a 300Hz para frequências entre 100Hz e 250Hz, para frequências a cima de 250Hz é viável a utilização do filtro com frequência de corte igual a 1470Hz. As figuras 10 e 11, a baixo, apresentam esses circuitos.

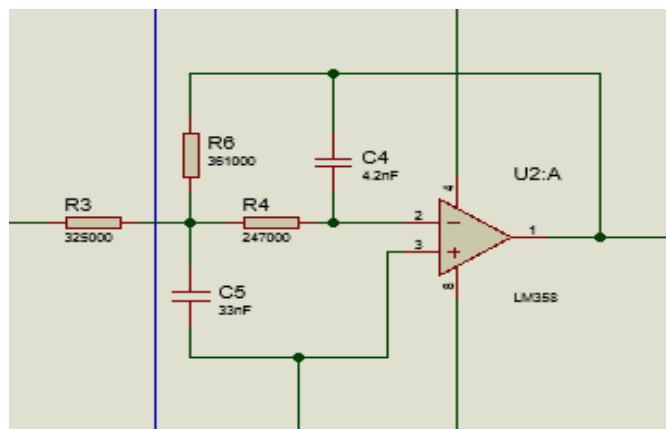


Figura 10 – Filtro passa baixa ativo com frequência de corte de 300Hz.

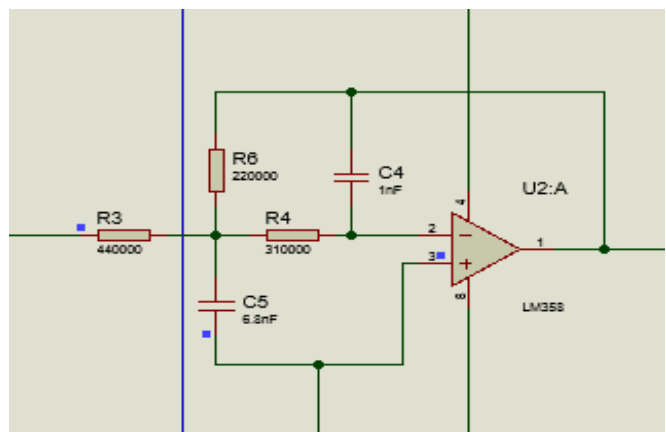


Figura 11 – Filtro passa baixa ativo com frequências de corte de 1470Hz

#### D. Circuito de Ganho

Para regular o ganho necessário, foi utilizado o circuito de dois amplificadores operacionais, LM358, com um potenciômetro que garantirá a tensão desejada na saída da fonte, apresentado na figura 12.

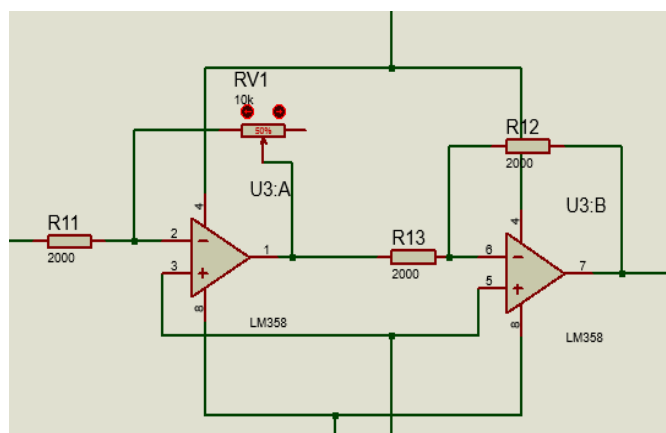


Figura 12 – Circuito de ganho



### E. Circuito de fonte de corrente

Para condicionar uma Fonte de Corrente correspondente a tensão de saída, é preciso calcular o resistor pela seguinte equação:

$$R = \frac{V}{I} \quad (8)$$

Considerando a máxima tensão igual a 5V e a máxima corrente igual a 20mA[4], temos que:

$$R = \frac{5}{(20 \cdot 10^{-3})} = 250\Omega \quad (9)$$

Após o cálculo do resistor o circuito da fonte de corrente é mostrado na Figura 13.

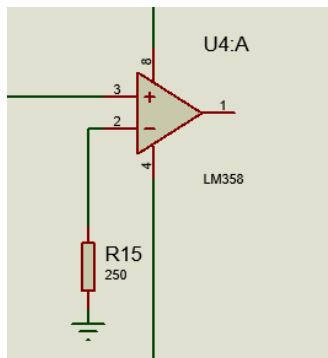


Figura 13 – Circuito da fonte de corrente

## V. RESULTADOS OBTIDOS

Foi possível simular a saída da corrente contínua, da corrente alternada senoidal e também da corrente alternada de forma de onda quadrada com uma amplitude baixa de corrente, porém somente a corrente alternada quadrada foi possível alterar a frequência, pois o simulador não permite medir frequência de corrente alternada senoidal. Também não foi possível controlar a corrente através de potenciômetro digital, pois o mesmo não funciona corretamente no simulador.

A figura 14 apresenta a mínima frequência que pode ser regulada pelo potenciômetro e a figura 15 apresenta a máxima frequência que pode ser regulada. Ambas na saída alternada de forma de onda quadrada.

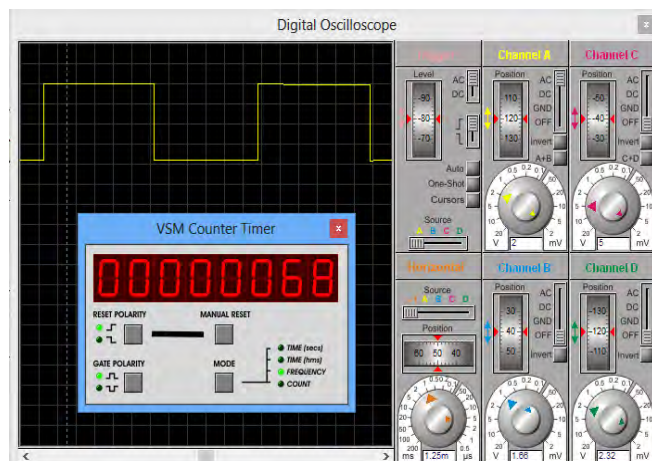


Figura 14 – Mínima frequência que pode ser regulada com forma de onda quadrada

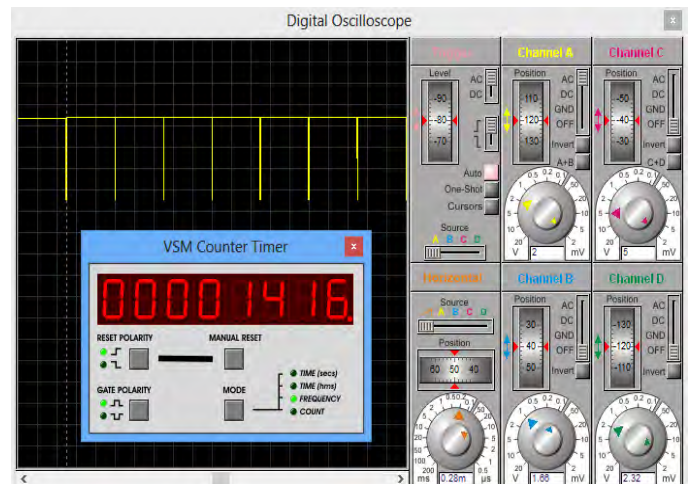


Figura 15 – Máxima frequência que pode ser regulada com forma de onda quadrada

As figuras 16, 17, 18, 19 e 20 apresentam alguns testes realizados na simulação, onde a frequência foi regulada no circuito de onda quadrada e a partir desta saída foram implementados filtros capazes de deixar essa onda quadrada senoidal.

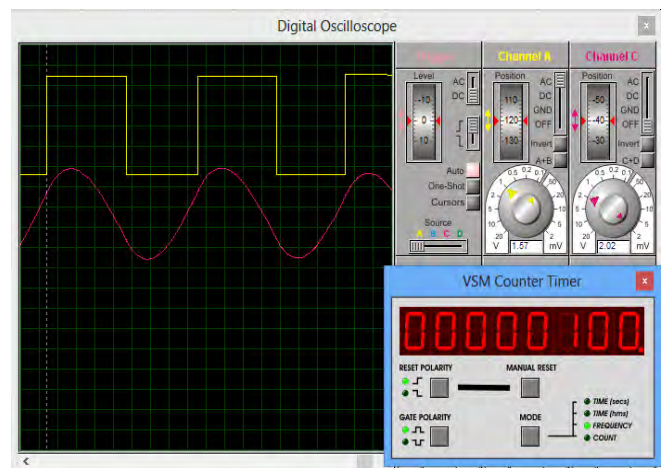


Figura 16 – Teste das formas de ondas que podem ser obtidas a partir da frequência de 100Hz.

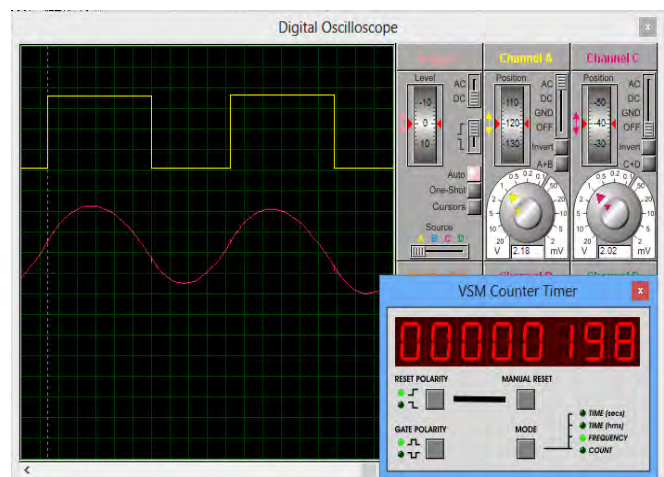


Figura 17 – Teste das formas de ondas que podem ser obtidas a partir da frequência de 198Hz.

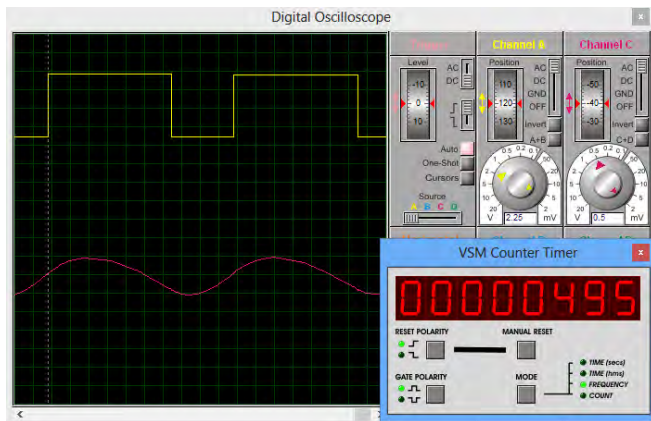


Figura 18 – Teste das formas de ondas que podem ser obtidas a partir da frequência de 495Hz.

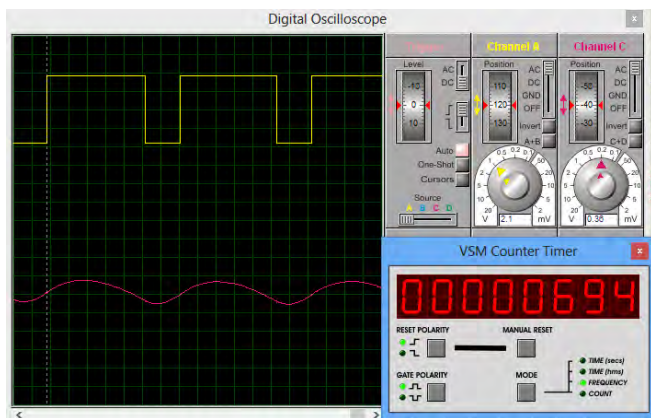


Figura 19 – Teste das formas de ondas que podem ser obtidas a partir da frequência de 694Hz.

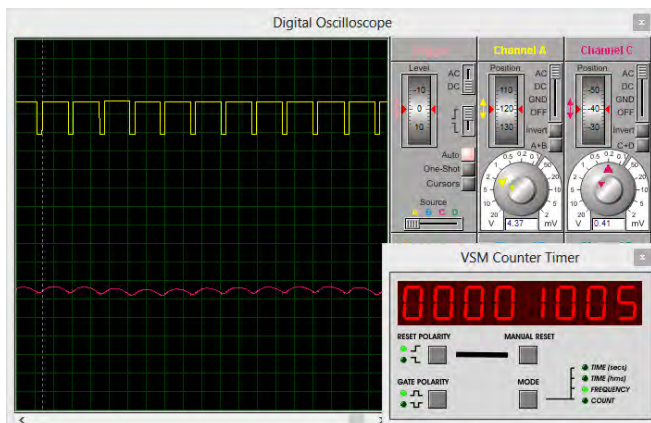


Figura 20 – Teste das formas de ondas que podem ser obtidas a partir da frequência de 1005Hz.

## VI. CONCLUSÕES

Através dessa pesquisa foi possível compreender a importância dos tipos de corrente na iontoforese e, também, que o sucesso desse tratamento depende fortemente da eficácia da fonte de corrente utilizada. Porém, o projeto da fonte de corrente deixou a desejar, por conta dos limites que o simulador utilizado trouxe, impedindo-nos de concluir todo o processo. A partir desse projeto trabalhos futuros podem cuidar da implementação de potenciômetros digitais e, também, da construção de um protótipo. Com o protótipo poderia-se realizar ensaios reais e, consequentemente, superar os limites que foram impostos pelo simulador. Outro

ponto importante seria a análise da viabilidade técnica/econômica da fonte projetada nesse trabalho. Consideramos que uma fonte de corrente confiável e de baixo custo pode ser um fator importante para aumentar a difusão da técnica da iontoforese em ambientes hospitalares, o que certamente contribuirá na realização de vários procedimentos terapêuticos, evitando contaminações resultantes do uso de seringas e agulhas, além de facilitar o tratamento de pacientes que possuem medo de agulha.

## VII. REFERÊNCIAS

- [1] José Nilson Silva. Uma abordagem histórica e experimental da Eletrostática. Disponível em: <https://periodicos.unifap.br/index.php/estacao/article/view/126/v1n1Jose.pdf>. Acessado em: Abril 2017
- [2] Andréia Cruz Gaspar. Estudo da permeação cutânea do sulfato de lucosamina, em modelo ex vivo, induzida por iontoforese. Disponível em: <http://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/1134/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acessado em: Maio 2017
- [3] William E. Prentice. Modalidades terapêuticas para fisioterapeutas. Tradução de Maria da Graça Figueiró da Silva Toledo. 4.ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.
- [4] A. S. Oliveira; M. I.e Guaratini; C. E. S Castro. Fundamentação teórica para Iontoforese. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Anamaria\\_Oliveira/publication/237114287\\_FUNDAMENTACAO\\_TEORICA\\_PARA\\_IONTOFORESE/links/0046352533ee2d679e000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Anamaria_Oliveira/publication/237114287_FUNDAMENTACAO_TEORICA_PARA_IONTOFORESE/links/0046352533ee2d679e000000.pdf). Acessado em: Julho
- [5] Fitto; Manual de instruções MALETA AF4. Disponível em: [http://www.esteticmed.com.br/igc/uploadAr/FileProcessingScripts/PHP/UploadedFiles/maleta-af4\\_esteticmed\\_1.pdf](http://www.esteticmed.com.br/igc/uploadAr/FileProcessingScripts/PHP/UploadedFiles/maleta-af4_esteticmed_1.pdf). Acessado em: Dezembro 2017
- [6] Sandra Merllo; Eletroterapia e configuração da corrente elétrica. Disponível em: <http://sandramerllo.com.br/2014/06/eletroterapia-e-configuracao-da-corrente/>. Acessado em: Dezembro 2017
- [7] BlueSol Solar Energia. Disponível em: <http://blog.bluesol.com.br/corrente-alternada-e-continua-diferencas/>. Acessado em: Setembro de 2017
- [8] Sávia Francisca Lopes Dias; Adélia Cristina Alves Fernandes Costa; Durcilene Alves Silva; Lívio César Cunha Nunes. Aplicação da Iontoforese na Permeação Cutânea de Anti-inflamatórios Não Esteroides: estado da arte. Disponível em: <http://revistas.ufpi.br/index.php/geum/article/view/3005/2001>. Acessado em: Junho 2017
- [9] Marieli Araújo Rossoni; Gustavo Kiyosen Nakayama; Gladson Ricardo Flor Bertolini. CORRENTES DIADINÂMICAS DE BERNARD COM E SEM IONTOFORESE NA DTM: ENSAIO CLÍNICO RANDOMIZADO. Disponível em: <http://revistas.unipar.br/index.php/saude/article/view/2789/2075>. Acessado em: Abril 2017
- [10] Texas Instruments. Datasheet do circuito integrado LM555. Disponível em: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm555.pdf>. Acessado em: Setembro de 2017
- [11] Texas Instruments. Datasheet do amplificador operacional LM358. Disponível em: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm158-n.pdf>. Acessado em: Novembro de 2017
- [12] Antônio Pertence JR. Amplificadores operacionais e filtros ativos: eletrônica analógica. 8.ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.



# Protótipo de Eletrocardiograma utilizando a plataforma Arduino e amplificadores operacionais

Adam Johnny da Mota & Gabriela Ribeiro Lopes & Mayara Maria Braga Gomes & Carlos Augusto Rocha

**Abstract**—This article aims to describe the steps followed for the construction of the electrocardiogram prototype, which is a low cost equipment that meets the requirements of ANVISA and that presents the results in a computational way, thus eliminating the need to have the printed exam. In this prototype are used circuits of amplification and filtering of the wave collected by the electrodes with the objective of eliminating possible interferences like the electrical network, muscular movements and of the own electronic circuit. The software, in turn, enables the user to be able to have his / her exam quickly and practically, as it presents didactically the heart rate and the correct position of the electrodes in the patient's body.

The results obtained with the prototype were compared with an examination performed using a 12-lead electrocardiograph and presented similar results.

**Index Terms**—Electrocardiogram, amplifiers, analog filters, electromagnetic wave, heart diseases.

**Resumo**—Este artigo tem como propósito descrever os passos seguidos para a construção do protótipo do eletrocardiograma, sendo este um equipamento de baixo custo que atenda as exigências da ANVISA e que apresente os resultados de forma gráfica computacionalmente, eliminando assim a necessidade de se ter o exame impresso. Neste protótipo são utilizados circuitos de amplificação e filtragem da onda coletada pelos eletrodos com o objetivo de eliminar possíveis interferências como a rede elétrica, movimentações musculares e do próprio circuito eletrônico. O software, por sua vez, faz com que o usuário possa ser capaz de ter seu exame de forma rápida e prática, pois apresenta de forma didática a frequência cardíaca e a posição correta dos eletrodos no corpo do paciente.

Os resultados obtidos com o protótipo foram comparados com um exame realizado através de um eletrocardiógrafo de 12 derivações e apresentaram resultados bem parecidos.

**Palavras chave**—Eletrocardiograma, amplificadores, filtros analógicos, onda eletromagnética, doenças cardíacas.

## I. INTRODUÇÃO

O eletrocardiograma foi idealizado em 1902, por Willem Einthoven, com o objetivo de registrar as correntes elétricas provenientes do coração. Desde então o aparelho vem passando por modernizações e sendo na atualidade um equipamento de extrema importância para a identificação de alterações primárias ou secundárias aos processos do miocárdio, como nos casos de doenças das artérias coronárias, hipertensão arterial, cardiomiopatias, doenças metabólicas e alterações eletrolíticas, além dos efeitos tóxicos ou terapêuticos das drogas e próteses[1].

A principal causa de mortalidade mundial em 2017 ocorreu por doenças cardiovasculares, segundo a Organização Pan-Americana da Saúde (Opas). Um dos principais exames para o diagnóstico destas doenças é o eletrocardiograma, um procedimento simples de ser realizado e que identifica

as alterações nos formatos das ondas eletromagnéticas do batimento cardíaco. O maior problema brasileiro é o acesso da população a este exame, seja pelo custo ou pela falta de equipamentos suficientes. [2].

O protótipo de um eletrocardiograma possui como objetivo desenvolver um produto de baixo custo utilizando a plataforma Arduino e amplificadores operacionais para a amplificação e os estágios de filtragem do sinal. Para uma melhor visualização dos resultados e facilitar o procedimento de realização do exame foi desenvolvido uma interface gráfica para desktop, que permite ao médico/enfermeiro cancelar um exame e reiniciar o procedimento.

## II. DESENVOLVIMENTO

O protótipo do Eletrocardiograma foi desenvolvido utilizando três Transdutores de sinais (eletrodos) de 6mm e 25 gramas para a captação do sinal elétrico proveniente do coração. Por se tratar de um sinal de baixíssima magnitude, foi necessário a implementação de quatro estágios para a aquisição do sinal. Ao final dos quatro estágios utilizou-se o Arduino Uno para a discretização e a impressão dos resultados foi realizada digitalmente por software, programado em python, conforme apresentado na Figura 1. Através do software é possível realizar cadastros de pacientes, visualização e geração de novos exames. As informações dos pacientes ficam registradas em um Banco de dados e os resultados dos exames são salvos em arquivos de texto (txt).

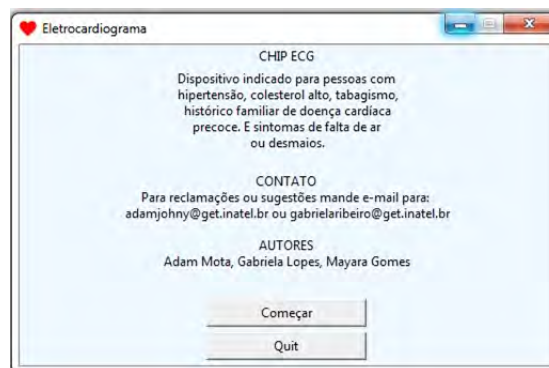


Fig. 1. Tela inicial do software usado no protótipo.

### A. Eletrocardiograma

O eletrocardiograma (ECG), gerado pelo eletrocardiógrafo, consiste na coleta dos fenômenos elétricos ocorridos durante a atividade cardíaca[3], indicando o estado de normalidade ou

alteração dos músculos e nervos do coração. Os fenômenos elétricos ocorrem devido à repolarização e a despolarização das células do miocárdio e possuem baixíssimas amplitudes de, aproximadamente, 1mVpp. Estes sinais são distorcidos pela interferência do campo elétrico proveniente da oscilação da rede elétrica de 60 Hz, além dos ruídos muscular e o gerado pela não linearidade dos filtros e amplificadores dos circuitos de aquisição do sinal.

Os sensores de captação do eletrocardiograma podem fornecer doze derivações ou potenciais, seis no plano elétrico frontal e seis no plano elétrico horizontal. Contudo, neste trabalho serão abordados os potenciais do plano horizontal que são denominados derivações precordiais unipolares V1,V2,V3,V4,V5 e V6.

A Figura 2 apresenta a posição que devem ser colocados os eletrodos no corpo humano durante o exame.

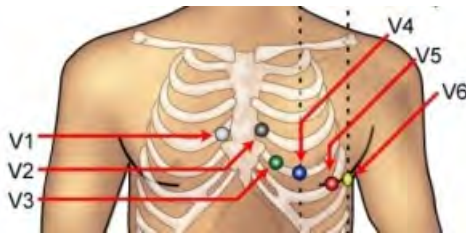


Fig. 2. Posição dos eletrodos para exame de eletrocardiograma.

### B. Placa de captação do sinal cardíaco

A placa de captação do sinal cardíaco tem como função separar o sinal elétrico do coração de eventuais ruídos e interferências, além de amplificá-lo, já que o mesmo possui amplitude de alguns mVpp. O hardware possui quatro estágios, os quais são descritos abaixo, onde cada um faz com que o impulso elétrico do coração fique mais visível e apresentável para ser analisado por um software, por exemplo.

1) *Amplificador Diferencial*: No primeiro estágio do circuito deve-se dar ganho ao sinal de entrada, assim como certificar de que a interferência entre os dois eletrodos que geram os seis potenciais, os quais servirão de entrada para este estágio, é quase nula. Sendo assim, usou-se o amplificador diferencial TL064CN, onde o mesmo possui uma relação de CMRR (Common Mode Rejection Rate - Rejeição em Modo Comum) de 100 dB, o suficiente para fazer com que a interferência entre os potenciais seja mínima. A equação (1) calcula o ganho do amplificador diferencial.

$$A_d = \frac{R_b}{R_a} \left( 1 + \left( \frac{2R_x}{R} \right) \right) \quad (1)$$

A Figura 3 ilustra o hardware do primeiro estágio.

Associando os valores do hardware do primeiro estágio, Figura(3), na equação(1) obtém-se o ganho diferencial  $A_d$  de 95.

2) *Filtro Passa-Altas*: O filtro passa-altas é responsável por remover ruídos oriundos de equipamentos que são alimentados com tensão contínua ou operem com a mesma. Para isso, o segundo estágio do projeto contém um filtro ativo RC,

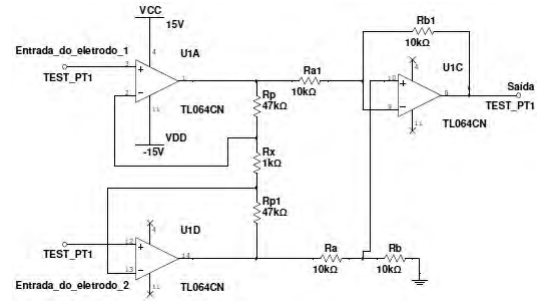


Fig. 3. Disposição dos componentes do primeiro estágio - Amplificação diferencial.

atenuando cerca de 20 dB/década os sinais próximos do nível contínuo de tensão (nível DC). Pela equação (2) e (3) calcula-se a frequência de corte do filtro e o ganho do mesmo para frequências acima da frequência de corte, respectivamente.

$$R.C = \frac{1}{2\pi f_c} \quad (2)$$

$$A_v = 1 + \frac{R_{12}}{R_{11}} \quad (3)$$

A Figura 4 mostra a configuração do filtro passa-altas, bem como os valores dos seus componentes.

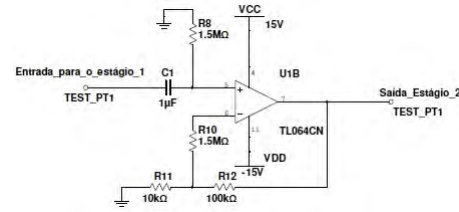


Fig. 4. Disposição dos componentes do segundo estágio - Filtro Passa-Altas.

Ao se adotar o valor de C na equação(2) de 1μF, tem-se R igual a 1MΩ e associando os valores da figura(3) com a equação(3) chega-se no ganho do filtro passa-altas igual a 11, fazendo com que o ganho total do circuito até o momento seja de 1045 (95x11).

3) *Filtro Passa Baixas*: No terceiro estágio do circuito é implementado um filtro passa baixas passivo RC, com o objetivo de eliminar as frequências provenientes de interferências musculares e dos amplificadores. A equação (4) calcula a frequência de corte do filtro.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (4)$$

Figura 5 apresenta o circuito do filtro passa baixas utilizado no projeto. Substituindo os valores do resistor e do capacitor na equação (4) resulta em uma frequência de corte de 159,7MHz.

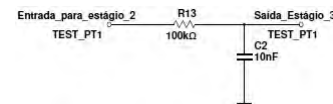


Fig. 5. Circuito filtro passa baixas.

4) *Filtro NOTCH*: No quarto estágio do circuito é implementado um filtro rejeita faixa (Notch), com o objetivo de eliminar a frequência de 60Hz proveniente da rede elétrica. Utilizando um filtro Notch com topologia duplo T, que consiste de dois amplificadores operando como buffer. Obtendo uma largura de banda de corte muito estreita[4]. A equação (4) calcula a frequência de corte do filtro Notch.

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} \quad (5)$$

A Figura 6 apresenta o circuito do filtro Notch utilizado no projeto. Substituindo os valores do resistor e do capacitor na equação (5) resulta em uma frequência de corte de 58,9761Hz, sendo o mais próximo da frequência de 60Hz da rede elétrica.

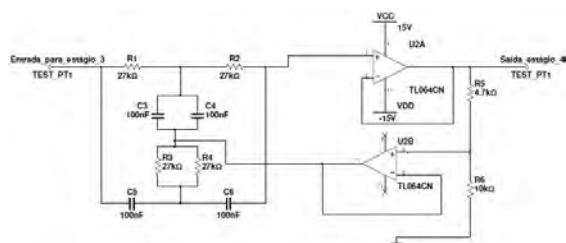


Fig. 6. Circuito filtro rejeita faixa - Notch.

### III. RESULTADOS

Com os amplificadores operacionais e os filtros analógicos foi possível obter um bom sinal, com baixo nível de ruído e boa percepção das ondas características (P, Q, R, S e T) que correspondem aos eventos elétricos da movimentação do miocárdio[5].

A seguir é descrito o fenômeno que caracteriza cada onda[6].

Onda P - Deflexão produzida pela despolarização auricular.

Onda Q - Deflexão negativa inicial resultante da despolarização ventricular.

Onda R - Deflexão positiva devido a despolarização ventricular.

Onda S - Deflexão negativa da despolarização ventricular.

Onda T - Deflexão ocorrida pela Repolarização ventricular.

A figura 7 apresenta como é o formato da onda proveniente da movimentação do coração.



Fig. 7. Onda característica do registro eletrocardiográfico.

#### A. Potenciais do plano Horizontal

Os potenciais do plano horizontal são denominados derivações precordiais unipolares e são oriundas de seis eletrodos conectados sobre a região torácica do corpo humano.

No protótipo foi colocado um eletrodo para realizar as seis medidas, por este motivo a cada potencial coletado o eletrodo deve ser alterado de posição. Além deste eletrodo são necessários mais dois como referência para a medida, conforme representado na Figura 8.

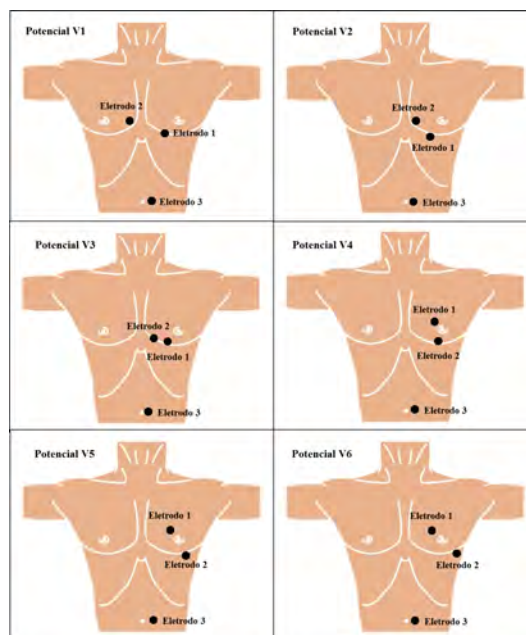


Fig. 8. Posição dos eletrodos para cada potencial.

1) *Potencial V1*: O eletrodo para a medida da forma de onda do potencial V1 deve ser conectado no quarto espaço intercostal linha para esternal direita[5].

A Figura 9 apresenta um comparativo entre o resultado de um eletrocardiograma e o obtido através do protótipo.

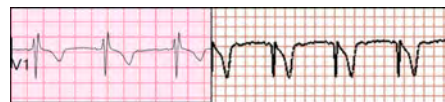


Fig. 9. Potencial V1 realizado por eletrocardiograma versus protótipo.

2) *Potencial V2*: O eletrodo para a medida da forma de onda do potencial V2 deve ser conectado no quarto espaço intercostal linha para a esternal esquerda[5].

A Figura 10 apresenta um comparativo entre o resultado de um eletrocardiograma e o obtido através do protótipo.

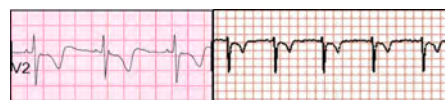


Fig. 10. Potencial V2 realizado por eletrocardiograma versus protótipo.

3) *Potencial V3*: O eletrodo para a medida da forma de onda do potencial V3 deve ser conectado entre os potenciais V2 e V4.

A Figura 11 apresenta um comparativo entre o resultado de um eletrocardiograma e o obtido através do protótipo[5].



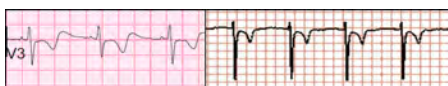


Fig. 11. Potencial V3 realizado por eletrocardiômetro versus protótipo.

4) *Potencial V4*: Para se obter a forma de onda V4 através do eletrodo, deve-se conectá-lo ao quinto espaço intercostal na linha hemiclavicular.

A Figura 12 apresenta um comparativo entre o resultado de um eletrocardiômetro e o obtido através do protótipo[5].



Fig. 12. Potencial V4 realizado por eletrocardiômetro versus protótipo.

5) *Potencial V5*: Para se obter a forma de onda V5 através do eletrodo, deve-se conectá-lo ao quinto espaço intercostal na linha axilar anterior.

A Figura 13 apresenta um comparativo entre o resultado de um eletrocardiômetro e o obtido através do protótipo[5].



Fig. 13. Potencial V5 realizado por eletrocardiômetro versus protótipo.

6) *Potencial V6*: Para se obter a forma de onda V6 através do eletrodo, deve-se conectá-lo ao quinto espaço intercostal na linha axilar média.

A Figura 14 apresenta um comparativo entre o resultado de um eletrocardiômetro e o obtido através do protótipo[5].



Fig. 14. Potencial V6 realizado por eletrocardiômetro versus protótipo.

## B. Frequência Cardíaca

A frequência cardíaca é definida pela velocidade com que o coração pulsa, sendo controlada do sistema nervoso autônomo, que se divide em sistema nervoso simpático e parassimpático, do corpo humano. O sistema nervoso simpático tem função de aumentar a velocidade do batimento cardíaco e o parassimpático, por sua vez, tem função de diminuir a velocidade desses batimentos[7].

1) *Análise da frequência cardíaca*: Através do software desenvolvido para o protótipo, tem-se uma estimativa de qual a frequência cardíaca do paciente, medindo, no potencial V3, o tempo entre os picos provenientes da forma de onda do seu coração e, após essa medida, ela é convertida para a frequência cardíaca normal, em batimentos por minuto, via software.

A Figura 15 ilustra um exemplo de frequência cardíaca gerada pelo software do protótipo.

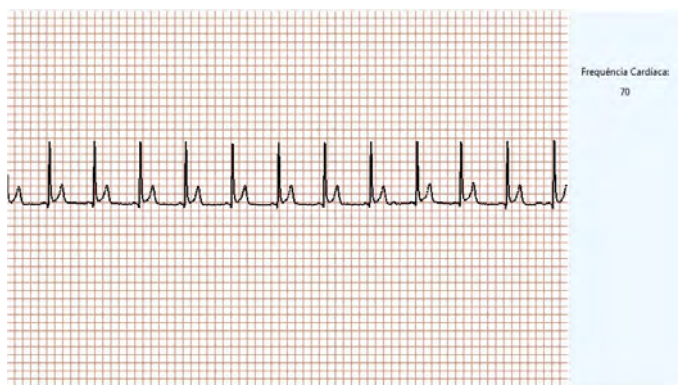


Fig. 15. Frequência cardíaca quantificada a partir do potencial V3.

2) *Cálculo para a obtenção da frequência cardíaca*: Para se obter a frequência cardíaca através da Figura 14, usou-se a equação(6), onde  $d$  representa a duração entre a ocorrência de dois picos consecutivos da forma de onda do coração e  $f$  é a frequência cardíaca a ser calculada, em batimentos por minuto (bpm)[7].

$$f = \frac{60}{d} \quad (6)$$

3) *Protótipo*: Com a confecção do hardware através dos circuitos mostrados, montou-se o protótipo conforme mostrado na Figura 16. A Placa Arduino Uno presente nela possui toda a inteligência que gerencia o hardware, enquanto o software em python se localiza no computador do usuário deste protótipo. Os três eletrodos sob o protótipo possuem cores diferentes para que o usuário possa colocá-los corretamente no corpo do paciente.



Fig. 16. Foto do protótipo tirada na Feira do Inatel - Fetin, 2017.

## IV. CONCLUSÕES

Com o estudo sobre os potenciais do coração, a aplicação dos mesmos em um hardware para captação da onda eletromagnética cardíaca e a apresentação deste sinal na tela para o paciente por meio de um software, conseguiu-se associar a teoria do projeto à prática, bem como a alta semelhança entre as formas de onda geradas pelo software do projeto e o software de um eletrocardiômetro comercial. Assim, o projeto apresentou resultado satisfatório, pois ele contém as funcionalidades de um eletrocardiômetro original, além da interface gráfica, que pode ser melhorada em futuros trabalhos, apresentar um grande diferencial, já que o paciente poderá ver e armazenar seu exame cardíaco de forma digital.

## REFERÊNCIAS

- [1] J. Feldman and G. P. Goldwasser, Eletrocardiograma: recomendações para a sua interpretação - [http://socerj.revista/2004\\_04/a2004\\_v17\\_n04\\_art03.pdf](http://socerj.revista/2004_04/a2004_v17_n04_art03.pdf)
- [2] Marcelo Camargo (2017, October 29). *Doenças cardiovasculares são principal causa de morte no mundo* [Online]. Disponível: <http://www.brasil.gov.br/saude/2017/09/doencas-cardiovasculares-sao-principal-causa-de-morte-no-mundo>.
- [3] Ângela P. Ramos and Bolivar S. Souza (2017, October 29). *Eletrocardiograma: princípios, conceitos e aplicações* [Online]. Disponível: <http://177.153.8.172/lider/wp-content/uploads/2017/03/Eletrocardiograma.pdf>
- [4] Thiago Moreira, (2016, Dezembro 07)Projeto de circuito para Eletrocardiógrafo - <https://www.embarcados.com.br/projeto-eletrocardiografo/>
- [5] A.S.Valentim, Eletrocardiografia básica - <http://www.slideshare.net/dapab/ecg-bsico-8626296>.
- [6] G.V.B.Magalhães, Inatel [Online] Disponível: <file:///C:/Users/User/Downloads/Artigo>
- [7] J.L. A. de Carvalho, Sistema para análise da variabilidade da frequência cardíaca - <http://www.ene.unb.br/joaoluiz/pdf/projetofinal.pdf>

**Adam Johny da Mota** nasceu em Pouso Alegre, MG, em 23 de Janeiro de 1995. Possui os títulos: Técnico em Eletrônica (ETE “FMC” , 2013), Graduando em Engenharia de Telecomunicações (Inatel, 2018).

**Gabriela Ribeiro Lopes** nasceu em Curitiba, PR, em 4 de agosto de 1995. Possui os títulos: Técnico em Informática (Colégio Tecnológico Delfim Moreira”, 2013), Graduanda em Engenharia de Telecomunicações (Inatel, 2018).

**Mayara Maria Braga Gomes** nasceu em Itajubá, MG, em 3 de Janeiro de 1993. Possui os títulos: Técnica em Eletrônica (CEP , 2013),Técnica em Contabilidade (SENAC, 2012), Graduanda em Engenharia de Telecomunicações (Inatel, 2018).

**Carlos Augusto Rocha** nasceu em Conceição dos Ouros, MG, em 10 de Abril de 1966. Possui os títulos: Curso técnico/profissionalizante em Técnico em Eletrônica(ETE “FMC” , 1983),Graduação em Engenharia Elétrica Enfase Telecomunicações(Finatel, 1982), Mestre em Telecomunicações(Inatel, 2007) Título: Metodos de Interpolação para Sistemas OFDM,Ano de Obtenção: 2007.

# CodeTroopers: Uma proposta lúdica para ensino de conceitos de programação

Adriene Zilda Corrêa Magalhães  
Laboratório de Computação  
Gráfica, Jogos e Aplicativos  
Móveis do Inatel  
adrienemagalhaes@gea.inatel.br

Lucas Sales de Oliveira Almeida  
Laboratório de Computação  
Gráfica, Jogos e Aplicativos  
Móveis do Inatel  
lucassales@gea.inatel.br

Renzo Paranaíba Mesquita  
Laboratório de Computação  
Gráfica, Jogos e Aplicativos  
Móveis do Inatel  
renzo@inatel.br

**Abstract**—This article features a proposal to the teaching of the C++ programming language's concepts. It approaches other articles which proposals are similar to this paper. Furthermore it attempt to explain the tools used for the development of the project, highlighting the reasons for which they were chosen and their main characteristics. Lastly the final product of the project is approached, the game *CodeTroopers*, emphasizing it's characteristics and explaining the main idea which the game is based on.

**Index Terms**—Education, Teaching, Games, Programming.

**Resumo**—Este artigo apresenta uma proposta para o ensino de conceitos da programação na linguagem C++. É abordado outros trabalhos cujas propostas se assemelham a este. Estende-se ainda para a explicação das ferramentas utilizadas para a construção do projeto, destacando os motivos pelos quais foram escolhidas e suas principais características. Por fim é abordado o produto final do projeto, o jogo *CodeTroopers*, enfatizando suas características e explicando a ideia geral na qual o jogo é baseado.

**Palavras chave**—Educação, Ensino, Jogos, Programação.

## I. INTRODUÇÃO

A tecnologia tem se disseminado em inúmeros setores, inclusive na educação, se tornando um caminho para aumentar o dinamismo na sala de aula. Segundo pesquisas realizadas por Nuria Pons Vilardell Camas, pesquisadora e professora do setor de educação da Universidade Federal do Paraná (UFPR), o uso da tecnologia faz com que se produza novos materiais dos quais o aluno terá mais facilidade em assimilar o conhecimento adquirido em sala de aula[1].

Buscando inovar em sala de aula, muitos profissionais têm buscado utilizar de ferramentas como celulares, computadores, *notebooks*, *tablets*, *videogames* e televisões, estes tornam as aulas mais interativas e interessantes. Em 2016, uma pesquisa realizada pela TIC Educação indicou que 95% das escolas públicas e 98% das particulares localizadas em áreas urbanas já possuíam ao menos um computador com conexão à *Internet*, possibilitando a integração dos alunos com a atualidade[2].

Dentre as atividades que podem ser realizadas fazendo uso destes dispositivos, os jogos eletrônicos se destacam como uma das atividades que mais chamam a atenção dos jovens, exatamente por envolvê-los em atividades lúdicas e que quebram completamente a forma tradicional pela qual

um conteúdo é apresentado. Segundo Patrick Moratori, pesquisador da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), jogos de caráter didático podem contribuir no desenvolvimento da criatividade, do senso crítico, da competição sadia, da observação e do resgate do prazer em aprender[3].

Em meio aos diversos assuntos e competências que os jogos digitais podem ser aplicados para auxiliar no processo de prática ou aprendizagem, a programação tem se tornado um assunto alvo nos últimos tempos, pois segundo Mitchel Resnick, pesquisador do Massachusetts Institute of Technology(MIT), a programação tem se tornado tão importante quanto ler e escrever[4]. Apesar da sua importância, ensinar lógica de programação a iniciantes não é uma tarefa fácil, por isso, os jogos podem se tornar grandes aliados dos professores ou tutores no ensino desta competência.

Com o objetivo de auxiliar jovens iniciantes na prática de assuntos relacionados à lógica de programação, este trabalho apresenta uma proposta de jogo intitulado *CodeTroopers*. Com uma temática futurista, este jogo se baseia na série de filmes *Star Wars*, em que o jogador se passa por um soldado *Storm-Trooper* que, para ter sucesso em suas missões, deve realizar uma série de desafios de programação que estão espalhados pela galáxia.

A seguir este artigo está organizado da seguinte forma: na seção II são apresentados estudos e trabalhos relacionados que serviram de motivação para desenvolvimento deste trabalho e que também buscaram por meio dos jogos eletrônicos ensinar ou praticar conceitos de programação com estudantes. Na seção III são apresentadas de forma individual detalhes de operação de cada uma das ferramentas utilizadas para desenvolvimento deste jogo. Na seção IV é apresentado detalhes de funcionamento do mesmo, e por fim, na seção V, são apresentadas as conclusões do trabalho.

## II. TRABALHOS RELACIONADOS

Na busca por modernizar o setor educacional, educadores têm buscado inserir seus alunos em um ambiente agradável e inovador a fim de motivá-los a aprender. Para isto, muitos têm utilizado de aulas mais dinâmicas e jogos, para que assim se torne um facilitador do aprendizado e não um repetidor de conceitos[5]. Dayane Castro, bacharel em psicologia, e

Adriana Tredezini, mestre em educação, retratam que por meio de atividades lúdicas as crianças começam a formar seus conceitos, relacionarem suas ideias, estabelecem afinidades, desenvolvem expressões corporais, aprimoram suas habilidades sociais e seus processos de conhecimento[6].

Aliar a programação a jogos facilita o aprendizado. Na pesquisa feita por Martins *et al.*, membros da Universidade Presbiteriana Mackenzie - Faculdade de Computação e Informática, cerca de 95% dos estudantes consideraram que aprenderam mais programação, 90% passaram a gostar mais de programar e 72,3% dos estudantes se sentiu mais motivado nesta disciplina por causa do uso de jogos[7].

Na busca por alternativas de aprendizado de programação, pode-se citar plataformas *online* como o *CHECKIO*, *Ruby Warrior*, *Code Combat*, *Code.org*, entre muitos outros.

O *CHECKIO* é um jogo *online*, gratuito, criado por um time de programadores e educadores que conta com mais de 40 mil usuários, constituído por programadores iniciantes e veteranos. Este jogo oferece quebra cabeças e outros desafios que precisam ser solucionados por meio de códigos em *Python* ou *Javascript*. Na mesma página também é possível conhecer um novo jogo de programação da mesma equipe, o *Empire of Code*, este envolve a construção de bases espaciais utilizando a programação[8].

O *Ruby Warrior* é uma aventura em que um guerreiro medieval precisa explorar uma torre repleta de desafios. Para comandar as ações desse personagem, os jogadores escrevem linhas de código em *Ruby*. Esse jogo também é gratuito e capaz de, inclusive, ensinar os primeiros passos de *Ruby* para quem quer aprender a programar nessa linguagem[8].

Disponível inclusive em português, o *Code Combat* é um jogo desenvolvido por uma *startup* educacional em São Francisco, que leva o mesmo nome que o seu produto principal. É um *Rolling Playing Game(RPG)* em que, para se desenvolver e avançar na história, é necessário escrever código em *Python* ou *Javascript*. Cada fase aborda um aspecto diferente da linguagem e da programação[8].

O *Code.org* é uma organização sem fins lucrativos dedicada a ensinar conceitos de ciências da computação. Ela ensina por meio de programação em blocos, possibilitando ensinar crianças desde os 4 anos de idade[9]. Em Hora do Código, o usuário tem diversas opções de jogos, como *Minecraft* Hora do Código e Guerra das Estrelas: construindo uma galáxia com programação, assim colocando em prática o que foi aprendido.

Embasando nestes jogos, vê-se que as linguagens utilizadas para aprender são: linguagem em blocos, *Python* e *JavaScript*. Estas encontram-se entre as principais linguagens do ano[10], entretanto, existem outras linguagens não exploradas para ensinar jovens devido a sua complexidade. A Linguagem C++ é muito poderosa, porém, difícil de assimilar rapidamente, necessitando treinamento. O C++ é muito utilizado em maratonas de programação devido a sua rapidez[11]. Por conta disto, foi a linguagem alvo deste trabalho.

### III. DESENVOLVIMENTO DO JOGO

Para o desenvolvimento do jogo *CodeTroopers* foram necessárias diversas ferramentas que serão discutidas nesta seção. As ferramentas mais utilizadas foram: *Unity*, *Blender*, *Visual Studio*, *Inkscape*, *Illustrator* e *Photoshop*.

#### A. Unity

A ferramenta base para o desenvolvimento do jogo foi o *framework Unity* 2017, que consiste em um *software* base para o desenvolvimento de um jogo eletrônico de computador ou outras plataformas[12].

Lançada em 2004 por David Helgason, Joachim Ante e Nicholas Francis, hoje a *engine* de jogos *Unity* é a mais popular entre os desenvolvedores. 34% dos maiores jogos para dispositivos móveis disponíveis para *download* foram construídos fazendo o uso desta plataforma[13].

O *Unity* oferece aos seus usuários uma gama de ferramentas internas que facilitam o desenvolvimento do projeto, conta com uma comunidade *online* muito ativa, possibilitando que desenvolvedores possam compartilhar experiências e soluções para problemas durante o processo de desenvolvimento. Além disso, possui uma documentação detalhada, que foi utilizada no decorrer do desenvolvimento deste projeto.

A interface do *software* é amigável, inclui abas que proporciona a organização dos ambientes e dos arquivos de projetos, podendo ser separados em pastas. Os objetos que estão presentes na cena são listados em abas diferentes, sendo apresentados em forma de árvore, compondo assim hierarquias.

Outro recurso importante do *Unity*, é a física que vem integrada ao *software*. Com ela é possível atribuir massa, força, momento, atrito e outras características aos objetos. Essas propriedades são simuladas por sistemas *PhysX* da *nVidia* utilizadas em grandes jogos no mercado[14].

Entretanto, a *engine* não realiza funções de modelagem 3D avançada e nem de edição de imagem de forma complexa, assim, é necessário o uso de outros *softwares* para realizar essas funções. Apesar de suas limitações, o *Unity* apresenta grande flexibilidade para com outros *softwares* e aceita uma grande quantidade de extensões diferentes, possibilitando assim, importar arquivos oriundos de outros *softwares* para o projeto.

Neste projeto foi utilizada a versão 2017.1.1f1 da ferramenta *Unity*.

#### B. Blender

Para o uso de objetos em três dimensões no projeto foi necessário uma ferramenta de modelagem 3D que fosse capaz de realizar o processo de texturização, modelagem e animação. A ferramenta escolhida foi o *Blender* que é uma suíte de produção 3D voltada para a criação de animações e imagens estáticas[16].

*Blender* é uma ferramenta usada não somente para jogos, mas também para animações e projetos cinematográficos. Foi desenvolvido por Ton Roosenthal baseado em um projeto *in-house* do estúdio de animação *NeoGeo*, mas a partir de 1998, Ton reescreveu o projeto, que se tornaria o atual *Blender*[17].

Atualmente é mantido pela *Blender Foundation* que é suportado por doações da comunidade e vendas de materiais relativos a ferramenta.

Capaz de realizar várias funcionalidades de *pipeline* 3D, inclui: modelagem, animações, simulações, renderizações, *rigging*, composição e rastreamento de movimento[18]. É uma ferramenta completa para aqueles que desenvolvem projetos que exigem modelagem em três dimensões e ainda para aqueles que desejam aprender sobre modelagem 3D.

O *software* porém apresenta uma interface complexa de se lidar para aqueles que não estão habituados com o ambiente, suas ferramentas mais gerais são simples para se acessar e utilizar, contudo, grande parte de suas ferramentas são acessíveis por diversos atalhos de teclas, por esse motivo, é necessário do usuário empenho e prática para o uso profissional da ferramenta.

Apesar de suas peculiaridades o *Blender* é um *software* muito utilizado, e por esse motivo, é fácil encontrar livros e videoaulas que possibilitam assimilar suas funcionalidades.

Neste projeto foi utilizada a versão 2.78 da ferramenta *Blender*.

### C. Visual Studio

Como explicitado, o *Unity* apresenta seu próprio editor de texto capaz de realizar a compilação de código fonte. Contudo, foi escolhido um *software* externo ao *Unity* para a o desenvolvimento dos códigos, o *Visual Studio*. Este foi desenvolvido pela *Microsoft*, utilizado para desenvolvimento de programas de computador, *web sites*, aplicativos móveis, entre outros. Ainda é capaz de ser integrado a outros *softwares*, como o *Unity*.

É vantajoso a utilização do *software Visual Studio* pela facilidade com que esse trata programas mais complexos, assim é possível manter o controle do fluxo de desenvolvimento dos códigos. Uma característica marcante deste editor é o *IntelliSense*, que permite a inserção rápida de códigos, detecção e correção de erros feito de modo ágil. Ainda apresenta uma série de atalhos que permitem a inserção de códigos que são comumente utilizados de forma rápida.

A integração do *Visual Studio* com o *Unity* é feita por meio da instalação da extensão *Visual Studio Tools* para o *Unity(VSTU)* e, assim, utilizar o ambiente do editor de texto para elaborar códigos na linguagem C# e utilizar o depurador do *Visual Studio* para localizar e corrigir erros[19].

Neste projeto foi utilizada a versão 1.18.1 da ferramenta *Visual Studio Code*.

### D. Inkscape

O *Inkscape* foi um dos *softwares* utilizados para o desenvolvimento dos objetos 2D do projeto. Se trata de um editor de gráficos vetoriais de qualidade profissional que roda em *Windows*, *Mac OS X* e *GNU/Linux*. É usado por entusiastas e profissionais de *design* em todo o mundo, para a criação de uma grande variedade de gráficos, tais como ilustrações, ícones, logotipos, diagramas, mapas e gráficos da *web*. O *Inkscape* usa o padrão aberto *Scalable Vector Graphics(SVG)*

do consórcio W3C como seu formato nativo e é uma aplicação de uso livre e de código aberto[20].

Neste projeto foi utilizada a versão 0.92.2 da ferramenta *Inkscape*.

### E. Illustrator

O *Adobe Illustrator CC*, criado em 1987[21], é um aplicativo padrão do setor de gráficos vetoriais. Ele permite criar logotipos, ícones, desenhos, tipografia e ilustrações para impressão[22]. Por contar com recursos de vetores, as imagens podem sofrer alteração em seu tamanho sem perder a nitidez.

Neste projeto foi utilizada a versão 2017.1.0 da ferramenta *Illustrator*.

### F. Photoshop

O *Adobe Photoshop CC*, lançado em 1987, é um aplicativo de imagens e *design* que permite criar e aprimorar fotos e ilustrações. Contém ferramentas intuitivas e modelos fáceis de usar, permitindo realizar edições parciais ou completas em fotos. O *Photoshop* oferece um conjunto completo de ferramentas de fotografia para transformar fotos em obras de arte. Ajustes, cortes, remoção de objetos, retoque, aplicação de efeitos e reparação de fotos antigas são alguns dos recursos oferecidos[23].

Neste projeto foi utilizada a versão 2017.1.1 da ferramenta *Photoshop*.

## IV. O JOGO CODETROOPERS

O jogo *Codetroopers* tem como objetivo ser um catalisador para o ensino de programação na linguagem C++. Para tanto, é necessário abordar conteúdos sobre matemática e lógica. O jogo apresenta uma interface de fácil interação para a maior parte dos usuários habituados com o ambiente de jogos eletrônicos.

### A. Descrição

O jogo em desenvolvimento é do gênero de plataforma com rolagem lateral. É inspirado na conhecida série de filmes *Star Wars*, e nos quesitos jogabilidade e arte conceitual, lembra o jogo *Super Mario Bros*.

O jogador controla um *stormtrooper*, um personagem membro do império, desenhado e vetorizado no *software Illustrator* e ilustrado na Figura 1. Este é um novo soldado da tropa que está realizando seu treinamento e deve entender os conceitos de programação e lógica, pois é um membro da unidade de engenharia do império.



Fig. 1. Stormtrooper



A história do jogo inicia quando os rebeldes danificam instalações do império e precisam ser reparadas imediatamente. O jogador por meio do personagem é o responsável por reparar os danos causados, para isso, este deve concluir os desafios apresentados.

As aventuras do jogador se passam em uma galáxia composta por 4 mundos diferentes. Nas Figuras 2 e 3 tem-se a galáxia que foi elaborada no *software Blender*, os mundos são Figuras 3D que foram incorporadas no jogo traçando a jornada do usuário.



Fig. 2. Galáxia



Fig. 3. Mundos do jogo

Os desafios se encontram nas caixas de perguntas como mostra a Figura 4, e no decorrer das fases são impostos desafios ainda que são temporizados para que a experiência de uma competição de programação seja apresentada ao jogador. Quanto mais tempo ele levar para finalizar menos pontos este adquire.



Fig. 4. Bloco de desafio

A conclusão bem sucedida dos desafios gera uma pontuação que reflete a eficácia do jogador de compreender os desafios e obter a resposta correta no menor tempo possível. Outras formas de se obter pontuação no jogo são possíveis através da coleta de moedas espalhadas pelos cenários e ainda na colisão com blocos específicos, assim, o jogo se torna competitivo entre os jogadores que o utilizam, de forma que a pontuação reflete a proficiência deste na linguagem de programação.

A jogabilidade se assemelha ao conhecido *Super Mario Bros* assim como a interface do jogo, de forma que o ambiente utilizado seja agradável ao usuário e geralmente familiar.

## B. Como Jogar

Ao se iniciar o jogo o usuário é levado ao menu principal, nesta tela o jogador pode iniciar um novo jogo, carregar um jogo salvo, visualizar os créditos ou finalizar a aplicação. O menu inicial pode ser visualizado na Figura 5.



Fig. 5. Menu

Quando um novo jogo é iniciado o usuário deve escolher o seu nome e escolher a dificuldade do jogo. O nível de dificuldade do jogo influencia o desafios, a pontuação e a movimentação dos inimigos presentes no cenário assim como de obstáculos móveis. Quando a confirmação dos parâmetros é dada o jogador é levado a uma breve introdução do jogo, isso ocorre para a imersão do jogador no cenário do jogo.

Após a introdução o jogador é levado a um cenário tridimensional onde poderá realizar a seleção da fase que este se encontra. As fases são liberadas à medida que o jogador progride no jogo. O progresso é dado conforme as fases são completadas. Quando são atingidos determinados valores de progresso correspondentes ao termino de um mundo, outro é liberado.

Quando o jogador opta pelo carregamento de um jogo previamente salvo este é levado diretamente ao cenário de seleção de fases, com os mundos liberados de acordo com o progresso salvo. As definições do jogador sobre a dificuldade não necessitam ser refeitas.

O jogo conta com salvamento automático, a cada fase concluída o progresso é atualizado.

Como o jogo *CodeTroopers* tem o intuito de auxiliar no ensino de programação este apresenta vídeo aulas para o jogador. Essas são apresentadas ao usuário sempre que um novo mundo é disponibilizado, assim é possível apresentar ao jogador o intuito dos desafios do novo cenário. Nota-se que a primeira vídeo aula se trata sobre um tutorial de como prosseguir com os desafios, para que a experiência seja mais fluida, como pode ser visualizado na Figura 6.

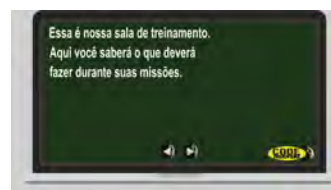


Fig. 6. Tela de treinamento

As vídeo aulas são sempre seguidas por um mapa de seleção bidimensional semelhante a de *Super Mario Bros* onde é selecionado a fase em que o jogador se encontra no mundo

indicado anteriormente. A seleção da fase é feita pelo *mouse* e tem como marcador de posição um personagem *Stormtrooper*, representado na Figura 7.



Fig. 7. Mapa mundo 1

Selecionado a fase o soldado se move a posição e o cenário é iniciado. A navegação do personagem é apresentada no início da primeira fase do primeiro mundo. Esta é dada pelas setas do teclado ou pelas teclas W, A, D e com pulo acionado pela tecla espaço do teclado.

No jogo o usuário se depara com diversos obstáculos, inimigos e desafios, mostrados na Figura 8. O objetivo do jogador é obter a maior pontuação possível no cenário completando todos os desafios presentes e assim alcançando o final do cenário. Esta é influenciada pela dificuldade e a velocidade que o jogador é capaz de completar os desafios.



Fig. 8. Inimigos

Os desafios que o jogador se depara pela primeira vez são explicados por tutoriais semelhantes aos da vídeo aulas, para que o jogador seja instruído para como prosseguir durante os desafios.

No fim de todo cenário há um pilar, apresentado na Figura 9 que quando sofre uma colisão com o jogador avalia se os desafios foram completados. O jogador só pode finalizar o cenário com sucesso caso todos os desafios tenham sido feitos. Se os desafios não foram completados uma mensagem é apresentada ao jogador instruindo-o a completar todos os desafios para prosseguir, presente na Figura 10. Caso os desafios estejam completos o jogador deixa o cenário retornando ao cenário de seleção de fases.



Fig. 9. Fim de fase

### C. Desafios

Os jogos dos desafios são do gênero *puzzle*(quebra-cabeça), testando diversas habilidades do jogador, como lógica, es-



Fig. 10. Tela de instrução para finalizar o desafio

tratégia, reconhecimento de padrões, solução de sequências e ter que completar frases, incluindo a pressão por tempo.

Para orientar o jogador as videoaulas foram feitas através de animações e diálogos. As lições sucederam da disciplina de algoritmos. O usuário é submetido a diversos desafios aprendendo pelo método mnemônico de repetição.

Primeiramente estimula-se o pensamento lógico e então conceitos de programação são introduzidos. Cada mundo traz desafios diferentes e que abordam tópicos diferentes, constituídos por pensamento lógico; entrada e saída de dados; condicional; e repetição.

Os conhecimentos matemáticos e lógicos são testados com os seguintes problemas:

- Alcançar valores apenas com alguns números e poucos operadores, apresentado na Figura 11.



Fig. 11. Calculadora lógica

- Identificar entre vários objetos qual é o mais pesado, demonstrado na Figura 12.



Fig. 12. Balança lógica

- Completar operações utilizando o método arrasta e solta, como o da Figura 13.



Fig. 13. Completando as operações

Nos próximos mundos são apresentados conceitos de variáveis, entrada e saída de dados, condicional e repetições. As Figuras 14 e 15 apresentam estes desafios.



Fig. 14. Organizar a frase



Fig. 15. Completando a frase

## V. CONCLUSÃO

A partir de diversas pesquisas viu-se o quanto o uso de tecnologias na educação é importante. Uma das ferramentas utilizadas para estimular a aprendizagem são os jogos, propiciando o desenvolvimento de habilidades cognitivas e motoras. Na busca por introduzir a programação para o ambiente escolar através de jogos eletrônicos, este trabalho teve o intuito mostrar e exercitar de forma simplificada e lúdica o raciocínio lógico e apresentar da mesma forma uma linguagem de programação.

No desenvolvimento do jogo encontrou-se diversos empecilhos, desde a arte conceitual até técnicas. Iniciar o uso de ferramentas nunca utilizadas dificultou no andamento do projeto, entretanto obteve-se resultado satisfatório.

A maior parte do jogo já foi finalizado, entretanto ainda faltam algumas fases e desafios a serem desenvolvidos e também melhorar algumas funcionalidades.

Com a conclusão do jogo é necessário fazer o estudo de caso a fim de demonstrar a veracidade de que o jogo *CodeTroopers* desmistificará que programação é algo difícil e complexo para ser entendido, fazendo com que o jovem inicie a buscar por programação fazendo com que se diferencie dos demais.

## REFERÊNCIAS

- [1] Portal do Professor, “Novas tecnologias facilitam a aprendizagem escolar”, *Governo do Brasil*, Setembro 2014. [Online]. Disponível: <http://www.brasil.gov.br/educacao/2014/07/novas-tecnologias-facilitam-aprendizagem-escolar>.
- [2] NIC.BR/CETIC.BR “TIC Educação - Pesquisa Sobre o Uso das Tecnologias de Informação e Comunicação nas Escolas Brasileiras”, *Cetic.br*, Novembro 2017. [Online]. Disponível: [http://www.cetic.br/media/docs/publicacoes/2/TIC.EDU.2016\\_LivroEletronico.pdf](http://www.cetic.br/media/docs/publicacoes/2/TIC.EDU.2016_LivroEletronico.pdf).
- [3] F. Naspolini de Oliveira, “Artigo: Jogos Educativos: aprender de forma divertida - Fábrica de Jogos”, *Fábrica de Jogos*, Novembro 2013. [Online]. Disponível: <http://www.fabricadejogos.net/posts/artigo-jogos-educativos-aprender-de-forma-divertida/>.
- [4] R. Carvalho, “Por que aprender programação é tão crucial quanto saber ler”, *EXAME*, Agosto 2015. [Online]. Disponível: <https://exame.abril.com.br/carreira/por-que-aprender-programacao-e-tao-crucial-quanto-saber-ler/>.
- [5] D. F. Castro e A. L. M. Tredezini, “A importância do jogo/lúdico no processo de ensino-aprendizagem”, *Revista Perquiere*, v. 11, n.1, p. 166-181, 2014.
- [6] V. F. Martins, R. Moreno e I. A. Souza-Concilio, “Desenvolvimento de Jogos para o Ensino de Programação: Relato de Experiência”, *submetido a publicação SBGames 2017 Curitiba PR XVI Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*, 2017. [Online]. Disponível: [https://www.sbgames.org/sbgames2017/papers/CULTURA/FULL.PAPER/173440-versao\\_preliminar.pdf](https://www.sbgames.org/sbgames2017/papers/CULTURA/FULL.PAPER/173440-versao_preliminar.pdf).
- [7] Udacity Brasil, “5 jogos de programação para você treinar suas habilidades”, *Udacity*, Julho 2017. [Online]. Disponível: <https://br.udacity.com/blog/post/jogos-de-programacao>.
- [8] Code.org, “About Us”, *Code.org*, 2018. [Online]. Disponível: <https://code.org/about>.
- [9] S. Cass, “The 2017 Top Programming Languages”, *IEEE Spectrum: Technology, Engineering, and Science News*, July 2017. [Online]. Disponível: <https://spectrum.ieee.org/computing/software/the-2017-top-programming-languages>.
- [10] Codementor, “Best Programming Language For Me in 2016”, *Bestprogramminglanguageforme*, January 2016. [Online]. Disponível: <http://www.bestprogramminglanguageforme.com/why-learn-c-plus-plus>.
- [11] Oxford Dictionaries, “Definition of game engine in English by Oxford Dictionaries”, *Dictionary Online*, 2017. [Online]. Disponível: [https://en.oxforddictionaries.com/definition/game\\_engine](https://en.oxforddictionaries.com/definition/game_engine).
- [12] Unity Technologies, “Unity public informations”, *Unity Technologies*, 2017. [Online]. Disponível: <https://unity3d.com/pt/public-relations>.
- [13] J. D. Craighead, R. R. Murphy, J. Burke, “Using the Unity Game Engine to Develop SARGE”, *A Case Study*, January 2007.
- [14] Unity Technologies, “Unity Documentation”, *Unity Technologies*, 2018. [Online]. Disponível: <https://docs.unity3d.com/Manual/MonoDevelop.html>.
- [15] A. Brito, “Blender 3D Jogos e Animações Interativas”, *Livro*, v. 1, n.1 p. 16-17, 2011.
- [16] Blender Foundation, “Blender History”, *Blender Foundation*, 2017. [Online]. Disponível: <https://www.blender.org/foundation/history/>.
- [17] Blender, “Blender About”, *Blender Foundation*, 2017. [Online]. Disponível: <https://www.blender.org/about/>.
- [18] Microsoft Developer Network, “Visão geral do Visual Studio Tools for Unity”, *Microsoft Corporation*, 2018. [Online]. Disponível: <https://msdn.microsoft.com/pt-br/library/dn940026.aspx/>.
- [19] Desenvolvedores Inkscape, “Visão geral do Inkscape”, *Inkscape.org*, 2018. [Online]. Disponível: <https://inkscape.org/pt-br/sobre/visao-geral/>.
- [20] Adobe Creative Cloud, “The Story Behind Adobe Illustrator (Part 1 of 3) — Adobe Creative Cloud”, *YouTube*, 2014. [Online]. Disponível: [https://www.youtube.com/watch?v=1gaCKT\\_Ncdk](https://www.youtube.com/watch?v=1gaCKT_Ncdk).
- [21] Adobe Systems Incorporated, “O que há de mais moderno em ilustração”, *Adobe.com*, 2018. [Online]. Disponível: <http://www.adobe.com/br/products/illustrator.html>.
- [22] Adobe Systems Incorporated, “Reimagine a realidade”, *Adobe.com*, 2018. [Online]. Disponível: <https://www.adobe.com/br/products/photoshop.html>.



# Desenvolvimento de Ferramenta computacional interativa para o aprendizado sobre o microcontrolador MSP430

Edson Laurindo Marques

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

edsonmarques@gea.inatel.br

Leonardo Siqueira Castilho

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

leonardosiqueira@gea.inatel.br

Ana Letícia Gomes Gonçalves

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

ana.leticia@inatel.br

**Abstract**—The study of microcontrollers in engineering university is a prerequisite. One of the platforms studied is the MSP430 family, as is the case of INATEL. However, due to the complexity of the manual, increased by the non-mastery of the English language by the students, the teachers responsible for the discipline find difficulties in understanding and understanding the configuration fields of the microcontroller peripherals. Based on this problem, this document describes the development process and the result of developing a Java application that generates sample codes to use depending on the parameters required for some applications. Due to the finalization of the activities that took place during the semester, until the finalization of this document, it was not possible to collect statistics on the students' acceptance of the application.

**Index Terms**—java, C language, MSP430, software

**Resumo**—O estudo de microcontroladores em instituições de ensino superior na área da Engenharia é um pré-requisito. Uma das plataformas estudadas é a família MSP430, como é o caso do INATEL. Porém, devido a complexidade do manual, aumentado pelo não domínio do idioma Inglês por parte dos estudantes, os professores responsáveis pela disciplina constataam dificuldades na compreensão e entendimento dos campos de configuração dos periféricos desse microcontrolador. Com base nesse problema, o presente documento descreve o processo de desenvolvimento e o resultado do desenvolvimento de um aplicativo Java que gere códigos exemplos para uso em função dos parâmetros necessários para algumas aplicações. Devido à finalização das atividades terem ocorrido ao longo do semestre letivo, até a finalização desse documento, não foi possível levantar estatísticas quanto à aceitação do aplicativo por parte dos alunos.

**Palavras chave**—java, Linguagem C, MSP430, software.

## I. INTRODUÇÃO

O propósito deste documento é fornecer informações sobre o processo de desenvolvimento e os resultados obtidos do projeto Desenvolvimento de Ferramenta computacional interativa para o aprendizado sobre o microcontrolador MSP430.

## II. PROJETO

### A. Objetivo

Esse projeto tem como principal função auxiliar alunos de engenharia na criação, utilização e compreensão das bibliotecas de periféricos do MSP430G2553 da Texas Instruments.

Também facilitando a elaboração de projetos acadêmicos no decorrer do curso de engenharia do Inatel.

### B. IDE e linguagem

A IDE escolhida foi o Eclipse em sua versão Oxygen. Esse software é um programa de fácil utilização, pois sua interface é bem intuitiva, além de poder ser programado em várias linguagens. A linguagem escolhida foi a mundialmente conhecida JAVA. Essa linguagem tem como principais características a possibilidade de ser multiplataforma, ou seja, um programa criado em JAVA pode rodar no windows, linux ou IOS, facilitando a utilização do aplicativo. Além disso, conta com uma base de informações mais aberta pois é uma linguagem mundialmente utilizada, então todas as problemas no desenvolvimento tem suas soluções facilmente encontradas.

### C. Desenvolvimento

Na primeira fase de desenvolvimento, foi decidido quais seriam os periféricos e para qual IDE de programação de microcontroladores seria contemplado pelo projeto. Entre eles os escolhidos foram o conversor AD, Timer, PWM(Pulse With Modulation) e UART, além da IDE IAR Embedded Workbench. Após isso, iniciou-se o estudo individual de cada um deles, pois todos tem inúmeros parâmetros que podem vir a ser modificados dependendo do usuário e do projeto em questão. Para escolher quais parâmetros de cada periférico seriam colocados no projeto, foi feita uma pesquisa para descobrir a frequência de uso e importância de cada parâmetro. No geral, o CLOCK, as portas de saída ou entrada, e o modo de uso foram os escolhidos, sem ignorar parâmetros básicos de cada um dos periféricos. A terceira fase do desenvolvimento contemplou a criação das telas, e preparação dos parâmetros a serem modificados. Abaixo é apresentado as telas de cada periférico criadas com ajuda do WindowsBuilder dentro do Eclipse, resultando em um visual simples intuitivo:

Como pode ser observado acima, para cada parâmetro que pode ser modificado, existe um caixa de seleção com todas ou quase todas opções, já que alguns parâmetros raramente



Fig. 1. Tela do conversor AD

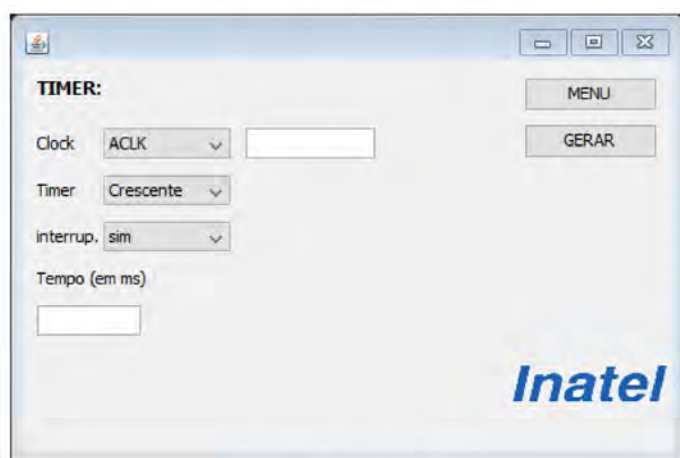


Fig. 2. Tela do Timer

são modificados, isso facilita a vida do usuário garantindo velocidade e praticidade na geração do código para o MSP.

Após a conclusão das telas de cada periférico, iniciou-se a geração dos códigos. Analisando cada escolha feita pelo usuário e garantindo que não haja conflitos entre os parâmetros modificados, o programa inicia a seleção e união de cada retalho de código para gerar dois arquivos, um com extensão C e em H. Esses códigos estão prontos para serem adicionados junto aos projetos de MSP430, necessitando apenas de se adicionar algumas linhas de código ao arquivo principal do IAR de acordo com o código gerado e do periférico utilizado. Essas linhas são a própria inclusão da biblioteca com extensão H e a utilização das funções geradas no arquivo C.

A figura 3 apresenta o código gerado do converso AD utilizando os parâmetros sendo entradas A0, A3, A6 e referencias padrões.

Nessa figura, o usuário selecionou as entradas A0, A3, A6, para isso o programa teve que gerar 3 funções diferentes de leitura, sendo uma para cada entrada analógica. Além disso, a seleção das referências, que são as tensões q irão ser usadas como parâmetros para a conversão do sinal lido, nesse caso

```

1  #include <msp430g2553.h>
2  #include "ad.h"
3  /******
4  void ConfigAD (void){
5      ADC10AE0 |= BIT0;
6      ADC10AE0 |= BIT3;
7      ADC10AE0 |= BIT6;
8      ADC10CTL1=ADC10SSEL_1 + SHS_0 + ADC10DIV_7 + CONSEQ_0;
9  }
10 /*Aqui você terá a/as funções de leitura a serem usadas
14 unsigned int LeAD0(void){
15     unsigned int valor=0;
16     valor = LeAD(INCH_0);
17     return(valor);
18 }
19 unsigned int LeAD3(void){
20     unsigned int valor=0;
21     valor = LeAD(INCH_3);
22     return(valor);
23 }
24 unsigned int LeAD6(void){
25     unsigned int valor=0;
26     valor = LeAD(INCH_6);
27     return(valor);
28 }
29 /******
34 #define AMOSTRAS 100
35 unsigned int LeAD (unsigned int canal){
36     unsigned int valor, amostras;
37     unsigned long int soma=0;
38     ADC10CTL0 |= SREF_0;
39     ADC10CTL0=ADC10CTL0&~(ADC10ON);
40     ADC10CTL0=ADC10CTL0&~(ENC+ADC10SC);
41     ADC10CTL1=ADC10CTL1|canal;
42     ADC10CTL0=ADC10CTL0|ADC10ON;
43     for(amostras=0;amostras<AMOSTRAS;amostras++){
44         ADC10CTL0 = ADC10CTL0 | (ENC + ADC10SC);
45         while ((ADC10CTL0&ADC10IFG)==0);
46         soma=soma+ADC10MEM;
47     }
48     soma=soma/AMOSTRAS;
49     valor=(unsigned int) soma;
50     return (valor);
51 }

```

Fig. 3. conversor com entradas A0, A3, A6 e referencias padrões

as referências serão 3,3 volts para a referência positiva e 0 volts para a referência negativa. Isso cria um espaço de 3,3V onde poderão ser lidos 1023 níveis de valores diferentes sendo 0 em decimal 0V e 1023 3,3V. qualquer sinal que se encontra entre os valores de referência receberá um valor em decimal proporcional. Esse valor será utilizado pelo usuário em seu projeto da forma em que ele escolher, sendo opcional a conversão desse valor para outra grandeza como temperatura ou pressão, dependendo do sensor conectado nas entradas do conversor.

Toda vez que o usuário necessitar modificar qualquer parâmetro, como entrada, modo de varredura ou referências, é necessário recriar os arquivos e substituí-los no projeto.

### III. CONCLUSÕES

Após os testes realizados, pode se observar que tanto o software facilitou todo o trabalho de preparação dos arquivos dos periféricos, minimizando erros e aumentando o nível de aprendizado dos alunos. Em conclusão, o software atendeu

todos os pré-requisitos de forma simples e eficiente, garantindo ao usuário praticidade e velocidade na elaboração de bibliotecas para MSP430G2553.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Ana Leticia Gomes, “Capítulo 3 ? Microcontrolador MSP430” (Apostila), Minas Gerais, 2015.
- [2] Joshua Bloch, “effective java” (*livro*), Indianapolis IN: Addison-Wesley Professional, 2001.
- [3] *Mixed Signal Microcontroller - MSP430G2x53 and MSP430G2x13*, Texas Instruments, Dallas, TX, 2011.
- [4] *MSP430x2xx Family - User's Guide*, Texas Instruments, Dallas, TX, 2004.

# “Piratas do Futuro” - Uma Ferramenta de Gamificação para o Ensino de Algoritmos e Programação

Rosimara Beatriz Arci Salgado<sup>1</sup>

Instituto Nacional de  
Telecomunicações – Inatel  
rosimara@inatel.br

Carlos Alberto Ynoguti

Instituto Nacional de  
Telecomunicações – Inatel  
ynoguti@inatel.br

Jonas Vilasbôas Moreira

Instituto Nacional de  
Telecomunicações – Inatel  
jonas@inatel.br

Lucas Riboli Freire<sup>2</sup>

Instituto Nacional de  
Telecomunicações – Inatel  
lucas.riboli14@gmail.com

**Resumo**—Este artigo traz informações a respeito do desenvolvimento e aperfeiçoamento do jogo “Piratas do Futuro”, uma ferramenta concebida com intuito de auxiliar o ensino e incentivar a aprendizagem de algoritmos e lógica de programação.

**Palavras chave**—RPG, algoritmos, ferramenta educacional, lógica de programação, suporte ao ensino.

## I. INTRODUÇÃO

“Piratas do Futuro” é uma ferramenta inicialmente desenvolvida e criada pelo Eng. Jonas Vilasbôas Moreira, durante sua fase de graduando em Engenharia da Computação do Inatel, no ano de 2011. Um ano depois, em 2012, veio a se tornar um projeto de Iniciação Científica, onde perdura até os dias atuais.

A finalidade deste artigo é justamente fazer uma apresentação da referida ferramenta, que vem sido desenvolvida e aperfeiçoada nos últimos anos e, também, demonstrar a relevância de projetos como esse, que trazem a gamificação das coisas para a educação.

Sendo assim, o artigo foi estruturado da seguinte maneira: na seção II, se conceitua a gamificação e seu efeito no aprendizado. Na seção III, o jogo é apresentado, trazendo os detalhes técnicos e o funcionamento da ferramenta. A seção IV traz as conclusões e, na sequência, as referências para este artigo são listadas.

<sup>1</sup> R. B. A. Salgado (rosimara@inatel.br); J. V. Moreira (jonas@inatel.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.

<sup>2</sup> L. R. Freire (lucas.riboli14@gmail.com) é discente do Curso de Engenharia da Computação do Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel, vinculado ao Programa de Iniciação Científica da FAPEMIG, período de 01/03/2017 a 01/02/2018.

## II. GAMIFICAÇÃO

Para entender o conceito de gamificação, é importante conhecer a definição de jogo. Segundo Karl Kapp, “jogo (*game*) é um sistema no qual os jogadores se envolvem em um desafio abstrato, definido por regras, interatividade e *feedback*, que resultam em um produto quantificável que geralmente obtém uma reação emocional” [1].

A gamificação em si é a utilização de conceitos e ideias de jogos para incentivar alguém a realizar alguma tarefa. Com base nessa definição e intenção, foi desenvolvida uma ferramenta de auxílio ao ensino e aprendizado de programação, chamada de “Piratas do Futuro”.

### A. Gamificação na educação

A gamificação é um fenômeno relativamente novo, mas que se encontra em crescimento devido à popularização de jogos nos últimos anos. Só no Brasil, em 2015, uma pesquisa feita pela NPD Group [2] apontou que 82% das pessoas, na faixa de idade 13-59, jogam em alguma plataforma. Um ótimo número que sinaliza o tanto que os *games* fazem parte da sociedade atual.

Gamificação, como comentada anteriormente, é a aplicação de conceitos provenientes de jogos, tais como sistemas narrativos, recompensas, *feedback*, objetivos, regras, níveis, interação, dentre outros.

Diferente do que pode se pensar, não é necessário fazer um *game* para gamificar algo, basta apenas aplicar esses conceitos no sistema a ser usado. Por exemplo, no livro “Multiplayer Classroom: Designing Coursework as a Game” [3], do professor norte-americano Lee Sheldon, existe um relato interessante e bem sucedido do uso da gamificação em sala de aula. Algumas das mudanças executadas que ele relata são:

- As notas em si já são um sistema de *feedback*, no entanto, ele executou algumas modificações para associar o sistema com os jogos. Ele passou a informar para os alunos que a nota seria um sistema incremental e fez questão de no começo do semestre deixar claro para todos que eles estavam começando com 0 “pontos”. Igual seria em um jogo de verdade;
- Um sistema narrativo foi feito para associar o ambiente com o de RPGs (*Role Playing Game*) *online*, onde cada estudante desenvolvia um personagem para interagir durante as atividades; grupos de alunos foram criados e chamados de guildas, tarefas viraram *quests*, fazer exercícios era o equivalente de derrotar um inimigo. Todo um cenário foi feito para que os estudantes imergissem em sala de aula;
- Erros receberam um tratamento diferente, afinal, em um jogo, quando se faz algo errado é sempre possível tentar de novo. O professor teve que elaborar e, conseqüentemente, corrigir um maior número de atividades em função disso. Ele fazia uma averiguação do porque de um grupo não ter feito algo e passava uma nova missão (tarefa) a eles.

Através não só dessas, mas de outras mudanças também, o professor introduziu a gamificação no seu método de ensino. No livro, ele conclui seu relato, dizendo que essa experiência aumentou o nível de interesse dos alunos, a interação na sala de aula, a motivação e a participação, se provando um meio construtivo de ensino.

É importante denotar que no livro, ele ainda cita diversos professores ao redor do globo, que utilizaram a gamificação em sala de aula, por vezes, com mudanças diferentes das dele, mas ainda assim, obtendo resultados muito positivos com seus alunos.

### B. RPG e a gamificação

RPG é um gênero de jogo no qual o jogador deve criar um personagem para interpretá-lo em algum cenário específico, onde deverá cumprir missões, crescer e mudar o mundo ao seu redor. Nesse estilo de jogo, o jogador deve estar sempre se superando, seja completando desafios ou interagindo com o mundo e aos personagens ao seu redor. Fica fácil de perceber que existe uma imersão muito grande da pessoa naquele ambiente e, como resultado, se obtém uma maior motivação para realizar as tarefas do jogo.

Na vida real, as recompensas por muitas vezes, não parecem vir tão fáceis, os desafios são complexos sem margem para erro e todos os sistemas já estão “pré-definidos” de certo modo. Os jogos, mais especificamente do gênero de RPG, possibilitam certa fuga dessa realidade, proporcionando uma experiência mais prazerosa e, por isso, acabam se destacando quando o assunto é gamificação.

Nos dias atuais, é possível ver que até as pessoas já buscam pela gamificação em áreas da sua vida, um fato possível de ser visto através de aplicativos que cumprem esse objetivo, tais como Habitica, LifeRPG e LevelUp Life. Cada um desses possui centenas de milhares de *downloads*, com usuários respondendo de forma positiva aos aplicativos,

compartilhando que encontraram maior motivação para as atividades e rotinas diárias.

## III. A FERRAMENTA

O jogo “Piratas do Futuro” foi desenvolvido no intuito de ajudar o ensino da disciplina de Algoritmos I, mas também serve como uma ferramenta para introduzir pessoas, principalmente jovens, ao mundo da programação. Algo muito importante nos dias atuais, como coloca Mitchel Resnick pesquisador e diretor do grupo *Lifelong Kindergarten*, do MIT *Media Lab*, quando defende que saber programar no mundo atual é tão importante quanto ler e escrever [4].

O jogo é baseado no gênero RPG (*Role Play Game*), no qual o jogador deve criar um personagem e interpretá-lo em um cenário específico.

### A. Descrição do jogo

O jogo se passa no nosso próprio Planeta, porém no futuro, em um ambiente pós-apocalíptico, onde a água tomou conta de boa parte da superfície da Terra, alterando sua geografia, e governos políticos são figuras do passado. Os militares assumiram controle da população e os insatisfeitos com isso criaram grupos rebeldes ou se tornaram foras da lei. O personagem criado pelo jogador é um errante nesse mundo, ou seja, ainda não tem uma posição definida, algo que deve ser escolhido pela pessoa.

Uma vez dentro desse contexto, cada jogador toma suas próprias decisões e traça seu próprio caminho, criando um relacionamento mais pessoal com o jogo e sendo incentivado a continuar jogando.

O aprendizado de programação é inserido na realização de desafios, que recompensam o aluno com experiência (para passar de nível e ficar mais forte), moedas piratas (dinheiro do jogo usado na compra de itens) e equipamentos. É esperado que os alunos tenham interesse em realizar esses desafios não só para aprender, mas também por conta da competitividade no jogo. No *ranking*, é possível ver sua posição comparada a todos os outros jogadores e, na arena, é possível realizar batalhas para ver quem é o mais forte. Assim como em outros jogos (incluindo esportes), disputas e rivalidade geram um impulso de querer se fortalecer e, nesse caso, o fortalecimento é a programação. Sendo assim, para imersão do aluno no jogo, os professores responsáveis pelo controle da ferramenta deverão criar desafios e cenários que se encaixem na proposta do jogo e dos seus estudantes.

### B. Detalhes técnicos do jogo

“Piratas do Futuro” foi desenvolvido como um sistema *web*, ou seja, foi projetado para ser utilizado através de um navegador de internet (aplicativos como Google Chrome, Firefox, Microsoft Edge, Opera, dentre outros). A intenção é que o jogo seja acessível a todos, visto que, nos dias atuais, o acesso à internet não só é amplo, como também é um direito humano, algo decretado pela ONU (Organização das Nações Unidas) ainda em 2011 [5].

Foram utilizadas as linguagens de programação já comuns em sistemas *web*: PHP (*Hypertext Preprocessor*), HTML (*HyperText Markup Language*), CSS (*Cascading Style Sheets*) e JavaScript, bem como o banco de dados MySQLi (MySQL



improved) para armazenar as informações de entrada dos alunos e professores.

HTML e CSS são linguagens voltadas para a parte visual. Elas não organizam a lógica dos acontecimentos. Essa parte fica para o PHP, responsável pela conexão com o servidor e o banco de dados, entre outras coisas, e também para o *JavaScript*, capaz de executar *scripts* embutidos nas páginas.

Toda a interface foi desenvolvida para se remeter aos temas centrais do jogo: piratas, futuro, pós-apocalipse, programação, dentre outros.

### C. Funcionamento

A ferramenta funciona com três perfis diferentes: o do aluno, o do professor e o do administrador. Seguem as possibilidades do jogo para cada um deles.

#### a. Perfil do aluno

O aluno pode ser considerado o tipo de usuário mais importante, visto que o objetivo do jogo gira em torno dele. O jogador, após criar sua conta e *logar*, deverá, primeiramente, criar um personagem para si. Ele irá definir um nome, os atributos (com uma soma total de 60 pontos), uma habilidade e o item inicial de seu personagem para começar o jogo, conforme apresenta a Figura 1.

#### Cadastro de Personagem

Para cadastrar seu personagem, primeiro escolha um nome:  
Lucas Pirata

#### Pontos de Atributo

Agora, distribua 60 pontos entre os atributos abaixo (tente moderar na distribuição, porque todos os atributos tem sua importância)

Força	Destreza	Vigor	Inteligência	Carisma
10	11	15	13	11

Salvar e continuar

Figura 1. Criando seu personagem

Com tudo definido, o jogador pode navegar pelo jogo; todas as páginas são acessíveis logo de começo e, cabe ao jogador, decidir por onde seguir primeiro. Toda vez que o aluno entra no jogo, a tela de Início é carregada com dicas postadas pelo professor, como pode ser visto na Figura 2. As outras páginas disponíveis são: *Status*, *Inventário*, *Loja*, *Mapa*, *Desafios*, *Missões*, *Arena*, *Ranking* e os *links* de ajuda e contato.

Bem vindo ao Piratas do Futuro!

Dicas para os iniciantes:

Quem completar o desafio 3 e 4 até semana que vem, receberá 1 ponto em sala. Boa sorte piratas!

Publicado por Seleção de Sítio em 01 de fevereiro de 2018.

Novo item adicionado à loja. Não deixem de conferir!

Publicado por Seleção de Sítio em 01 de fevereiro de 2018.

Figura 2. Exibição de dicas do(s) professor(es)

Na página de *Status*, o aluno poderá ver todos os dados de seu personagem, tais como vida, energia, força, inteligência, destreza, constituição e localização atual, tal como demonstrado na Figura 3, além de poder atualizar sua foto de perfil (visualizada por todos no *Ranking* e *Arena*). Vale destacar que a energia e a vida ficam visíveis a todo momento

para o jogador, visto que a energia é necessária para a realização de qualquer atividade e a vida, para lutar na Arena.

Atributos		
Atributo	Valor Base	Valor Temporário
Força	10	10
Destreza	11	11
Vigor	15	15
Inteligência	13	13
Carisma	11	11

Personagem	
Nome: Lucas Pirata	
Status: Bixo	
Nível: 1	
Localização: Ilha dos Ocidentais	

Pontos de vida/Energia	
Atual: 30/28	
MAX: 30/28	

Ataque/Índice de Proteção	
Base: 10/11	
Temporário: 10/11	

Dinheiro	
Dinheiro Pirata: 0	

Atualizar imagem do perfil

Escolher arquivo Nenhum arquivo selecionado Upload

Figura 3. Status do personagem com todos os dados

No Mapa ilustrado na Figura 4, existem várias ilhas disponíveis para se transitar. Cada uma delas possui missões e desafios próprios. Ao clicar em uma ilha diferente, o personagem vai até ela e vê um mapa mais detalhado do local.



Figura 4. Mapa visualizado pelo aluno

*Inventário* é onde o jogador pode ver todos os itens que possui, tal como ilustra a Figura 5, além de se equipar para ficar mais forte.

Equipáveis		Consumíveis	
Imagem		Item	
		Colete de Couro	

Figura 5. Inventário do jogador com um item de armadura

Os itens podem ser adquiridos na Loja, conforme exibe a Figura 6, onde são comprados com moedas piratas ou vendidos em troca delas também. As moedas são adquiridas fazendo missões e desafios, que também podem ter equipamentos como recompensas. Na Loja, ainda é possível obter itens consumíveis, através dos *Battle Points*, que ajudam na recuperação de energia e vida.

Armas Brancas		Armas de Fogo	Armaduras
Imagem	Item	Informações	Nível Requerido
	Granada	Equipado: mãos	2
	Revolwer JR 32 SA	Equipado: mãos	2

Figura 6. Loja na aba de armas de fogo

Missões são atividades no jogo que recompensam o aluno com moedas pirata ou *Battle Points*. Desafios funcionam de forma semelhante. No entanto, eles são a verdadeira atração do jogo. Os desafios são problemas contextualizados no cenário, que necessitam de um algoritmo em C++ para serem resolvidos. As recompensas deles são maiores do que as de uma simples missão, dando, também, experiência ao ser completada e garantindo uma melhor posição no *Ranking*.

A Figura 7 e a Figura 8 ilustram a diferença entre uma missão e um desafio, respectivamente.

1 - Título da missão:  
Se aqueça nesse inverno!

2 - Nível:  
1

3 - Energia necessária:  
5

4 - Descrição:  
Com a maior parte da terra coberta por água, as noites costumam ser muito frias. Você deve caçar alguns animais para aproveitar seu couro para se aquecer. Uma boa opção seria animais grandes, como vacas, iaque, etc.

5 - XP:  
5

6 - Moedas Pirata:  
5

Figura 7. Exemplo de uma missão

1 - Título do problema:  
Saindo da prisão

2 - Nível do problema:  
1

3 - Energia necessária:  
1

4 - Resumo:  
Você foi preso e deixado sozinho em uma sala fechada por um dispositivo eletrônico. Por sorte as pessoas que te prenderam não te revistaram e deixaram seu computador portátil com você. Para sair da sala, basta você criar um código para descriptografar o dispositivo.

5 - Entrada:  
12345

6 - Saída:  
23456

7 - XP:  
200

8 - Battle Points:  
5

Enviar Solução:

Figura 8. Exemplo de um desafio

Arena é onde os jogadores podem batalhar entre si, testando suas habilidades. A luta é simulada através da comparação de atributos dos personagens. Logo, a pessoa com um bom equipamento e mais experiência será, obviamente, mais forte. Ganhar uma luta com alguém resulta em moedas pirata e experiência. Através do *Ranking* exibido na Figura 9, é possível ver os melhores jogadores e chamá-los para uma luta na Arena.

Colocação	Imagem	Nome do jogador	Nome do personagem	XP
1		Lucas R	King	20
2		Aluno Dots	piratex	0

Figura 9. Como o ranking é exibido

Após cada atividade envolvendo o gasto de energia do jogador, é exibida a opção de responder um questionário para diagnosticar a satisfação do usuário com a ferramenta. Como incentivo para o jogador responder, lhe é recompensado 1 *Battle Point*.

Cada um é livre para decidir qual caminho irá tomar para ser melhor no jogo, traçando sua própria história no processo e tornando o jogo Piratas do Futuro uma experiência única para si.

#### b. Perfil do professor

Os alunos são o foco da ferramenta, mas o professor que deve garantir a atenção deles através de dicas, desafios, missões e itens de acordo, não só com o jogo, mas também com o caminho que cada um segue.

Durante a criação de atividades, é o professor que define todas as informações pertencentes a elas, desde o nome, o custo de energia, a descrição, quais serão as recompensas e se deve haver uma atividade realizada antes, para fazer uma nova. Para exemplificar, um professor pode criar o Desafio 4, o qual possui uma Arma, que aumenta o ataque como recompensa e 20 moedas pirata. Os alunos se interessam pelo desafio, devido ao que podem ganhar, no entanto, devem primeiro solucionar o Desafio 3 para, então, poder resolver o Desafio 4.

Como comentado anteriormente, os itens também podem ser criados pelos professores, classificando-se em quatro tipos diferentes: armaduras, armas brancas, armas de fogo e consumíveis. Os três primeiros tipos são aqueles que são equipáveis pelos jogadores e afetam seus atributos. A maneira como afetam e onde no corpo devem ser equipados, além de nome e descrição, são definidos pelo professor.

As atividades do professor não se resumem apenas à criação de desafios, missões e equipamentos. Através da Página de Alunos, também é possível fazer monitoramento de suas ações no jogo, inclusive quanto tempo ficou em um desafio (ou no jogo) e até quantas vezes precisou tentar resolver o algoritmo.

Não existe uma maneira certa de desenvolver as atividades e itens, mas é esperado que o professor use da razão para estabelecer a lógica no jogo. Por exemplo, uma arma de fogo no geral é melhor do que uma arma branca, então, além de ter um atributo melhor, deve também custar mais. A outra observação é a já estabelecida previamente, o professor deve

sempre ter como base em suas criações o mundo já estabelecido.

*c. Perfil do administrador*

O administrador é o responsável por iniciar o jogo. Ele possui todas as funções do professor, porém, com o adicional de cadastrar o professor em si.

#### IV. CONCLUSÕES

A ferramenta “Piratas do Furutor” vem seguindo o movimento de aumento da gamificação das coisas nos últimos tempos. Portanto, espera-se que o jogo represente um recurso promissor para auxiliar o processo de ensino e aprendizagem de algoritmos, algo que será comprovado com o seu uso nas aulas da respectiva disciplina. Entende-se que por meio desse jogo, o professor proporcionará maior motivação aos seus alunos nos estudos.

A primeira versão do jogo foi finalizada em 2017 e, deve-se aplicar o primeiro teste junto aos alunos, em 2018. É esperado que a pesquisa retorne resultados que proporcionem um maior entendimento da eficácia da ferramenta para o aprendizado em algoritmos. Com base nesses resultados, melhorias serão implementadas a fim de proporcionar experiências ainda mais significativas aos alunos, para então, fortalecer as intenções pedagógicas desenhadas para o jogo.

#### REFERÊNCIAS

- [1] KAPP, K. M. *The Gamification Of Learning and Instruction: Game-based Methods and Strategies For Training and Education*. San Francisco: John Wileys& Sons, 2012.
- [2] RILEY, D. *New Report from The NPD Group Provides In-Depth View of Brazil's Gaming Population*. 2015. Disponível em: <<https://www.npd.com/wps/portal/npd/us/news/press-releases/2015/new-report-from-the-npd-group-provides-in-depth-view-of-brazils-gaming-population/>>. Acesso em: 12 jan. 2018.
- [3] SHELTON, L. *The Multiplayer Classroom: Designing Coursework as a Game*. Clifton Park: Cengage Learning, Inc, 2011.
- [4] RESNICK, M. *Reading, Writing, and Programming: MitchResnickatTEDxBeaconStreet*. 2013. 15 min, son., color. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=42\\_30Rgf6F0](https://www.youtube.com/watch?v=42_30Rgf6F0)>. Acesso em: 13 jan. 2018.
- [5] G1, GLOBO. *ONU afirma que acesso à internet é um direito humano*. 2011. Disponível em: <<http://g1.globo.com/tecnologia/noticia/2011/06/onu-afirma-que-acesso-internet-e-um-direito-humano.html>>. Acesso em: 16 jan. 2018.



# Arduino Challenge

Alessandra Carolina Domiciano  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
alessandracarolina@get.inatel.br

Eliza Aparecida Crisóstomo Reis  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
elizaaparecida@get.inatel.br

Ana Flávia de Almeida  
Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel  
anaalmeida@gea.inatel.br

Luan Vilela Bertolucci  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
luanvb@gmail.com

Bruno Roque Gozo  
Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel  
brunoroque@gea.inatel.br

Rodolfo Fernandes Becker  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
rodolfobecker@gec.inatel.br

**Resumo - O Arduino Challenge é uma competição de robótica que utiliza da plataforma arduino, organizada pelo Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL. Nesta competição, é visado a aproximação de estudantes do ensino médio e fundamental às áreas de engenharia e tecnologia, através de alguns elementos de robótica, automação e computação.**

**Palavras chave – Arduino, Arduino Challenge, robótica, programação.**

**Abstract— The Arduino Challenge is a competition organized by INATEL. This competition, aim to approach high school students to the engineering areas and technology, through some robotic elements, automation and computing.**

## INTRODUÇÃO

Os estudantes, ao iniciarem o ensino médio, começam a sentir a necessidade de decidir o que farão após o término deste ciclo. A escolha da profissão é uma decisão importante que tem grande impacto no futuro do jovem, mesmo não sendo necessariamente definitiva. Ela deve ser tomada através do autoconhecimento e do ponderamento de questões práticas como o mercado de trabalho, a remuneração e a rotina daquela função, fatores que só são conhecidos após pesquisas e algum contato com as opções que despertarem interesse. Essa é uma questão que preocupa muito os estudantes, gerando insegurança e ansiedade naqueles que ainda não têm a clareza de qual caminho optar.

Uma pesquisa realizada na cidade de São Paulo pela Universidade Anhembi Morumbi com 18.477 estudantes do 3º ano do ensino médio, dos quais 66% eram da rede privada, revelou que 59% desses alunos já decidiram a carreira em que seguirão no futuro. Porém, desse percentual,

apenas 46% declarou ter mantido algum contato com a profissão escolhida. [1]

Considerando a era de inovações tecnológicas em que o mundo vive atualmente, era esperado que os jovens buscassem cada vez mais áreas correlacionadas à ciência e tecnologia. Todavia, isso não é uma realidade e um dos motivos é o fato de que a ciência exatas e naturais são consideradas como ramos muito difíceis (78% dos estudantes, segundo o projeto). No entanto, tal conclusão é tomada pelos estudantes sem nem mesmo terem uma vivência prática dessas graduações. Pelo contrário, têm em sala de aula uma falta de utilização dos recursos tecnológicos que poderiam além de incentivar e auxiliar nos estudos, ajudá-los a compreender melhor tais áreas acadêmicas propiciando uma base de experimentação para que possam posteriormente efetuar uma escolha convincente. [2]

Com o intuito de aproximar os alunos do nono ano do ensino fundamental II e primeiro ano do ensino médio às áreas de engenharia e tecnologia, o Inatel organiza o Torneio Arduino Challenge, que através de alguns elementos de robótica, eletrônica e computação buscam despertar uma percepção mais aguçada aos mesmos, utilizando-se de recursos como, por exemplo, conhecimento empírico.

A proposta principal do projeto consiste que os alunos participantes solucionem diversos desafios, tendo como base a placa Arduino, uma plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre e de fácil utilização.

O torneio acontece em quatro etapas distintas: treinamento online, classificatória, semifinal e final. A classificatória é uma etapa interna, onde apenas as equipes de um mesmo colégio competem entre si. Nesta fase, sai 01 (uma) equipe campeã, que automaticamente é classificada para a semifinal, aonde

compete com as equipes vencedoras de outros colégios. Na semifinal, apenas 04 (quatro) equipes são classificadas para a final, onde teremos apenas 01 (um) grande vencedor.

## OBJETIVO

Com este panorama atual, o projeto em questão objetiva-se a proporcionar uma vivência prática voltada para Engenharia, mais especificamente áreas correlatas à robótica e programação, a fim de instigar os estudantes a buscarem cada vez mais áreas relacionadas com a tecnologia, além de mostrar aos docentes a possibilidade de união entre sala de aula e recursos tecnológicos. Para tal, desenvolveu-se o projeto Arduino Challenge com estudantes do 9º ano do ensino fundamental II e 1º ano do ensino médio de escolas privadas do estado de São Paulo.

O torneio tem como função principal desenvolver habilidades de *hard-skills* (aspectos técnicos) e *soft-skills* (características pessoais).

## DESENVOLVIMENTO

O torneio acontece em quatro etapas distintas: treinamento online, aula presencial e classificatória, semifinal e final.

### A. Treinamento online (apostilas + vídeo aulas + aplicativo)

O primeiro contato dos participantes é através das apostilas de Software e Hardware enviadas ao colégio, no qual eles conseguem o conhecimento necessário para nivelamento do torneio e se orientar para as primeiras práticas. Uma gama de vídeo-aulas também é liberada para os alunos para que estes consigam obter o máximo de conhecimento prévio. Neste momento também são marcadas tira-dúvidas online com os competidores, a fim de verificar a absorção dos mesmos diante o conteúdo abordado, além do acesso ao aplicativo “Arduino Inatel”, onde é possível encontrar quizzes e atividades complementares de estudo.

### B. Aula presencial e classificatória

A aula presencial e a classificatória ocorrem no mesmo dia, no qual a equipe do Arduino vai até ao colégio participante. No período da manhã (08h30 às 12h) acontece a aula de *review* com todo o conteúdo abordado no treinamento online. Neste momento todos contam com a ajuda dos monitores para esclarecer alguma dúvida e também reforçar algum conceito que é essencial para a execução da prática. Exercícios de fixação e desafios são utilizados para um maior aproveitamento por parte dos alunos. Já no período da tarde (13h30 às 16h30) se dá a etapa classificatória da competição. Neste período, os desafios são expostos aos competidores e o grupo que conseguir resolver todos os desafios em menor tempo, ou uma maior quantidade dentro do tempo pré-determinado da competição, será classificado para a semifinal.

Entre a etapa classificatória e semifinal, os alunos semifinalistas passam por um novo treinamento online, com o objetivo de aprofundar todo o seu conhecimento. Esse treinamento segue os mesmos procedimentos do treinamento anterior.

### C. Semifinal e Final

As etapas semifinal e final acontecem no mesmo dia. No período da manhã a semifinal e na parte da tarde a grande final. Na primeira parte todos os grupos classificados competem com o intuito de resolver a maior quantidade de desafios em um menor tempo possível. Sem o material de apoio e sem a ajuda dos monitores, os participantes têm o papel de cumprir as missões para conseguir a vaga na grande final. Após concluir cada missão é necessário que um monitor avalie e faça a conferência da resolução, aprovando ou não a equipe naquela missão.

As quatro equipes com o maior rendimento são classificadas para a grande final do Arduino Challenge. Nesta etapa, novos desafios são impostos, e a equipe que obtiver a melhor pontuação é a grande vencedora.

É válido ressaltar, que um dia antes da etapa semifinal e final, todos os participantes passam por um treinamento presencial a fim de recordar e praticar todo o conhecimento adquirido deste o início da competição até o presente momento.

Em todas as fases da competição, os desafios propostos aos alunos são desenvolvidos em cima da programação da placa Arduino que controla um carrinho. Esse carrinho é apresentado na imagem abaixo.

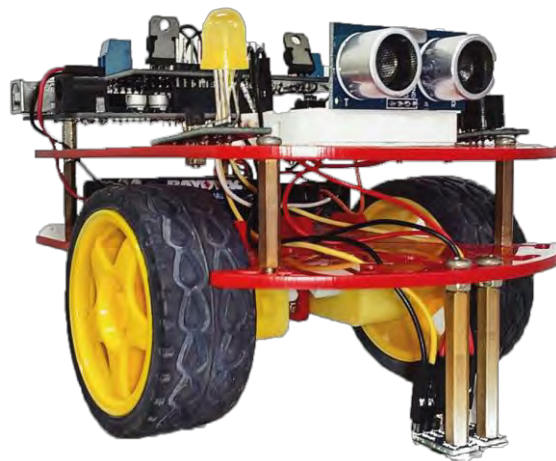


Figura 1: Carrinho utilizado na competição

Outro grande diferencial do projeto é o desenvolvimento de um relacionamento mais próximo com os participantes. A ideia é se aproximar dos mesmos para passar informações da competição em formato mais instantâneo e, para apresentar novos conteúdos complementares (opcional), dicas e

curiosidades. Para isso, o projeto contém um grupo fechado no facebook (rede social mais utilizada em todo o mundo).

#### ANÁLISE GERAL

Avaliando toda atividade desenvolvida pelo Arduino Challenge, percebe-se que são trabalhados vários aspectos com os alunos além da parte técnica, manipulação e programação de periféricos do Arduino (*hard-skills*). O *soft-skills* também é considerado em todo o processo, como por exemplo, trabalho em equipe, atribuição de responsabilidades a cada membro, ética e dignidade durante toda competição, já que o Arduino Challenge possui regras muito claras sobre plágio e ofensas entre os competidores, espírito de liderança e comprometimento.

Durante as etapas da competição, todos os colégios receberam o mesmo material, vídeo-aulas, acesso ao aplicativo Arduino Inatel além do tira-dúvidas online. Assim foi transmitido o mesmo nível de conhecimento a todos.

Métricas de avaliação de satisfação também são aplicadas ao término das atividades para colher possíveis pontos negativos e positivos com objetivo de corrigir os ‘gaps’ e potencializar os pontos positivos.

É esperado porém, que alguns problemas surjam durante o processo, tais como defeitos físicos nos carrinhos ou de programação. Para problemas físicos o projeto possui carrinhos reservas para que não aja um desequilíbrio e falta de compromisso com os participantes, substituindo imediatamente a peça com defeito, e posteriormente os carrinhos defeituosos vão para a manutenção. Caso o problema seja lógico ou erros de sintaxe, é avaliado o nível de dificuldade dos alunos e os monitores os assistem com o procedimento mais adequado.

#### CONCLUSÃO

Na edição realizada no ano de 2017 o torneio Arduino Challenge impactou 560 alunos devidamente matriculados no 9º ano do ensino fundamental II e 1º ano do ensino médio, em “15” colégios distribuídos nas cidades de São Paulo, São José dos Campos, Botucatu, Santos e São Joaquim da Barra. Dos 15 colégios participantes na etapa classificatória, 10 estiveram presentes nas etapas semifinal e final que aconteceu na cidade de Santa Rita do Sapucaí.

É importante visar que o Arduino Challenge é um trabalho a longo prazo, o primeiro contato com o Arduino faz despertar o interesse no público, porém mantendo contato através das mídias sociais é feito um processo de lapidação e extensão do conhecimento da área de engenharia. A cada ano é possível ver a evolução do torneio, cada vez com atividades mais elaboradas, atingindo um público cada vez maior, e estimulando a carreira de engenharia.

Durante todo o processo, os alunos tiveram a oportunidade de estar em contato com os princípios da eletrônica, da robótica e da computação. Puderam conhecer o campus do Inatel, seus laboratórios e tiveram contato com alunos de engenharia estreitando a distância entre o ensino médio e a graduação.

Para a próxima edição a equipe irá atuar nas regiões de Minas gerais, São Paulo e Rio de Janeiro.

#### REFERÊNCIAS

- [1]<https://veja.abril.com.br/educacao/metade-dos-jovens-escolhe-carreira-sem-conhecer-profissao/>. Acesso em: 08 de janeiro 2018
- [2]<https://jornalggn.com.br/blog/luisnassif/estudantes-preterem-carreira-nas-ciencias-exatas-ou-naturais>. Acesso em 08 de janeiro 2018

# CONSTRUÇÃO DE IMPRESSORA 3D COM PLATAFORMA ARDUINO

Baltazar J. Ribeiro

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais  
CEFET-MG, campus Nepomuceno.  
baltazarjonas@cefetmg.br

Ítalo Eluezer Rodrigues Vicente

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais  
CEFET-MG, campus Nepomuceno.  
italoeluezer@hotmail.com

**Abstract**—The 3D printer is an electronic device designed to print several overlapping two-dimensional layers, forming the desired three-dimensional image. The market for these types of printers is expanding due to its application in several areas of knowledge. However, one factor that must be taken into account is the high cost of this type of product. In the project presented here it is proposed to construct a device, with relatively low cost, which reproduces objects in three dimensions from an image in the computer. For the execution of the project, we used the Arduino platform and the Repetier software, such a software is responsible for passing the three-dimensional figures to the Arduino platform. Furthermore, in order to spread the process of building the 3D printer for the student community, a three-dimensional animation, using the Solidworks software will be constructed.

**Index Terms**—Arduino, 3D Printer, SolidWorks.

**Resumo**—A impressora 3D é um dispositivo eletrônico projetado para imprimir várias camadas superpostas de duas dimensões, formando assim a imagem tridimensional desejada. O mercado para esses tipos de impressoras está se expandindo devido à sua aplicação em diversas áreas do conhecimento. No entanto, um dos fatores que devem ser levados em consideração é o alto custo desse tipo de produto. No projeto apresentado aqui, propõe-se a construção de um dispositivo, com custo relativamente baixo, capaz de reproduzir objetos em três dimensões a partir de uma imagem no computador. Para a execução do projeto, utilizamos a plataforma Arduino e o software Repetier, que é um software responsável por passar as figuras tridimensionais para a plataforma Arduino. Além disso, uma animação tridimensional, usando o Solidworks Software, será usada para divulgar o processo de construção da impressora 3D para a comunidade estudantil.

**Palavras chave**—Arduíno, Impressora 3D, SolidWorks.

## I. INTRODUÇÃO

Uma impressora 3D é um equipamento que imprime objetos tridimensionais projetados por um software. A impressão é feita pela superposição de finas camadas 2D, formando o objeto pretendido. A primeira impressora 3D funcionando foi inventada por Chuck Hull[1]. O setor de produção para este segmento está se expandindo e especialistas apontam para a formação de um amplo mercado em virtude da variada aplicação do uso da impressora 3D. A impressora 3D já está sendo comercializada mas ainda existem desafios para que o custo do produto se torne mais acessível e para que o aspecto da portabilidade possa ser contemplado.

O Arduino foi criado em 2005 por um grupo de 5 pesquisadores[2]. O objetivo era elaborar um dispositivo que fosse ao mesmo tempo barato, funcional e fácil de programar, sendo dessa forma acessível a estudantes e projetistas amadores. Além disso, foi adotado o conceito de hardware livre, o que significa que é possível montar, modificar, melhorar e personalizar o Arduino, partindo do mesmo hardware básico. Atualmente existem vários modelos de placas Arduino, tais como Arduino UNO, Arduino Mega2560, Arduino Nano, entre outros. Esses modelos são utilizados para prototipagem, auxiliando assim na redução de tempo gasto para cada projeto.

Contudo existe uma dificuldade na implementação destes sistemas em larga escala. A expansão da impressão tridimensional esbarra em seu custo relativamente alto, tanto no processo de construção quanto no processo de comercialização. Observando esse problema, algumas tecnologias veem sendo implantadas afim de obter redução nos preços sem que haja perda na qualidade dos objetos. Uma das tecnologias mais utilizadas na produção tridimensionais amadoras, tem sido a plataforma livre Arduíno.

Neste trabalho, propõe desenvolver um dispositivo, com custo relativamente baixo, capaz de reproduzir objetos em três dimensões, a partir de uma imagem no computador. Também será gerada uma animação tridimensional, usando o Software Solidworks, com o objetivo de ilustrar como se dá a construção de uma impressora 3D. Esta animação será utilizada para a popularização do método por meio de uma palestra modelo ministrada pelo aluno em escolas carentes na cidade de Nepomuceno.

## II. METODOLOGIA

Durante a execução do projeto seguimos a seguinte metodologia:

- Estudo Bibliográfico.

Com intuito de definir qual modelo funcionaria como base para a execução o projeto, alguns modelos de impressoras tridimensionais foram estudados. Após todas as análises, chegou-se a conclusão de que o modelo adequado seria a Prusa i3. Para execução do projeto, foi feita uma revisão da literatura especializada

em eletrônica e programação.

- Projeto estrutural.

O projeto estrutural utilizado foi o da Prusa i3, onde modificando alguns elementos da sua composição, como tipo de material e modelos de componentes. Todas as mudanças visaram reduzir o custo do projeto, para que a impressora 3D seja mais integrada a vida de estudantes e projetistas amadores.

Um fator determinante no processo de definição do projeto estrutural, é o material que deve ser utilizado nesta estrutura. Com o intuito de manter o custo baixo, foram utilizadas barras rosqueáveis de  $\frac{1}{2}$ ". A figura 1 apresenta o projeto estrutural gerado no SolidWorks.



Fig. 1. Projeto estrutural

- Corte da estrutura.

O tamanho da estrutura, fez com que a impressora 3D se tornasse portátil, ou seja, ela ficou com medidas que cabem em uma mesa pequena, podendo ser utilizada em vários ambientes sem nenhuma dificuldade de espaço. Outro fator importante está no peso da estrutura. Como foi utilizado barras de  $\frac{1}{2}$ " na construção, o peso apresentado pelo equipamento em geral é baixo, facilitando ainda mais o transporte do equipamento.

A construção do equipamento foi realizado para que se obtivesse uma área de impressão com medidas de 20 cm x 20 cm x 20 cm.

- Posicionamento dos eixos e conectores.

Os conectores das estrutura foram feitos por outra impressora tridimensional. Assim, foi possível reduzir ainda mais os custos, pois com o material plástico

tem um valor menor do que o material metálico. Os conectores da estruturas, podem ser observados na figura 2.



Fig. 2. Conectores

- Instalação dos Motores.

Com os conectores instalados, foi realizado o posicionamento dos motores e os devidos testes de funcionamento. Para o projeto foram utilizados motores de passo Nema 17. A relação custo benefício destes motores é melhor quando comparados a outros modelos consultados.

Para que a movimentação nas direções X, Y e Z sejam realizadas, nos eixos dos motores foram acopladas engrenagens. Estas engrenagens fazem a movimentação da estrutura através de correias, que estão fixadas nas partes móveis do equipamento. Na figura 3 e na figura 4 gerada no SolidWorks é possível notar a presença das características relatadas.



Fig. 3. Engrenagem fixada no eixo do motor

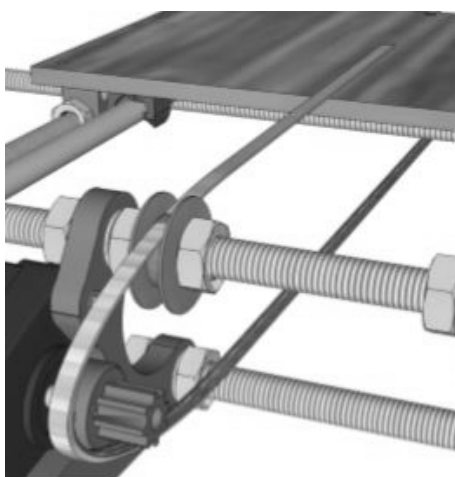


Fig. 4. correia responsável pela movimentação em X

- Confecção e instalação da mesa aquecida e ajuste de temperatura para o material utilizado.

Para a confecção da mesa aquecida utilizamos a placa de fonolite cobreada e o papel fotográfico Glossy. Toda a confecção é realizada manualmente, fazendo com que o aquecimento fique bem uniforme e sem variações bruscas de temperaturas. O processo de confecção da mesa aquecida é semelhante ao de desenvolvimento de uma placa de circuito impresso.

Primeiramente é realizado a impressão na placa de fonolite o desenho do "circuito" (que neste caso é as linhas que são responsáveis pelo aquecimento da mesa) e em seguida é feita a corrosão da placa com perclorato. Assim obtém-se a resistência que realizará o aquecimento

da mesa.

A mesa aquecida é dividida em duas partes: superior e inferior. A parte superior é onde ocorre o aquecimento da placa de fonolite cobreada e consequentemente servirá como apoio para o objeto impresso. Já a parte inferior, funciona como suporte para a movimentação na direção X. Como não possui contato direto com a parte aquecida, a transferência de calor para a parte inferior é menor e assim é possível a conexão de uma correia para proporcionar a movimentação na direção X. A figura 5 mostra a divisão em parte superior e inferior da mesa aquecida.

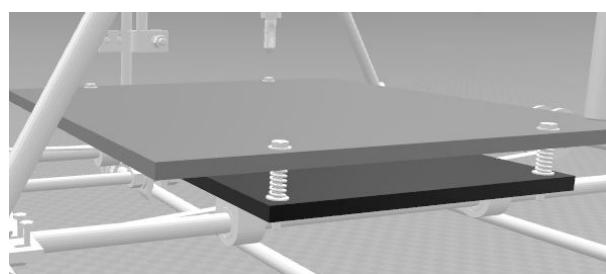


Fig. 5. Mesa aquecida, parte superior e inferior

A temperatura de trabalho para a mesa aquecida é entre  $95^{\circ}C$  a  $110^{\circ}C$ . Valores acima de  $150^{\circ}C$  podem vir a queimar a correia presa a parte inferior do equipamento. Este controle de temperatura é realizado por um termopar, que adiciona ou retira tensão nas resistências presente na mesa, conseguindo assim, aumento ou redução de temperatura.

- Confecção do Bico Extrusor.

O bico Extrusor é considerado a parte mais importante da impressora 3D, pois é com ele que se obtém qualidade e velocidade na impressão do objeto. A confecção do bico extrusor apresenta uma considerável dificuldade, por esta razão apenas alguns componentes foram confeccionados por terceiros.

O conjunto extrusor possui peças de encaixe, que proporciona uma rápida montagem do equipamento, na imagem a seguir está a parte confeccionada em material ABS do conjunto extrusor. O conjunto extrusor pode ser observado na figura 6.

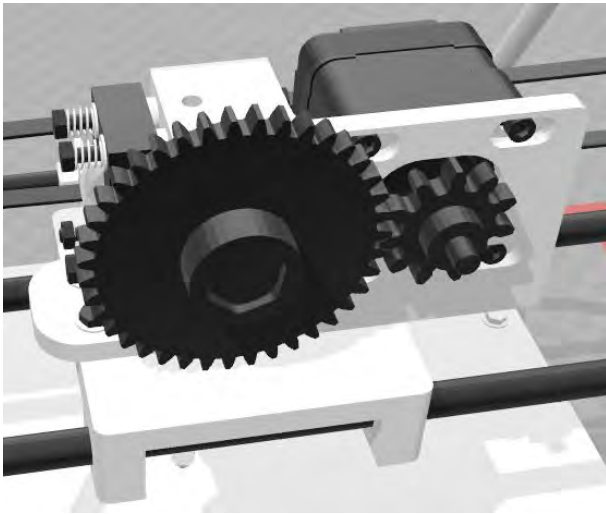


Fig. 6. Conjunto Extrusor

Para realizar o controle e ajuste de temperatura no bico extrusor, é necessários dois componentes eletrônicos. O primeiro é um termopar, que é responsável por monitorar constantemente o valor de temperatura do conjunto. E o segundo componente é um resistor de potência, que fica responsável por transferir temperatura para o conjunto extrusor. Esta transferência de temperatura é realizada por contato direto e sua elevação ou redução é controlada pela quantidade de tensão que o resistor recebe. Então assim a tensão sofrerá acréscimo ou decréscimo de acordo com o valor lido pelo termopar.

Para o bico extrusor a temperatura de trabalho é entre  $230^{\circ}C$  e  $240^{\circ}C$ . É importante que a temperatura não ultrapasse  $250^{\circ}C$ , pois valores acima destes podem ocasionar danos aos equipamentos eletrônicos presentes no conjunto.

- Realização dos testes

A etapa de realização de testes do projeto consiste na instalação do computador e na realização de impressões. Foram feitos os ajustes finais, tais como controle temperatura, espessura do material, posicionamento dos eixos, afim de melhorar velocidade e qualidade dos objetos produzidos.

Durante a realização dos testes foi possível perceber que o objetos impressos possuem pequenos detalhes em sua estrutura. Este fato ocorre, por se tratar de um impressora tridimensional que utiliza filamentos de material abs, e isso faz com que exista a presença de linhas na estrutura do objeto. Porém tais detalhes apresentados não exerce influência no produto final impresso, não prejudicando em nenhum momento sua estrutura.

### III. RESULTADOS

Após a construção da impressora os seguintes resultados foram obtidos:

- Bico extrusor.

O bico extrusor é a parte mais importante da impressora como relatado anteriormente. A construção do bico extrusor mostrou-se a parte mais sensível no processo de produção da impressora. No aspecto construtivo é importante observar que todas as medidas devem ser obedecidas de acordo com os valores estabelecidos. A construção de maneira correta é um dos principais resultados, pois influencia no bom funcionamento da impressora.

No aspecto conceitual está a relação de temperatura e entrada de material para ser transformado no objeto final, onde deve ser respeitado o diâmetro máximo do bico extrusor para que a temperatura seja suficiente para derreter todo o material.

Após todos os detalhes de tamanho e posicionamentos serem acertados, esta parte apresentou um bom desempenho quando comparado a outros presentes no mercado. É importante saber que esta comparação foi feita com bicos extrusores construídos manualmente e não bicos extrusores profissionais.

- Estrutura metálica.

Comparando a estrutura feita neste projeto com a estrutura tradicional da Prusa i3, uma diferença importante é notada, por ter sido feita com metal. A impressora desenvolvida neste projeto tem um maior peso bruto quando comparada com impressoras feitas de MDF. No entanto peso também proporciona uma maior robustez do equipamento, diminuindo assim suas chances de danificações provocadas por quedas. O aumento de peso não influencia na portabilidade do equipamento. Uma pessoa pode transportá-la com facilidade.

- Custo Geral.

Quando analisamos a relação de custo de fabricação de impressoras tridimensionais, observamos que os valores gastos com este projeto são relativamente baixos. Contudo, aspectos como qualidade final de produtos e velocidade de impressão não foram comprometidos.

- Apresentação à comunidade discente.

Um importante resultado deste projeto é a apresentação de uma palestra ao corpo discente. Nesta palestra será utilizado o software SolidWorks para gerar uma animação tridimensional. Esta animação com o objetivo de ilustrar como se dá a construção de uma impressora 3D. Esta animação será utilizada para a popularização do método por meio de uma palestra modelo ministrada pelo aluno em escolas carentes na cidade de Nepomuceno.

#### IV. CONCLUSÕES

A impressora 3D construída no desenvolvimento deste projeto apresentou um desempenho satisfatório, aspectos como uma boa velocidade de produção e a qualidade do produto foram contemplados. Além disso, os dois principais objetivos foram alcançados, sendo o primeiro a produção de um equipamento com custo acessível. Outro objetivo alcançado foi a elaboração de uma palestra para transmitir o conhecimento de produção de uma impressora 3D à comunidade estudentil. Esta palestra será apresentada em instituições federais bem como em escolas carentes da região de nepomuceno. Para tal fim, foi utilizado o software SolidWorks, uma animação tridimensional foi gerada, mostrando todos os aspectos de construção da impressora, como também uma simulação animada do funcionamento do equipamento.

As impressoras tridimensionais que usam o Arduinos funcionam com o uso do computador. Uma melhoria futura será o desenvolvimento de uma interface homem-máquina que funcione através da conexão de um USB. Com esta

melhoria, o computador não será mais necessário. Outra futura possível modificação, é o desenvolvimento de uma placa própria para o equipamento. Com intuito de diminuir a interferência eletromagnética. Outra possível modernização é a instalação de um sistema WIFI no equipamento, para que seu controle seja feito a longa distância.

#### REFERÊNCIAS

- [1] <http://www.techtudo.com.br/dicas-e-tutoriais/noticia/2014/04/descubra-como-surgiu-impressora-3d.html>.
- [2] <https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino>.
- [3] DEITEL, P.; DEITEL, H. Java: como programar. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.
- [4] MIZRAHI, V. V. Treinamento em linguagem C++. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.
- [5] DEITEL, H.; DEITEL, P. C++ como programar. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.
- [6] RAZAVI, B. Fundamentos de microeletrônica. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.
- [7] MONK, S. Programação com Arduino: Começando com Sketches-Série Tekne. AMGH Editora, 2013.



# Desenvolvimento de Interface Android para Controle Manual e Monitoramento de Robôs Autônomos

Felipe Domingos Argenton Gaglietti  
Universidade do Oeste de Santa Catarina - UNOESC  
felipe\_argenton@hotmail.com

Marconi Januario  
Universidade do Oeste de Santa Catarina - UNOESC  
marconi.januario@unoesc.edu.br

Kleyton Hoffmann  
Universidade do Oeste de Santa Catarina - UNOESC  
kleyton.hoffmann@unoesc.edu.br

Renato Scortegagna  
Universidade do Oeste de Santa Catarina - UNOESC  
renato.scortegagna@unoesc.edu.br

**Abstract**—During the development of autonomous robots, adjustments and monitoring of variables are necessary for the purpose of verifying and validating their operation. In competitions, adjustments must be performed quickly and accurately. In this work an Android interface is developed to assist the control and monitoring of autonomous robots in the categories of autonomous sumo, trekking and follow line. This work shows how the interface was built using Android Studio software. The steps of creating the application are presented and detailed. Also, it is shown how the separations were made for each robot mode. After the interface is finished, it is described how the process of adjustments of gains of the follow line robot has been optimized and how the monitoring of any category can be verified by means of the tool developed.

**Index Terms**—Android Studio, Robotics Mobile, Monitoring, Android Apps.

**Resumo**—Durante o desenvolvimento de robôs autônomos são necessários ajustes e o monitoramento de variáveis para efeitos de verificação e validação do seu funcionamento. Em competições de robótica ajustes devem ser realizados de forma rápida e precisa. Neste trabalho é desenvolvida uma interface Android para auxiliar o controle e monitoramento de robôs autônomos nas categorias de sumô autônomo, *trekking* e seguidor de linha. Neste trabalho é mostrado como a interface foi construída por meio do software *Android Studio*. As etapas de criação do aplicativo são apresentadas e detalhadas. Ainda, são mostradas como foram feitas as separações para cada modalidade de robôs. Após finalizada a interface é descrito como o processo de ajustes de ganhos dos robôs seguidores de linha foi otimizado e como o monitoramento de qualquer categoria pode ser verificado por meio da ferramenta desenvolvida.

**Palavras chave**—Android Studio, Robótica Móvel, Monitoramento, Aplicativos Android.

## I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a robótica móvel vem ganhando espaço em diversas áreas tais como no ensino, na exploração espacial e em ambientes industriais. O AEDROMO (Ambiente Experimental e Didático com Robôs Móveis) [1], é um exemplo de aplicação de robótica móvel em ensino, o robô Curiosity [2], é um exemplo de aplicação em exploração espacial e o robô Milva [8] é um exemplo de aplicação em ambientes

industriais. Este trabalho tem como objetivo desenvolver um aplicativo com interface android para facilitar a realização de ajustes e configurações nos robôs autônomos desenvolvidos pela equipe de robótica WestBots. A equipe desenvolve robôs das categorias seguidor de linha profissional, sumô autônomo e *trekking*.

Alguns trabalhos já foram realizados pela equipe Westbots nas três categorias. No trabalho de Pereira [3] é detalhado o projeto de um robô seguidor de linha capaz de identificar um caminho desenhado sobre uma superfície com o objetivo principal de participar de competições. O trabalho aborda tanto os aspectos construtivos quanto a lógica de implementação do robô. Mantovani [4] detalha o desenvolvimento de um método para realizar a medição de posicionamento em robô autônomo com a utilização de um sensor óptico. Outro trabalho desenvolvido é o de Silveira [5], onde é apresentado o desenvolvimento de um robô autônomo, abordando a parte de *hardware* e *firmware*, capaz de explorar um labirinto desconhecido e conseguir localizar um destino previamente conhecido.

O presente trabalho está dividido em cinco seções, sendo elas: (i) desenvolvimento da interface e menu principal, (ii) criação da tela de configurações para o seguidor de linha, (iii) desenvolvimento da tela de configuração para o sumô, (iv) criação da tela de controle manual para o *trekking* e (v) a conclusão.

Na seção (i) é desenvolvida a tela principal do aplicativo com um menu lateral com acesso as modalidades. Na seção (ii) é desenvolvida a tela de configurações específica do seguidor de linha onde é possível configurar os ganhos necessários e ajustar sua velocidade atual. Na seção (iii) é desenvolvida a tela de configuração de lógica de batalha para o robô sumo autônomo e um botão de emergência. Na seção (iv) é desenvolvida a tela de controle manual do robô *trekking*. Na seção (v) são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

## II. DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE ANDROID

A interface foi desenvolvida na plataforma *Android Studio* [6][7] e tem como objetivo melhorar e facilitar o controle e monitoramento dos robôs autônomos. Este aplicativo foi desenvolvido com uma divisão por categorias, uma para cada modalidade dos robôs, sendo elas: seguidor de linha, sumô e *trekking*. Na categoria seguidor de linha a interface foi projetada para ajuste dos ganhos do controlador PID do robô e ajustes de diferentes velocidades máximas. Na categoria sumô autônomo a interface foi desenvolvida para controlar o tipo de lógica usada para dar início as batalhas e implementado um botão de emergência para que em caso de alguma falha este controle desative-o. Por fim, na categoria *trekking* a interface desenvolvida teve o objetivo de controle manual de curto alcance, um *togglebutton* que tem como função alternar entre controle manual e modo autônomo e por fim um botão de emergência para atuar de forma rápida e parar o robô quando desejar.

O aplicativo foi desenvolvido para a equipe de robótica WestBots então a identidade visual da equipe foi mantida inserindo a logo na tela principal e nas demais telas, conforme pode ser visualizado na Figura 1. A tela principal contém um menu lateral onde há o acesso as modalidades de robôs desenvolvidos.

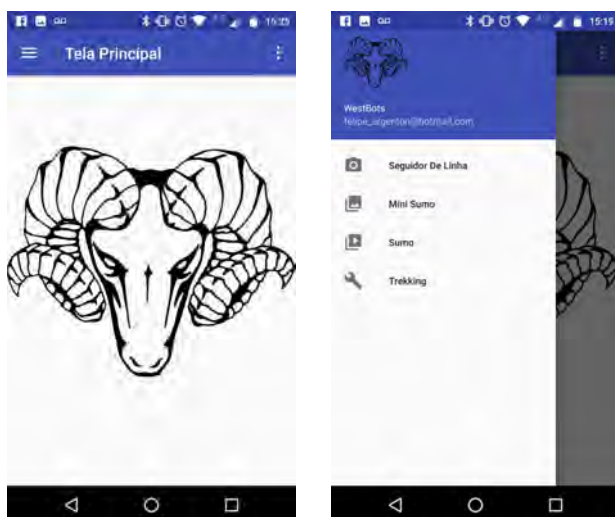


Fig. 1. Tela Principal e Menu Lateral.

### A. Comunicação Android - Microcontrolador

A tecnologia *bluetooth* é utilizada para realizar a comunicação entre o dispositivo móvel e o microcontrolador do robô autônomo. A comunicação *bluetooth* utiliza o padrão RS-232 e tem um alcance de até 10 metros de distância do alvo/robô em questão. Uma velocidade de 240000 bps foi configurada a fim de reduzir o tempo de envio, evitando assim possíveis *delays* no monitoramento dos robôs.

### B. Seguidor de Linha

A partir da tela inicial do aplicativo é possível acessar o menu do seguidor de linha. Este menu dá acesso a outro menu

lateral que permite acessar as configurações desta categoria. Os detalhes da tela em questão são mostrados na Figura 2.

Na interface de configuração de ganhos do controlador PID do seguidor de faixa foram criados nove componentes subdivididos em 3 grupos. Os grupos seguiram a mesma lógica de distribuição e funcionalidade, sendo dois componentes para inserir valores de máximos e mínimos e outro utilizado para variar o valor a partir dos limites estabelecidos.

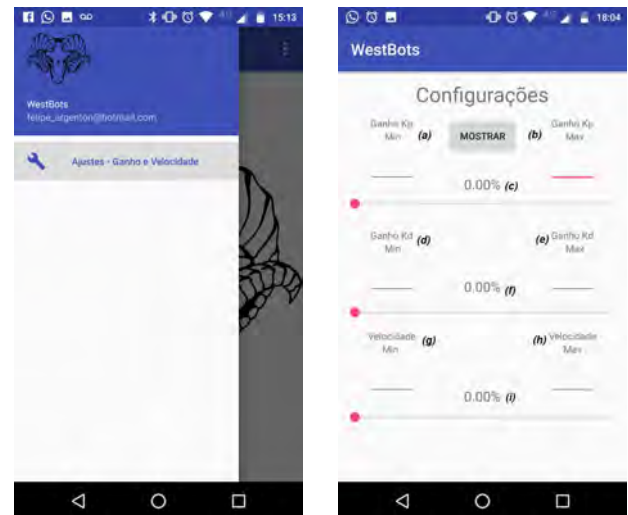


Fig. 2. Menu Lateral e Configuração de Ganhos

Cada grupo de componentes citados, é responsável por controlar um único ganho. O primeiro grupo foi desenvolvido para o ganho proporcional, enquanto o segundo e terceiro grupo controlam o ganho derivativo e a velocidade de movimento, respectivamente.

Os dados são enviados individualmente no instante em que são inseridos nos devidos campos. A descrição de cada campo da Figura 2 é mostrada na Tabela I.

TABELA I  
DESCRIÇÃO DOS CAMPOS DA INTERFACE DO SEGUIDOR DE LINHA

	DESCRIÇÃO
(a)	Valor mínimo do ganho proporcional
(b)	Valor máximo do ganho proporcional
(c)	Variação entre valor máximo e mínimo do ganho proporcional
(d)	Valor mínimo do ganho derivador
(e)	Valor máximo do ganho derivador
(f)	Variação entre valor máximo e mínimo do ganho
(g)	Valor mínimo da velocidade de movimento
(h)	Valor máximo da velocidade de movimento
(i)	Variação entre valor máximo e mínimo da velocidade

### C. Sumô

Na interface de controle do sumô autônomo, o esquema de telas segue o mesmo padrão que foi adotado anteriormente para o seguidor de linha, contendo a logo da equipe de robótica ao fundo e um menu lateral para acesso as configurações de lógica inicial de batalha do robô (Figura 3). Na interface do

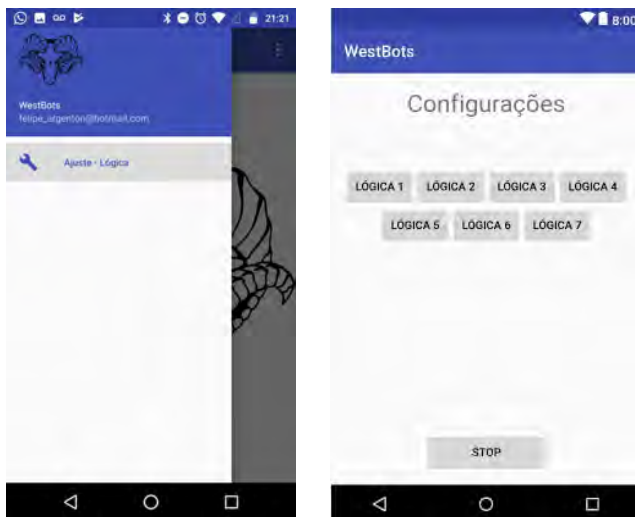


Fig. 3. Menu lateral e configuração de lógicas.

robô de sumô autônomo, é possível escolher dentre 7 lógicas de controle que podem ser utilizadas na luta.

Na tela de configuração de lógica, acessada pelo menu lateral, foi desenvolvido um conjunto de botões para alternar entre as lógicas de programação e consequentemente como o robô se comporta no dojô, como mostrado na Figura 3. Por fim foi desenvolvido um botão com o objetivo de servir como emergência, com o intuito de ser utilizado em casos que o robô necessite ser desativado à distância.

#### D. Trekking

Nesta tela da interface foi desenvolvida uma tela com a logo da equipe ao fundo e um menu lateral que dá acesso a tela de controle manual do *trekking*.

Sabendo que esta categoria de competição é autônoma foi criado um botão para alternar entre a lógica de programação utilizada para deixar o robô *trekking* totalmente autônomo ou sob controle manual. Esta opção é útil no momento de testes iniciais para controlar o robô manualmente e trazê-lo de forma mais rápida ao ponto de partida.

Analisando a estrutura e percebendo que este robô tem um porte maior do que os outros, esta interface foi desenvolvida de maneira a facilitar o manuseio. Então, foi criada uma tela com quatro botões para controle manual, um para cada direção, sendo elas: esquerda, direita, frente e para trás. Na Figura 4 tem-se os detalhes desta parte da interface.

### III. RESULTADOS

Com o desenvolvimento da interface do aplicativo finalizada iniciou-se os testes individuais de cada robô (A) Seguidor de Linha, (B) Sumô e (C) *trekking*.

#### A. Seguidor de Linha

A rotina do seguidor de linha segue sempre os mesmos passos. Inicialmente, ele é colocado na pista e iniciado, calibrando os sensores de detecção de linha e logo após esta

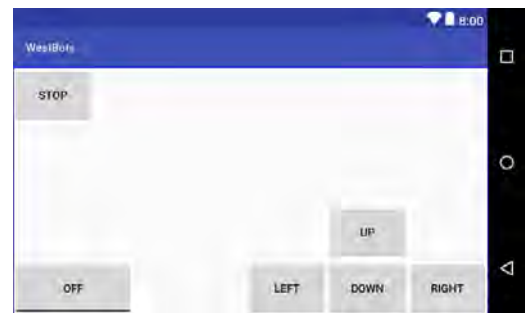


Fig. 4. Controle Manual

etapa é o momento em que os dados dos ganhos e velocidade são enviados do aplicativo para o robô.

O teste foi realizado no mesmo modelo, após a conexão *bluetooth* estabilizar, foram realizados testes para comprovar o funcionamento de cada campo projetado anteriormente na interface do aplicativo.

Para realizar os testes foram enviados os nove valores de ganhos e velocidade de movimento. Os máximos e mínimos são valores fixos e os campos que podem ser variados são apenas os que estão ligados as barras de progresso. No item (iii), (vi) e (ix), pode-se observar as três barras de progressos utilizadas para variar os ganhos de 0 a 100% entre os valores máximos e mínimos. Uma maneira fácil e simples de testar a comunicação entre o robô e aplicativo é realizar a variação da barra de progresso da velocidade. Após esta etapa, foi comprovado que o dado enviado para o robô é alterado automaticamente e que quanto mais perto da porcentagem mínima a barra de progresso estiver mais lento o seguidor de linha irá se mover, o mesmo é válido para o outro extremo, onde quanto mais perto da porcentagem máxima mais rápido o robô irá se mover.

Com o aplicativo foi possível enviar dados na velocidade necessária para o robô e a configuração e otimização de ganhos foram facilitadas.

#### B. Sumô

O sumô autônomo tem uma rotina mais simples que a do seguidor de linha, pois apenas é necessário colocá-lo no dojô e esperar cinco segundos até que seja permitida sua movimentação em busca pelo robô oponente. Os sete tipos de lógicas foram validadas verificando pelo *debugger* do microcontrolador os valores recebidos.

#### C. Trekking

O teste realizado neste robô não envolveu nenhuma lógica para deixar ele operar em modo autônomo ou alterar alguma ganho. Simplesmente, foi enviado um comando com a direção que ele deveria seguir e verificar realmente ele assumiu a direção na qual foi ordenada. Neste teste foi encontrado um problema em relação a distância que foi possível controlá-lo. Pois, sabe-se de que o *bluetooth* poderia realizar sua comunicação com no máximo 10 metros do alvo. No momento

em que o alvo ultrapassou este limite a comunicação foi perdida e a solução futura será a adaptação de uma comunicação RF para controle desta categoria.

#### IV. CONCLUSÃO

O aplicativo desenvolvido auxiliou a equipe a obter melhores resultados em competições pois agilizou o tempo de configuração e ajustes dos robôs. O aplicativo ajuda a alterar a programação de cada robô com maior facilidade, pois antes do seu desenvolvimento era preciso gravar as novas configurações de ganhos e lógicas conectando o robô ao computador e realizando a atualização de *firmware*. O aplicativo foi utilizado pela equipe no 13º Winter Challenge de 2017 onde foi conquistado como maior premiação o segundo lugar na categoria seguidor de linha profissional.

Como sugestão de trabalhos futuros, podem ser citados:

- (i) *Seguidor de Linha*: A implementação de um botão para enviar as informações de ajuste de ganhos de uma vez só.
- (ii) *Trekking*: Desenvolvimento de um *hardware* que realize a comunicação entre *bluetooth* e rádio frequência, podendo assim alcançar uma distância maior para controle do robô.
- (iii) *Trekking*: Desenvolver uma interface que simule o local da prova do *trekking*, para mostrar o deslocamento atual do

robô e os pontos nos quais é objetivo dele encontrar.

#### REFERÊNCIAS

- [1] ALVES, Lucas Salmen Roberto. *Interface com o AEDROMO (Ambiente experimental e didático com robôs móveis) utilizando sistema Android*. 2014. . Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciência da Computação) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências, 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/118017>>.
- [2] NASA. Disponível em: [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/msl/index.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/msl/index.html) >
- [3] PEREIRA, Alexandre. *Desenvolvimento de um robô seguidor de linha para participação em competições de robótica..* 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade do Oeste de Santa Catarina. Joaçaba.
- [4] MANTOVANI, Arthur. *Implementação de método para medição de posicionamento em robô móvel autônomo utilizando sensor óptico..* 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade do Oeste de Santa Catarina. Joaçaba.
- [5] SILVEIRA, Angela L. *Robô móvel autônomo explorador de labirintos para competições de robótica*. INCITEL 2017.
- [6] Android Studio. Disponível em: <https://developer.android.com/studio/index.html>.>
- [7] LECHETA, Ricardo R. *Google Android - Aprenda a criar aplicações para dispositivos móveis com o Android SDK*. 5. ed. Editora NOVATC.
- [8] Merten, M., & Gross, H.-M. (2008). Highly Adaptable Hardware Architecture for Scientific and Industrial Mobile Robots. In 2008 IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (Vol. 0, pp. 1130-1135).

# A Comparative Study Between LPWAN's LoRa and SigFox Protocols

Guilherme G. L. Ribeiro<sup>1</sup>, Luan F. de Lima<sup>1</sup>, Luiz Oliveira<sup>1</sup>

Joel J. P. C. Rodrigues<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>National Institute of Telecommunications (INATEL), Santa Rita do Sapucaí - MG, Brazil

<sup>2</sup>Instituto de Telecomunicações, Portugal

<sup>3</sup>University of Fortaleza (UNIFOR), Fortaleza - CE, Brazil

guilhermegomes@gea.inatel.br; luanfelipe@get.inatel.br; oliveira.luiz@mtel.inatel.br; joeljr@ieee.org

**Abstract**— This work discusses the low power wide area network's (LPWAN) LoRa and Sigfox protocols. They provide low power consumption and a long-range coverage required by IoT applications, such as remote monitoring. Thus, a study of the technical characteristics of each technology was carried out in order to have a comparative analysis between them. This study also presents an application for an outdoor location using the Sigfox protocol. It demonstrates the use of SigFox and may be used to support performance comparison studies in real environment between them. This application is validated, demonstrated, and it is ready for use.

**Index Terms**— Internet of Things; LoRa, Low Power Wide Area Network; Sigfox

## I. INTRODUCTION

Internet of Things (IoT) offers the ability to connect ordinary objects to the Internet, providing content and information to the user regardless of their location. This happens with the contribution of devices that receive the information captured by the connected elements, allowing communication with the Internet through a network. The ability for remote monitoring and easily connection leads to a series of innovations and solutions in various technology sectors, thus creating great potential for opportunities in this market.

The IoT architecture considers the layers of perception, networks, and applications, allows reliability on this process and with a minimum flow of errors [1].

This work performs a technical comparison among the low power wide area network's (LPWAN) Sigfox and LoRa technologies, two well-known IoT protocols with large coverage. Both protocols are described, in detail, and a comparative analyses is presented. An application for outdoor location, called OLUS (outdoor location using SigFox), to demonstrate the use of SigFox is described.

The paper is organized as follows. In section 2, the architecture for IoT Networks is presented. Section 3 analyses the Layer 2 protocols briefly regarding their corresponding performance in IoT projects. Section 4 elaborates on the description of LoRa and Sigfox protocols and a comparison between them is presented. The application of outdoor location using the Sigfox protocol is described in section 5. Finally, Section 6 concludes the paper and suggests future works.

## II. ARCHITECTURES FOR INTERNET OF THINGS NETWORKS

In general, the Internet of Things (IoT) technology can be divided into three tiers. The first is the perception, in which the interaction with the physical world is performed through sensors, actuators, or other identification technologies. The second tier is the network layer, responsible for processing and transmitting IoT information. The third layer is the application layer which, in fact, accomplishes the applications and purposes of IoT [2] [3]. However, these three layers present some limitations for real applications. As it is a simplified model, it does not encompass all IoT technologies and only addresses specific types of communication. Therefore, some devices operate using reduced resources and require longer communication and time consumption [4].

The 5-tier model can meet more complex needs for more efficient devices with shorter communication and consumption time. At the application layer, a robust interface is provided to showcase all the high-level analyzes and reports produced at the business layer. Despite the great advantages over the 3-layer model, it is a simple architecture model, created to be more applicable in the IoT concept. Figure 1 illustrates a comparison between the well-known 7 layers OSI reference model, the basic model 3-layer architecture nodes abstraction and 5 layers IoT ecosystems proposed in [4] [5].

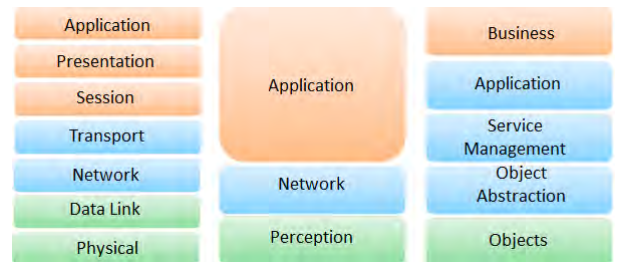


Figure 1. Comparison among OSI reference model, 3 and 5 layer architectures for IoT.

## III. IOT PROTOCOLS

The wireless network protocols developed for IoT can be included in all the layers of the OSI model and can be classified for short, medium, and long distance communications.



Among the available short-range protocols, classified for belonging to Wireless Personal Area Networks (WPAN), NFC, Bluetooth, Bluetooth Low Energy - BLE, RFID, and IEEE 802.15.4 are the most used solutions currently. They operate at the physical and data-link layers. Their main characteristics are presented in Table I [6] [7].

Table I  
MAIN CHARACTERISTICS OF SHORT-RANGE PROTOCOLS.

Characteristics	NFC	RFID	BLUETOOTH	BLUETOOTH LE
Frequency	13.56 MHz	850 MHz – 5.8 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz
Modulation	ASK	ASK	GFSK	GFSK
Topology	Peer to Peer	STAR	Peer to Peer Piconet	Peer to Peer
Data rate	424 Kbps	115 Kbps	3 Mbps	260 Kbps
Maximum range	20 cm	60 cm	10 m	100 m

Other solutions, such as the IEEE 802.11ah, IEEE 802.11ac, IEEE 802.11n, IEEE 802.15.4 are examples of medium-range protocols classified as Wireless Neighborhood Area Network (WNAN) that also act on the physical and link layers. Their main characteristics are presented and compared in Table II [6] [7].

Table II  
MAIN CHARACTERISTICS OF MEDIUM-RANGE PROTOCOLS.

Characteristics	802.11ah	802.11ac	802.11n	802.15.4	Zigbee	6LoWPAN
Frequency	2.4 GHz	5 GHz	5 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz
Maximum Range	1 km	200 m	140 m	100 m	100 m	100 m
Data rate	7.8 Mbps	54 Mbps	600 Mbps	250 Kbps	250 Kbps	40 – 250 Kbps
Topology	Star	Star	Star	Star	Star	Star
Modulation	MCS	-	-	O-QPSK/ DSSS	O-QPSK	O-QPSK/ BPSK/ FSK

LoRa, Sigfox, LTE-M, NB-IoT, and Ingenu are examples of long-range coverage protocols classified as Low Power Wide Area Network (LPWAN) and also operate at the physical and link layers. Table III [8] [9] [10] presents a comparison among these protocols.

Table III  
MAIN CHARACTERISTICS OF LONG-RANGE PROTOCOLS.

Characteristics	Lora/LoraWan	Sigfox	LTE	NB-Iot	Ingenu
Frequency	868 MHz/915 MHz/ 430 MHz	868 MHz/ 915 MHz	900MHz	900 MHz	2.4 GHz
Maximum range	2 a 5 km	3 a 20 km	11 km	15 km	15 km
Data rate	290 – 50 Kbps	100 bps	1 Mbps	150 Kbps	624 Kbps
BW	50 – 125 KHz	100 Hz	1.4 MHz	200 KHz	1 MHz
Modulation	FSK	UNB/GFSK/BPSK	OFDMA	OFDMA	-
Battery life	105 meses	90 meses	18 meses	-	100 meses

It is considered that LPWAN protocols meet the requirements for IoT solutions that requires long range communication, especially in emerging applications, due to low power consumption, transmission efficiency and far greater reach over mobile networks. With a LPWAN protocol it is possible to have a range coverage (in order of kilometers) with only one base station [9].

#### IV. COMPARATIVE ANALYSIS OF LORA AND SIGFOX PROTOCOLS

This section starts with a description of LoRa and SigFox protocols and ends with a comparison among them considering their main characteristics.

##### A. LoRa (Long Range) Protocol

The LoRa (Long Range) protocol is a Low Power Wide Area (LPWAN) technology proposed by the LoRa Alliance. It features security in data exchange, low power consumption, and long-range wireless communication. It ranges about 15 km in rural areas and from 2 up to 5 km in urban areas approximately. The LoRa technology aims to expand the IoT possibilities, increasing the number of machine to machine (M2M) applications due to its strong scalability. As it follows an open standard approach, it is easy to acquire its network specifications, which facilitates the access and development of applications with this technology [11] [7].

The protocol uses the Industrial Scientific and Medical (ISM) spectrum not licensed with sub-GHz frequencies, both in America and Europe, and Frequency-Shift Keying (FSK) and Forward Error Correction (FEC) modulation [9]. It is a bidirectional communication protocol and uses a star topology. In this way, the terminals communicate directly with the gateways which, in turn, send the data to a network server that manages and forwards to an application server which processes and turns the information available to the user. While LoRa protocol defines the physical layer and its modulation aspects that permits peer to peer communication, LoRaWAN includes the network layer techniques that allows a star network topology. Figure 2 illustrates the network architecture of the LoRaWAN protocol. The data flow of LoRa is in the scale of 0.3kbps to 50kbps [12] [7].

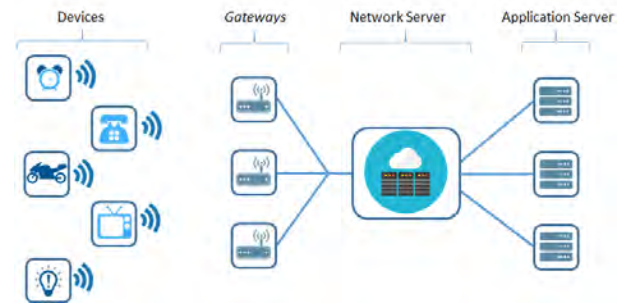


Figure 2. Illustration of the LoRaWAN Protocol Network Architecture.

The message payload size can range from 2 to 255 bytes with 25 mA of current consumption on transmission and 10 mA of current consumption on reception. The transmission power of the LoRa terminals changes according to the location of operation. For instance, they are 30 dBm in USA and 14 dBm in Europe [13]. LoRaWAN protocol specifies three types of device classes. The Class A devices, standard and the most common, only performs downlink communication successively to an uplink communication. The Class B is programmed to receive downlink information, while the Class C is continuously available for downlink communication, changing its state only at time of transmission [13] [14].

##### B. Sigfox Protocol

Known as the first community dedicated to low-speed communication for IoT, SigFox is licensed system as a network operator model that works with Ultra Narrow Band (UNB)



technology with DBPSK modulation [9]. Operating in star network topology, it has low power consumption because it sends from 0 up to 140 messages a day (with a maximum of 12 bytes) that move with low power, 45 mA in the transmission and 10 mA in the reception, which influences in the life of the used equipment [15]. It has a large coverage, ranging from 3 to 10 kilometers in urban areas and up to 20 kilometers in rural or interference-free areas [9].

Sigfox uses unlicensed ISM spectrum and operates at the 915 MHz frequencies in the USA and at 868 MHz in Europe [8]. The transmission power of the terminal also changes according to the location where it works, being 21.7 dBm in USA while in Europe it is 14 dBm [9]. The data generated by Sigfox terminals is sent to the protocol cloud, called Sigfox *backend*, which enables the data management sent by each terminal device. In addition, the service allows a server connection and turns information available in applications [16]. The network architecture of the Sigfox protocol is illustrated in Figure 3.

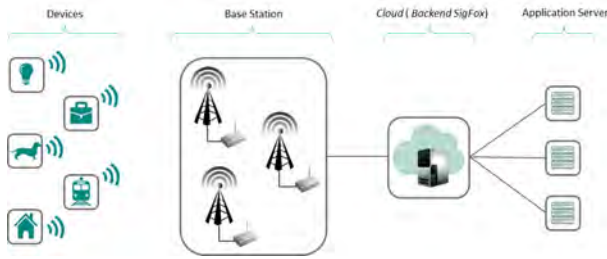


Figure 3. Illustration of Sigfox protocol network architecture.

### C. Comparative analyses

The main characteristics of LoRa and Sigfox are summarized in Table IV [11] [7]. Based on it, a comparative analyses of the protocols can be performed.

Table IV  
COMPARISON BETWEEN SIGFOX AND LORA.

Characteristics	SIGFOX	LORA
Urban range	3 – 10 km	2 – 5 km
Rural range	10 – 20 km	5 – 15 km
Frequency in USA	915 MHz	915 MHz
Frequency in Europe	868 MHz	868 MHz
Modulation	DBPSK(UNB – Ultra Narrow Band)	FSK/ FEC
Payload	12 bytes	2 – 255 bytes
TX consumption	45 mA	25 Ma
RX consumption	10 mA	10 Ma
Transmission power USA	21.7 dBm	30 dBm
Transmission power Europe	14 dBm	14 dBm
Topology	Star	Star
Data rate	100 – 600 bps	0,3 – 50 Kbps
Spectrum	Unlicensed	Unlicensed
Ism	Sub-GHz	Sub-GHz
Uplink	Yes	Yes
Downlink	Yes	Yes
Business model	Private	Open

Among the characteristics available in Table IV, it is possible to highlight the relevant difference in the maximum size of the messages payload allowed by each protocol. Although it supports most IoT applications, Sigfox presents disadvantages when it is intended to deploy an application that expects a large amount of data coming from terminal nodes because the

limitation of 12 bytes per messages and also its low rate of transmission. In contrast, LoRaWAN accepts messages that are 243 bytes longer than SigFox and has great flexibility regarding transmission rates.

In addition to the differences regarding the technical concepts among LoRa and Sigfox, each one follows different business models. Acting as an IoT operator, Sigfox allows customers to acquire hardware from different manufacturers, however, it is incumbent upon the operator to fully network infrastructure. This becomes a great advantage because clients can focus entirely to their applications and only need to implement the protocol to their project. Regarding the financial aspect, Sigfox technology offers a low price to use the services, making it highly competitive in the market of IoT solutions [17].

Unlike Sigfox, which offers all customer software services, LoRa allows the user to build their own network infrastructure according to the specifications of the LoRa Alliance, the body responsible for guiding the development of this technology. Despite the fact that it is an "open" protocol to make the standard more flexible, the process of building a network becomes slower precisely because there are no companies that manage the process of industrial development of technology. As an advantage, LoRa does not behave like an IoT operator, therefore, it is not necessary to pay a monthly or an annual fee to develop on such technology [17].

## V. AN IOT APPLICATION FOR OUTDOOR LOCATION USING SIGFOX

Based on the principles of the Internet of Things, an outdoor location application, called Outdoor Location System using SigFox (OLUS), was developed. It allows remote location and tracking of objects, animals, or individuals. As an example, freight and transportation companies find in this solution an alternative to keep track of their transported products and vehicles remote monitoring.

For the development of this solution, first, it was necessary registering the terminal using software provided by the STMicroelectronics manufacturer. Then, code development was started on the IAR Embedded Workbench, a code development platform. The code used is provided by the STMicroelectronics manufacturer with the necessary network configurations to transmit a 12-byte payload. It was necessary to develop few lines of code to enable the use of a GPS and encode its information into 12 bytes to conform with the Sigfox standard, and than, send them to the Sigfox Backend.

In the cloud of the Sigfox network, a code was created to send the data to an Application Program Interface (API) to perform the decoding and to obtain the latitude and longitude in a standard format required for the Ubidots visual interface API. Finally, location data is sent to the Ubidots Web platform, in real time, for visual tracking of the device superimposed on a real-time map image. The OLUS application, that uses the and node prototype shown in Fig. 4, performs the geographical location of the object (vehicle) using the SigFox protocol.

In the experimentation scenario, the prototype powered from a 5-volt (V) source, reached a maximum distance of 13.7

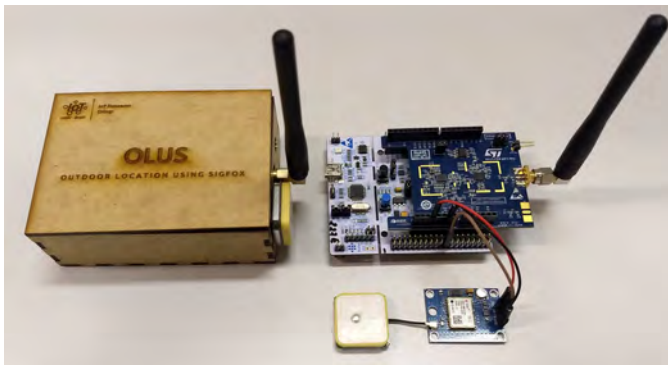


Figure 4. Photo of the STMicroeletronics STEVAL-FKI915V1 kit

kilometers from the SigFox base station. The device was at a point with an altitude of approximately 905 meters and the base station has an altitude of 843 meters from sea level. Figure 5 shows a map with the altitude profile performed during the experiments.

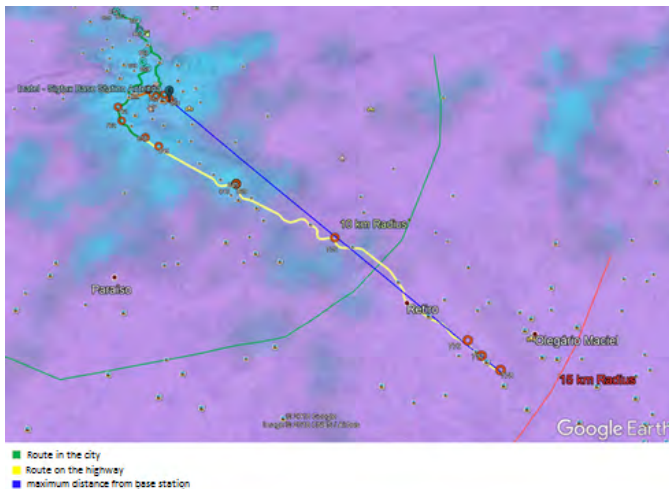


Figure 5. Map with the altitude profile of the IoT object (node) performed during the experiments.

The energy consumption of the prototype was measured using the Fluke model 83V multimeter for the accuracy of the obtained values. At the moment of sending the geographic coordinates (instant location), the observed current consumption at the node was about 4,861 mA during the transmission mode and 1.72 mA in stand-by mode.

## VI. CONCLUSION AND FUTURE WORK

The technologies discussed in this paper (LoRa and SigFox) presents some differences, but both of them were developed with goal to expand the IoT possibilities in the requirement of communication at distances around ten kilometers. Therefore, from the performed comparative analysis between LoRa and Sigfox, it is not possible to choose the best technology, but the most appropriate for each application.

For future research, it is intended to perform the same application proposed in this paper for LoRa protocol. In this way, it will be possible to compare the performance of these protocols in real environments for the same application.

## ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by FAPEMIG through the scientific research program at Inatel; by Finatel through the Inatel Smart Campus project; by the National Funding from the FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia through the UID/EEA/50008/2013 Project; by Finep, with resources from Funttel, Grant No. 01.14.0231.00, under the Centro de Referência em Radiocomunicações - CRR project of the Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel), Brazil; and by Brazilian National Council for Research and Development (CNPq) via Grant No. 309335/2017-5.

## REFERENCES

- [1] A. Augustin, J. Yi, T. Clausen, and W. M. Townsley, "A study of lora: Long range & low power networks for the internet of things," *Sensors*, vol. 16, no. 9, p. 1466, 2016.
- [2] Z. Yang, Y. Yue, Y. Yang, Y. Peng, X. Wang, and W. Liu, "Study and application on the architecture and key technologies for iot," *International Conference on Multimedia Technology*, pp. 747–751, July 2011.
- [3] M. Wu, T.-J. Lu, F.-Y. Ling, J. Sun, and H.-Y. Du, "Research on the architecture of internet of things," *3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE)*, vol. 5, pp. V5–484–V5–487, Aug 2010.
- [4] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, "Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications," *IEEE Communications Surveys Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376, 2015.
- [5] M. Wu, T.-J. Lu, F.-Y. Ling, J. Sun, and H.-Y. Du, "Research on the architecture of internet of things," in *Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE)*, 2010 3rd International Conference on, vol. 5. IEEE, 2010, pp. V5–484.
- [6] J.-s. Lee, Y.-w. Su, and C.-c. Shen, "A Comparative Study of Wireless Protocols : Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi," *Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON)*, no. 33, pp. 46–51, 2007.
- [7] J. de Carvalho Silva, J. J. P. C. Rodrigues, A. M. Alberti, P. Solic, and A. L. L. Aquino, "Lorawan - a low power wan protocol for internet of things: a review and opportunities," *International Multidisciplinary Conference on Computer and Energy Science (SpliTech 2017)*, Split, Croatia, pp. 143–148, 2017.
- [8] K. E. Nolan, W. Guibene, and M. Y. Kelly, "An evaluation of low power wide area network technologies for the internet of things," *International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, pp. 439–444, Sept 2016.
- [9] L. Krupka, L. Vojtech, and M. Neruda, "The issue of lpwan technology coexistence in iot environment," *17th International Conference on Mechatronics - Mechatronika (ME)*, pp. 1–8, Dec 2016.
- [10] F. Adelantado, X. Vilajosana, P. Tuset-Peiro, B. Martinez, J. Melia-Segui, and T. Watteyne, "Understanding the limits of lorawan," *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 9, pp. 34–40, 2017.
- [11] J. So, D. Kim, H. Kim, H. Lee, and S. Park, "Loracloud: Lora platform on openstack," *IEEE NetSoft Conference and Workshops (NetSoft)*, pp. 431–434, June 2016.
- [12] K. Mikhaylov, J. Petäjäjärvi, J. Haapola, and A. Pouttu, "D2d communications in lorawan low power wide area network: From idea to empirical validation," *IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops)*, May 2017.
- [13] L. Alliance, "A technical overview of lora and lorawan," pp. 1–20, 2015, available online: <https://www.lora-alliance.org/technology>.
- [14] A.-I. Pop, U. Raza, P. Kulkarni, and M. Sooriyabandara, "Does bidirectional traffic do more harm than good in lorawan based lpwa networks?" *Computer Science, Cornell University, ArXiv 1704.04174*, April 2017, available online: <https://arxiv.org/abs/1704.04174>.
- [15] B. Singh and B. Kaur, "Comparative study of internet of things infrastructure and security," *Global Wireless Submit 2016*, 2016.
- [16] Sigfox, "Serviços Sigfox," 2017 (accessed November 11, 2017), available online: <https://www.sigfox.com/en/solutions/sigfox-services>.
- [17] Sigfox, "SigFox Vs. LoRa: A Comparison Between Technologies amp," 2017 (accessed January 18, 2017), available online: <https://www.link-labs.com/blog/sigfox-vs-lora>.

# Estudo dos Canais de Comunicação Rádio-Móvel

Maria Virgínia Silva Magalhães  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
mariavirginia@get.inatel.br

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

**Abstract**—Fading is a phenomenon of the propagation of electromagnetic signals which occurs when the amplitude or phase of a radio signal vary rapidly within a short period of time. The loss of incidence of a signal is due to multipath propagation, shadowing and path loss, phenomena caused by distance and obstacles present between transmitter and receiver. In order to make a study of the effects of fading on a signal, the article presents factors that have influence in a wireless propagation environment and shows the results of a simulation developed in MATLAB, which illustrates the behavior individual and combined effects of such phenomena on a signal.

**Index Terms**—Fading, multipath, propagation, Rayleigh, Rice.

**Resumo**—Desvanecimento é um fenômeno físico da propagação de sinais eletromagnéticos que ocorre quando a amplitude, fase ou ambos de um sinal de rádio variam rapidamente dentro de um curto período de tempo, distância ou ambos. A perda de nível do sinal se deve à propagação por múltiplos percursos, sombreamento e perda por percurso, fenômenos causados pela distância e obstáculos presentes entre transmissor e receptor. A fim de fazer um estudo dos efeitos do desvanecimento sobre um sinal transmitido, o artigo apresenta fatores que possuem influência em um ambiente de propagação sem fio e mostra os resultados de uma simulação desenvolvida em MATLAB, que ilustra o comportamento de um sinal ao sofrer os efeitos individuais e combinados de tais fenômenos.

**Palavras chave**—Desvanecimento, multipercursos, propagação, Rayleigh, Rice.

## I. INTRODUÇÃO

O setor de telecomunicações tem apresentado um grande crescimento nas últimas décadas. A todo momento surgem novas tecnologias para atender as demandas do mercado, que cada vez está mais exigente quanto à qualidade com que se transmite informações. A comunicação sem fio tem mostrado-se como uma das tecnologias mais utilizadas, pois além de ter uma cobertura global, apresenta flexibilidade para conectar múltiplos aparelhos, pois além de diminuir custos de implementação, viabiliza a mobilidade do usuário. Entretanto, tal tecnologia ainda possui certas limitações. Na comunicação feita no chamado canal rádio-móvel, o sinal transmitido tem seu comportamento alterado ao sofrer o fenômeno de desvanecimento. Desvanecimento é um fenômeno físico da propagação de sinais eletromagnéticos que ocorre quando a amplitude, fase ou ambos parâmetros de um sinal de rádio variam rapidamente dentro de um curto período de tempo, distância ou ambos. As características do sinal podem variar durante o percurso devido a fatores como: distância entre origem e destino, obstruções presentes pelo caminho e velocidade de deslocamento tanto do transmissor quanto

do receptor. Tal fenômeno pode ser analisado com base em dois diferentes enfoques: desvanecimento em larga e pequena escalas. O desvanecimento em larga escala associa-se à perda de potência devido à distância percorrida (*path loss*) e ao sombreamento provocado, em geral, por montanhas, picos e grandes construções. Já o segundo relaciona-se à propagação por múltiplos percursos (também denotado por multipercursos), que resulta em diferentes percursos de transmissão devido a efeitos de reflexão, difração, espalhamento e visada direta. Assim, réplicas do sinal chegam ao receptor com amplitudes, fases e atrasos ligeiramente diferentes. Consequentemente, a sobreposição de tais versões causa interferências construtivas e destrutivas, implicando em rápidas variações da potência recebida [1]. O sinal resultante da propagação por múltiplos percursos pode ser modelado estatisticamente por meio de funções densidade de probabilidade. Apesar de serem diversos os modelos existentes, os mais comumente utilizados são Rayleigh e Rice. Em ambientes urbanos onde o sinal é severamente obstruído por grandes construções e não existe uma componente de sinal dominante, a envoltória do sinal recebido possui distribuição Rayleigh e a fase do sinal recebido segue uma distribuição uniforme. Já em situações nas quais, além de obstáculos há visada direta, ou seja, nenhum obstáculo entre transmissor e receptor, a envoltória do sinal recebido segue a distribuição Rice.

O uso de ferramentas de simulação é fundamental em todas as fases do projeto de sistemas de comunicações modernos. Nas últimas décadas, a complexidade de tais sistemas tem crescido de maneira a não ser mais possível projetar e analisar seu desempenho sem um suporte computacional. Assim, a simulação é uma ferramenta valiosa para realizar os experimentos e aprofundar o conhecimento sobre o comportamento de um sistema, além de permitir a redução de custos de implementação [2], [3]. Desse modo, neste artigo, uma simulação em MATLAB foi desenvolvida a fim de ilustrar os principais fenômenos da propagação em um canal sem fio e permitir uma análise mais profunda dos fenômenos de desvanecimento, mostrando assim os efeitos combinados e individuais de perda por percurso, sombreamento e multipercursos sobre o sinal transmitido.

## II. DESVANECIMENTO

Desvanecimento é o fenômeno no qual um sinal tem sua amplitude e fase alteradas ao se propagar entre transmissor e receptor [4]. Esse fenômeno pode ser analisado com base em dois diferentes aspectos: desvanecimento em larga e pequena



escala. Enquanto o primeiro descreve o comportamento do nível do sinal ao se propagar ao longo de grandes distâncias, o segundo tipo relaciona-se ao comportamento do sinal ao se deparar com obstáculos que estão próximos ao receptor [1].

O desvanecimento em larga escala relaciona-se à perda de potência do sinal em relação à distância de propagação e a obstáculos presentes pelo caminho. Esse efeito divide-se em duas definições, que são: média em área e média local.

- **Média em área:** Também chamada de *path loss* ou *area-mean*, descreve como o nível do sinal transmitido é influenciado pela distância entre o transmissor e o receptor. A perda por percurso média é expressa em função da distância por  $\overline{PL}(\text{dB}) = \overline{PL}(d_0) + 10n \log(d/d_0)$  em que  $n$  é o expoente do *path loss* e representa o valor da perda por percurso de acordo com o ambiente de propagação;  $d$  é a distância entre transmissor e receptor; e  $d_0$  é a distância de referência. A variável  $n$  admite diferentes valores conforme o ambiente de propagação. Quanto maior a densidade de obstruções presentes no local, mais alto é o valor de  $n$  [1]
- **Média local:** Também conhecida como *local-mean* ou *shadowing*, é o resultado da obstrução do sinal por grandes obstáculos ao longo do caminho de propagação. Exemplos típicos de obstruções são montanhas, picos e grandes construções. A mudança no nível do sinal causada por esse fenômeno é comumente modelada utilizando a distribuição log-normal de média  $\mu$  e desvio padrão  $\sigma$ , baseados no modelo de perda por percurso [1]. A potência do sinal de recepção com variações de média local e média em área pode ser calculada por meio de  $PL(d)[\text{dB}] = \overline{PL}(d) + X_\sigma = 10n \log(d/d_0) + X_\sigma$ . Para ilustrar as definições acima, tem-se a Fig. 1. A Fig. 1 mostra as variações de média local e média em área, bem como a variação instantânea do sinal em relação à distância entre receptor e transmissor. Nota-se que as variações instantâneas são mais rápidas que a de média local, que varia mais suavemente. Desvanecimentos profundos (*deep fading*) podem ser observados nessa figura nos pontos onde a potência recebida do sinal apresenta valores mais negativos. Em outras palavras, esses pontos representam uma severa interferência destrutiva sofrida pelo sinal recebido devido à combinação das réplicas de sinal criadas pelo múltiplo percurso. Apesar de ser um fenômeno aleatório, os pontos de desvanecimento profundo ocorrerão a uma distância média dada por  $\lambda/2$ , no qual  $\lambda$  é o comprimento de onda do sinal.

O desvanecimento em pequena escala descreve as rápidas variações de fase, amplitude e atrasos de sinais em uma pequena distância ou período de tempo. O fenômeno pode ser influenciado por alguns fatores físicos [1]: i) **Multipercurso:** Diversas versões do sinal, com diferentes amplitudes e atrasos, chegam ao receptor por vários caminhos. Essas componentes do sinal se sobrepõem causando interferências construtivas e destrutivas que implicam no desvanecimento e distorções no sinal; ii) **Velocidade do receptor:** A velocidade relativa entre

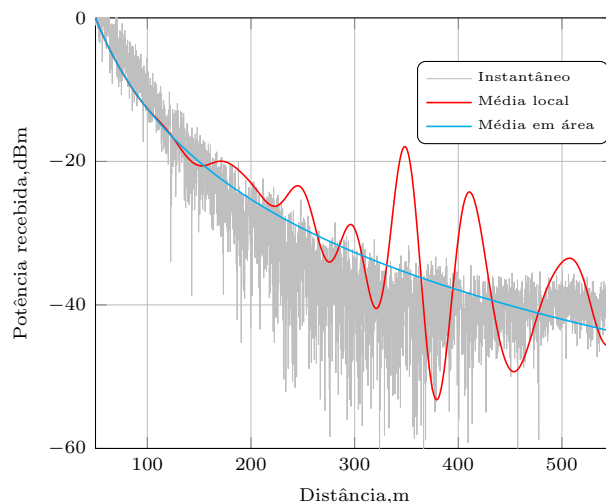


Fig. 1: Variações de média local e média em área

transmissor e receptor causa deslocamentos de frequência em cada componente do sinal, aumentando assim a largura de banda devido ao espalhamento Doppler; iii) **Velocidade dos objetos ao redor:** Objetos em movimento provocam um deslocamento Doppler nas componentes do multipercurso; iv) **Largura de banda da transmissão do sinal:** O sinal será distorcido caso a banda de transmissão seja maior que a banda do canal.

A propagação por múltiplos percursos se dá por meio da combinação das componentes do sinal que sofrem fenômenos de reflexão, difração e espalhamento. Quando não existem tais impedimentos, o sinal chega ao receptor sem sofrer desvios, por meio da propagação por visada direta (LOS, *line-of-sight*) [5]. Na propagação multipercurso, a **reflexão** e a **difração** acontecem quando o sinal encontra obstáculos cujas dimensões são maiores que seu comprimento de onda. O **espalhamento** ocorre em obstáculos de dimensões menores ou da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda do sinal. Cada réplica do sinal chega ao receptor com atrasos e fases diferentes. A sobreposição das versões recebidas causa interferências construtivas e destrutivas, provocando assim mudanças na amplitude, e portanto na potência, do sinal recebido. Essas variações definem o fenômeno de desvanecimento por múltiplos percursos. A estatística do sinal que chega ao receptor pode ser modelada estatisticamente por meio de distribuições de probabilidade. Existem vários modelos que podem ser utilizados para descrever matematicamente o desvanecimento, porém as distribuições Rayleigh e Rice são as mais utilizadas. Em ambientes urbanos típicos, no qual o sinal é recebido por meio de múltiplos percursos e não apresenta nenhuma componente de sinal com potência dominante, a envoltória possui função densidade de probabilidade (fdp) que segue a distribuição Rayleigh e variações de fase que seguem a distribuição uniforme. Por outro lado, quando há uma componente dominante presente, como por exemplo, a de visada direta, a fdp passa a ser Rice e as variações de fase

deixam de ser uniforme [5]. Existem algumas razões para a utilização de modelos matemáticos ao se estudar a propagação por múltiplos percursos. Além de ajudar na compreensão dos efeitos do canal sobre o sinal de transmissão, os modelos permitem fornecer dados que possam servir de base para simulações quando a análise é mais complexa.

1) *Distribuição Rayleigh*: A distribuição Rayleigh é uma distribuição de probabilidade contínua para valores positivos. A fdp dessa distribuição é dada por

$$f_R(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right), & r > 0 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (1)$$

na qual  $\sigma^2$  é a variância das Gaussianas que forma o processo Rayleigh e  $\Omega = 2\sigma^2$  representa a potência média da envoltória do sinal recebido por todos os percursos e pode ser considerado como parâmetro de escala.

Variáveis aleatórias Rayleigh podem ser geradas a partir da manipulação de duas Gaussianas de média nula e variância  $\sigma^2$ . Geram-se duas Gaussianas estatisticamente independentes:  $X_1 \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2)$  e  $X_2 \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2)$ . Em seguida extrai-se a raiz quadrada da soma de  $X_1^2$  e  $X_2^2$ , portanto  $R = \sqrt{X_1^2 + X_2^2}$ . A variável aleatória  $R$  terá então distribuição Rayleigh.

2) *Distribuição Rice*: Em casos onde existe uma componente de sinal cuja potência é dominante, a envoltória do desvanecimento passa a ter uma distribuição Rice. Essa distribuição, assim como a Rayleigh, também é contínua para valores positivos. A fdp é dada por

$$f_R(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2 - A^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{rA}{\sigma^2}\right), & r \geq 0 \text{ e } A \geq 0 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2)$$

na qual  $I_0(\cdot)$  é a função de Bessel de primeiro tipo de ordem zero e  $A^2$  representa a potência da componente da linha de visada direta do sinal transmitido. Ademais, o fator de Rice, denotado por  $K$ , pode ser escrito como  $K = 10 \log A^2/(2\sigma^2)$ , em dB, que representa a razão entre a potência do sinal dominante transmitido e a potência das demais componentes do sinal que compõem o multipercurso.

O parâmetro de escala para essa distribuição é dado por  $\Omega = 2\sigma^2 + A^2$ .

A fase do desvanecimento do tipo Riciano relaciona-se com o fator  $K$  e a função  $Q(x) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right)$ , e é dada pela seguinte fdp [5]

$$f_\Theta(\theta) = \begin{cases} \frac{1}{2\pi} e^{-K} \{1 + \sqrt{4\pi K} e^{K \cos^2 \theta} \cos \theta [1 - Q(\sqrt{2\pi} \cos \theta)]\}, & -\pi < \theta \leq \pi \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3)$$

A geração de uma variável aleatória Rice é semelhante ao da Rayleigh, porém, agora ao menos uma das Gaussianas deve ter média diferente de zero. Dessa forma,  $X_1 \sim \mathcal{N}(A, \sigma^2)$  e  $X_2 \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2)$ . Quando  $K \rightarrow 0$ , a distribuição de Rice tende à Rayleigh. Nesse caso, a fase terá distribuição uniforme.

Deslocamento Doppler (*Doppler Shift*) é um fenômeno no qual o movimento relativo entre transmissor e receptor provoca deslocamentos de frequência nas componentes do sinal recebido. Em outras palavras, a frequência do sinal

recebido varia conforme ele se propaga pelo canal, chegando ao receptor com um valor diferente daquele com que foi gerado [6], [7]. O efeito Doppler é proporcional à velocidade com que o movimento ocorre e seu desvio máximo pode ser calculado relacionando a velocidade  $v$  em metros por segundo, a frequência da portadora,  $f_c$  em Hertz e a velocidade da luz  $c$ , por meio de  $f_{\max} = v/\lambda$ . O espectro de potência Doppler (*Doppler Power Spectrum*) pode ser modelado por

$$S_E(f) = \frac{1.5}{\pi f_{\max} \sqrt{1 - \left(\frac{f - f_c}{f_{\max}}\right)^2}}, \quad (4)$$

sendo  $f = f_c - f_{\max} : \Delta f : f_c + f_{\max}$ , no qual  $\Delta f = \frac{2f_{\max}}{(N-1)}$  e  $N$  representa o número de pontos usados para gerar o espectro [1].

O desvanecimento devido à propagação em multipercurso pode ser classificado em quatro tipos, com base em fatores como o sinal transmitido, o canal e a velocidade entre transmissor e receptor. O espalhamento de retardo por multipercurso determina desvanecimentos do tipo **plano** e **seletivo**, enquanto o espalhamento Doppler determina desvanecimentos do tipo **rápido** ou **lento**. Uma vez que esses efeitos são gerados a partir de parâmetros independentes, é possível obter vários cenários, combinando, por exemplo, o primeiro tipo com o segundo. Assim, é possível que o sinal sofra simultaneamente um *desvanecimento plano e lento*, ou *rápido e seletivo*, entre outros [8]. Porém, antes de definir cada um, é necessário ter conhecimento sobre outros parâmetros importantes para a análise, que são *banda de coerência* e *tempo de coerência*.

A banda de coerência define o tipo de desvanecimento ao qual o sinal está submetido e representa a faixa de frequências na qual dois sinais podem apresentar uma grande correlação em amplitude. Em outras palavras, a largura da banda de coerência estabelece a faixa na qual todas as componentes espectrais do sinal possuem ganho aproximadamente igual e fase linear. Nessa faixa o canal é considerado plano, ou seja, afeta todas as componentes do sinal do mesmo modo. A banda de coerência relaciona-se diretamente com o espalhamento de retardo RMS, dada por  $B_c \propto 1/\sigma_\tau$ . A banda de coerência descreve a natureza dispersiva do canal em uma área local, porém não caracteriza o canal quanto ao movimento relativo entre receptor e transmissor.

O tempo de coerência representa o intervalo de tempo no qual a resposta ao impulso do canal é aproximadamente invariante. O tempo de coerência relaciona-se com o deslocamento Doppler por  $T_c \simeq 1/f_{\max}$ . Portanto, quanto maior a velocidade relativa entre transmissor e receptor, maior será o espalhamento Doppler e, assim, menor o tempo de coerência. Dois sinais recebidos possuem grande potencial para correlação dentro do tempo de coerência [9].

3) *Desvanecimento Plano*: Se as componentes espectrais do sinal são igualmente afetadas, diz-se que o desvanecimento é plano. Esse efeito acontece principalmente em sinais de banda estreita, nos quais a banda de coerência do sinal é menor que a do canal [8]. Matematicamente  $B_s \ll B_c$  e  $T_s \gg \sigma_\tau$ , no qual  $B_s$  é a banda do sinal,  $B_c$  é a banda do canal,  $T_s$  é o

intervalo de símbolo do sinal e  $\sigma_\tau$  é o espalhamento retardo RMS.

4) *Desvanecimento Seletivo*: Se ao invés de banda estreita o sinal possuir banda larga, normalmente a banda de coerência do sinal passa a ser maior que o do canal, caracterizando assim um desvanecimento do tipo seletivo. Consequentemente, as componentes espectrais do sinal passam a ser afetadas por diferentes ganhos. Matematicamente  $B_s > B_c$  e  $T_s < \sigma_\tau$ .

5) *Desvanecimento Lento*: Se o tempo de coerência  $T_c$  do canal for maior que o intervalo de símbolo  $T_s$ , o canal permanece aproximadamente estático durante a ocorrência de um ou mais símbolos. Uma vez que  $T_c$  é inversamente proporcional à frequência máxima Doppler, quando a velocidade relativa dos obstáculos ao redor ou entre transmissor e receptor for baixa, o espalhamento Doppler também o será, aumentando assim o tempo de coerência [9]. O desvanecimento lento também ocorre quando há sombreamento do sinal ocasionado por montanhas, picos e construções.

6) *Desvanecimento Rápido*: Ao contrário do desvanecimento lento, o desvanecimento rápido se origina devido às interferências construtivas e destrutivas causadas pela propagação multipercurso. Caso haja um grande espalhamento Doppler,  $T_c$  passa a ser menor que a duração de símbolo  $T_s$ . Dessa forma, as amplitudes e fases do sinal que chega no receptor sofrerão uma maior variação, caracterizando um desvanecimento do tipo rápido [10].

### III. SIMULAÇÃO NO MATLAB

A simulação desenvolvida em MATLAB neste trabalho tem como objetivo permitir a análise dos efeitos da propagação em pequena e larga escala em um canal sem fio e é baseada na simulação apresentada em [11, Simulation 3.3, pagina 208] desenvolvida no software VisSim. O resultado é resumido em quatro plots. O **Plot A** mostra o desvanecimento por multipercurso e sombreamento em função do tempo, bem como seus histogramas. O **Plot B** ilustra o efeito conjunto do desvanecimento em pequena e larga escala. A separação do sinal recebido em variações de média em área e média local é mostrado no **Plot C**. Finalmente o **Plot D** estima a componente do multipercurso subtraindo a combinação da perda por percurso estimada com sombreamento. O código foi desenvolvido de modo que todos os parâmetros possam ser modificados, sendo assim possível simular variadas situações que permitem um estudo mais completo do fenômeno de desvanecimento. Desvanecimentos do tipo Rayleigh e Rice podem ser gerados comparando os efeitos resultantes da combinação de três importantes fatores: sombreamento, perda por percurso e multipercurso.

O modelo de Clarke, método que utiliza modulação em fase e quadratura, foi empregado para implementar o simulador de desvanecimentos. Um desvanecimento Rayleigh pode ser obtido de acordo com os seguintes passos [1]. Primeiro, configurar um número  $N$  de pontos a ser usado na simulação. Para isso, os valores da frequência de amostragem, bem como o tempo total de simulação devem ser escolhidos para que se obtenha  $N$ , uma vez que estes parâmetros estão relacionados por

$N = t \times F_s + 1$ . Em seguida, calcular o valor do espaçamento entre duas linhas espectrais utilizando  $\Delta f = 2f_{\max}/(N - 1)$  no qual  $f_{\max}$  corresponde à máxima frequência do Doppler. Gerar duas Gaussianas independentes com  $N$  pontos e média nula, que serão as componentes em fase e quadratura do sinal. Multiplicar cada uma das componentes por  $\sqrt{S_E Z(f)}$  para modelar os sinais no domínio da frequência. Realizar a transformada inversa rápida de Fourier do resultado de cada multiplicação e extrair a parte real de cada sinal. Em seguida, elevar cada sinal ao quadrado e realizar a soma. Extrair a raiz da soma encontrada no passo anterior será o sinal com desvanecimento Rayleigh.

A simulação do desvanecimento Rice se dá de modo semelhante. Entretanto, no passo III, a média de ao menos uma das Gaussianas deve ter um valor diferente de zero para que haja uma componente de sinal dominante.

#### A. PLOT A - Análise dos efeitos individuais do sombreamento e desvanecimento por multipercurso

O Plot A apresenta individualmente os efeitos do sombreamento e desvanecimento por multipercurso, que pode ser do tipo Rayleigh ou Rice, conforme valor de  $K$  configurado na simulação.

As Figs. 2 e 3 exibem respectivamente desvanecimentos do tipo Rayleigh e Rice. Os gráficos das Figs. 2(c) e 3(c) representam desvanecimentos multipercurso em função do tempo total da simulação. Os gráficos das Figs. 2(d) e 3(d) são os correspondentes histogramas normalizados. O sombreamento (Figs. 2(a), 2(b), 3(a) e 3(b)) foi modelado a partir da distribuição log-normal e é definido pelos parâmetros desvio padrão  $\sigma$  e média  $\mu$ , que nesse caso é nula. Ao analisar os gráficos relativos ao desvanecimento por multipercurso, observa-se que, ao mudar a distribuição de Rayleigh para Rice, ou seja, ao variar o valor de  $K$ , ocorreu uma diminuição na intensidade do desvanecimento. Tal mudança deu-se devido à influência da componente dominante, ou de visada direta, sobre o sinal recebido no receptor. Assim, quanto maior o valor do fator de Rice  $K$ , menor será a intensidade do desvanecimento, pois haverá a influência da potência da componente de visada direta sobre o sinal recebido.

#### B. PLOT B - Análise dos efeitos conjuntos do desvanecimento em pequena e larga escala

O sinal recebido pelo receptor, resultado da combinação dos efeitos da propagação em pequena e larga escala, é exibido na Fig. 4. O Plot B foi gerado pela manipulação do sombreamento, multipercurso e perda por percurso, em dBm. É possível perceber a variação da potência do sinal total recebido pelo receptor conforme a distância em relação ao transmissor aumenta. Portanto, um grande distanciamento significa alta atenuação do valor da potência recebida e o sinal chega ao receptor com um nível consideravelmente mais baixo do que foi transmitido. Tal efeito pode ser melhor observado ao habilitar somente a perda por percurso na simulação (Figura



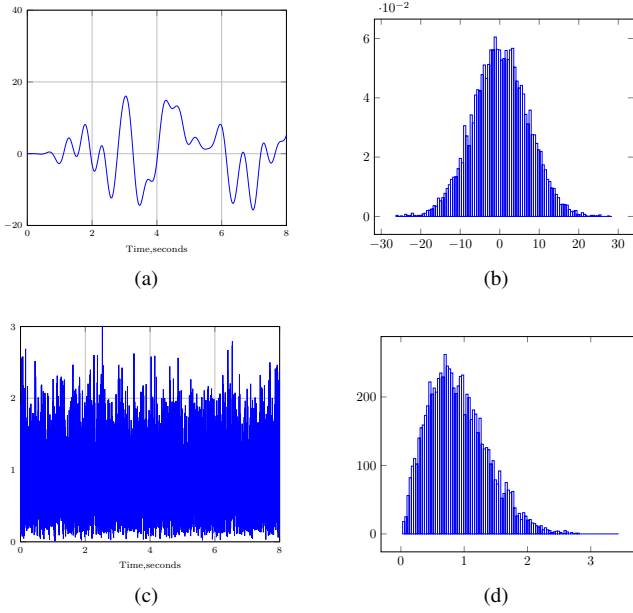


Fig. 2: Plot A - (a) Sombreamento (b) Histograma do sombreamento (c) Devanecimento Rayleigh (d) Histograma da envoltória Rayleigh

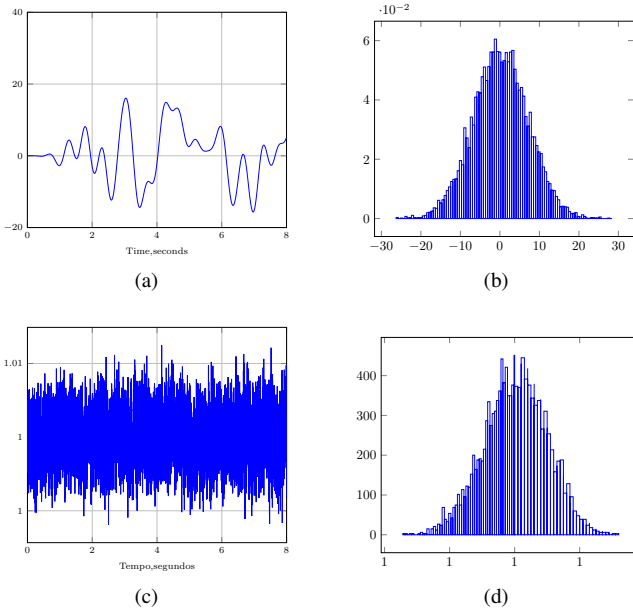


Fig. 3: Plot A - (a) Sombreamento (b) Histograma do sombreamento (c) Devanecimento Rice (d) Histograma da envoltória Rice

5). O gráfico será traçado com base em

$$PL(d) = \left( \frac{d}{d_0} \right)^n \quad (5)$$

no qual  $d$  e  $d_0$  são respectivamente a distância final e inicial entre transmissor e receptor e  $n$  é o expoente da perda por

percurso. Como resultado, a potência recebida irá decrescer proporcionalmente ao quadrado da distância entre transmissor e receptor quando  $n = 2$ .

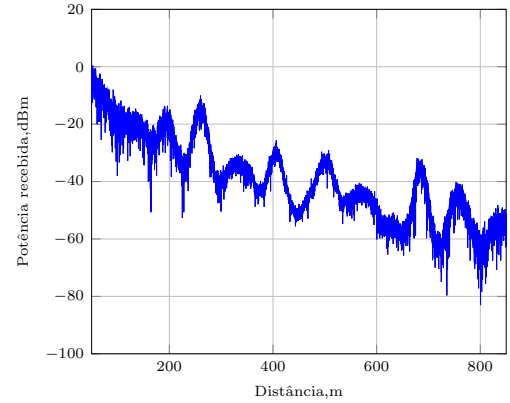


Fig. 4: PLOT B - Sinal com desvanecimento em pequena e larga escala

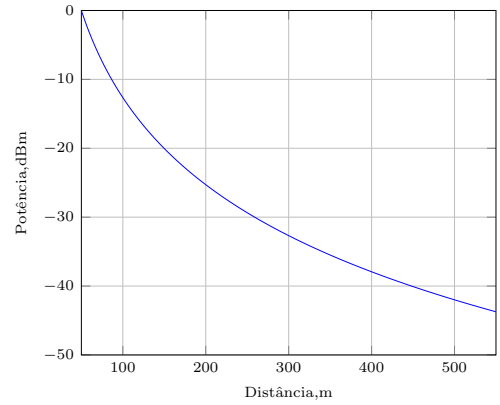


Fig. 5: PLOT B - Sinal com perda por percurso somente

### C. PLOT C - Análise das componentes do desvanecimento em pequena escala

Após análise dos efeitos conjuntos do desvanecimento feita no tópico anterior, o Plot C apresenta uma técnica de separação dos componentes de pequena e larga escala utilizando filtros de mediana movente. Esses filtros são discretos no tempo e não lineares e processam o sinal de entrada utilizando os seguintes passos: primeiro armazenam-se todos os pontos que compõem o sinal em uma janela de tamanho  $N$  pré definido e organiza-os em ordem crescente. A janela então desliza pelo sinal de entrada e o valor na saída do filtro corresponde ao valor mediano da sequência, quando  $N$  for ímpar, ou a média entre dois pontos centrais quando  $N$  for par. As amostras antigas são descartadas e novas são obtidas até que todo sinal seja filtrado.

Dois filtros de média movente foram usados para separar as variações. Para aquelas relacionadas à média local, o tamanho da janela utilizada foi  $N = 200$ , enquanto para as referentes à média em área foi necessária uma janela tal que  $N = 10000$ ,

para que fosse possível filtrar todas as variações do sinal e extrair somente a perda por percurso.

A Fig. 6 possui quatro curvas diferentes: o sinal recuperado e o original sob efeito de perda por percurso e sombreamento, bem como o sinal recuperado e o original sob efeito da perda por percurso. Uma vez que os sinais recuperados se sobrepõem aos originais com precisão, conclui-se que houve uma boa estimativa da separação realizada pelos filtros. Uma estimativa correta depende a princípio de dois fatores: tamanho da janela escolhida e valor do efeito Doppler. Ao escolher um valor demasiado pequeno para as janelas, a sobreposição entre os sinais deixa de ter a precisão observada anteriormente, como pode ser visto na Fig. 7. O mesmo acontece ao variar o valor do efeito Doppler. Posto que esse parâmetro relaciona-se diretamente à velocidade com que o receptor se afasta do transmissor, um aumento em seu valor significa que o sinal está sofrendo variações mais rápidas em sua fase e amplitude. Portanto, é necessário um aumento do tamanho da janela para que a estimativa melhore.

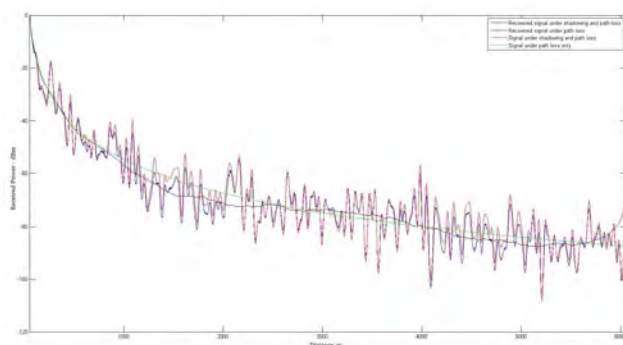


Fig. 6: Plot C - Sinais originais e recuperados com boa estimativa

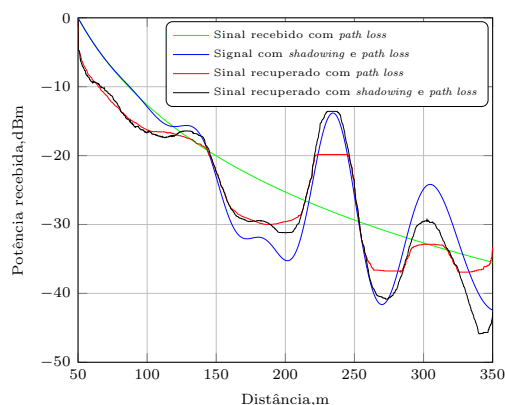


Fig. 7: Plot C - Sinais originais e recuperados com má estimativa

#### D. PLOT D - Estimativa da componente do multipercurso

A mesma técnica de filtros utilizada no Plot C pode ser aplicada para estimar a componente do multipercurso a partir

do sinal gerado no Plot B, que é composto por desvanecimento multipercurso, sombreamento e perda por percurso. O processo para a extração do multipercurso é simples e consiste em subtrair o sinal filtrado pelo filtro de mediana movente com janela  $N = 200$  do sinal composto. O gráfico observado pode ser comparado ao de propagação em pequena escala, como mostrado na Fig. 8.

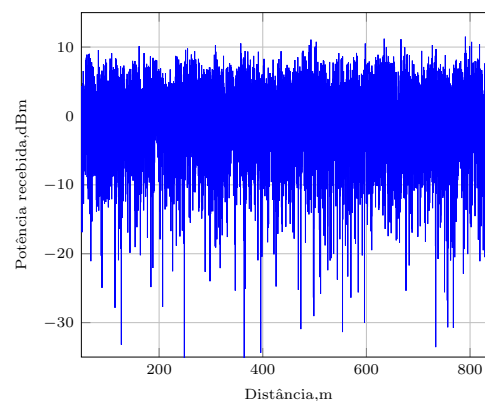


Fig. 8: Plot D - Multipercurso estimado

#### AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente financiado pela Fapemig, CNPq contrato No. 308365/2017-8 e pela Finep, com recursos do Funttel, contrato No 01.14.0231.00, sob o projeto Centro de Referência em Radiocomunicações (CRR) do Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel, Brasil.

#### REFERÊNCIAS

- [1] T. S. Rappaport *et al.*, *Wireless communications: principles and practice*. Prentice Hall PTR New Jersey, 1996, vol. 2.
- [2] W. H. Tranter, T. S. Rappaport, K. L. Kosbar, and K. S. Shanmugan, *Principles of communication systems simulation with wireless applications*. Prentice Hall New Jersey, 2004, vol. 1.
- [3] B. D. Woerner, J. H. Reed, and T. S. Rappaport, "Simulation issues for future wireless modems," *IEEE Communications Magazine*, vol. 32, no. 7, pp. 42–53, 1994.
- [4] V. Lavanya, G. S. Rao, and B. Bidikar, "Fast fading mobile channel modeling for wireless communication," *Procedia Computer Science*, vol. 85, pp. 777–781, 2016.
- [5] D. Guimaraes and R. De Souza, *Transmissão Digital - Princípios e Aplicações*, 2nd ed. Erica, 2014.
- [6] R. Stiel Duque, "Estatísticas de ordem superior para a distribuição  $\kappa - \mu$ ," Master's thesis, Instituto Nacional de Telecomunicações, 2003.
- [7] A. B. de Paula, "An introduction to doppler effect and fading in mobile communication," Ph.D. dissertation, Monterey, California. Naval Postgraduate School, 1992.
- [8] M. K. Simon and M.-S. Alouini, *Digital communication over fading channels*. John Wiley & Sons, 2005, vol. 95.
- [9] M. B. Kharel and S. R. Shakya, "Simulation on effect of doppler shift in fading channel and imperfect channel estimation for ofdm in wireless communication," in *Proceedings of IOE Graduate Conference*, vol. 537, 2014.
- [10] D. Tse and P. Viswanath, *Fundamentals of Wireless Communication*. New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2005.
- [11] D. A. Guimaraes, *Digital transmission: a simulation-aided introduction with VisSim/Comm*. Springer Science & Business Media, 2010.

# Sensoriamento Espectral em Canais de Desvanecimento Utilizando Detector de Energia

Maria Virgínia Silva Magalhães  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
mariavirginia@get.inatel.br

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

**Abstract**—The concept of cognitive radio emerged due to the scarcity of the frequencies available in the spectrum for wireless communications. One of the relevant functions of a cognitive radio is the ability to monitor the spectrum and detect holes (periods of time when licensed users are not transmitting). This paper presents a study of the main concepts related to spectrum sensing in fading channels using the energy detection technique. The results were obtained from a simulation developed in MATLAB and were analysed using ROC curves and probability density functions.

**Resumo**—A ideia de rádio cognitivo surgiu perante a escassez do espectro de frequências em sistemas de comunicação sem fio. Uma das funções relevantes de um rádio cognitivo é o sensoriamento espectral - monitoramento do espectro e detecção de buracos espectrais nas faixas de frequência licenciadas. Este artigo apresenta um estudo sobre os principais conceitos relacionados ao sensoriamento espectral em canais de desvanecimento utilizando a técnica de detecção de energia. Os resultados foram obtidos por meio de uma simulação desenvolvida em MATLAB e foram analisados utilizando curvas ROC e funções de densidade de probabilidade.

**Index Terms**—Rádio Cognitivo, Sensoriamento Espectral, Simulação.

## I. INTRODUÇÃO

O espectro de frequências é um recurso valioso em sistemas de comunicação sem fio. A Agência Nacional de Telecomunicações - ANATEL, é o órgão responsável no Brasil por administrar e alocar o espectro de radiofrequência a cada tipo de usuário, como telefonia móvel, televisão, rádio, entre outros. Esse usuário licenciado, chamado de usuário primário (UP), possui prioridade na transmissão em determinada parte do espectro [1]. Entretanto, dada a limitação do espectro de frequências, o atual esquema de alocação fixa não pode acomodar todas as aplicações que têm surgido com o avanço da tecnologia. Em meio a esse cenário, surgiu o conceito de rádio cognitivo como uma possível tecnologia que pode ajudar a solucionar o problema da escassez do espectro ao permitir o uso oportunista das bandas de frequência [2].

Um rádio cognitivo (RC) é um dispositivo que possui a capacidade de medir, sensoriar, aprender e interpretar parâmetros relacionados às características do canal em que se está transmitindo. Assim, um RC é capaz de determinar quando existem lacunas (*spectral holes*) no canal e de permitir que usuários não licenciados, ou usuário secundário (US), transmitam durante esse período. Portanto, ao verificar a presença do UP, o US deve imediatamente liberar o canal e procurar por outro

disponível para continuar sua transmissão. O RC pode operar em modo cooperativo - quando mais de um RC é responsável pelo monitoramento do espectro, ou de maneira individual ou não cooperativa, tomando decisões por si só. A diferença está no desempenho do sistema e no nível de complexidade envolvido [3]. A decisão de um RC é tomada comparando-se uma estatística de teste, gerada com base nas informações coletadas do sinal recebido, com um dado limiar de decisão, calculado para atender aos requisitos do sistema [4]. Existem diversas técnicas de sensoriamento espectral, tais como as técnicas cicloestacionária, autovalores, filtro casado e detecção de energia. Esta última possui menor complexidade e é o tema do presente artigo. A partir dessas técnicas, quatro estatísticas de medida de desempenho podem ser destacadas: a probabilidade de detecção ( $\mathcal{P}_d$ ), a probabilidade de falso alarme ( $\mathcal{P}_{fa}$ ), a probabilidade de detecção de um buraco espectral ( $\mathcal{P}_{be}$ ) e a probabilidade de falso negativo ( $\mathcal{P}_{fn}$ ). O desempenho do sistema, que pode então ser medido analisando tais estatísticas, pode ser comprometido por efeitos como desvanecimento causado por multipercursos [5]. As ferramentas mais utilizadas para essa análise são as chamadas curvas ROC (*receiver operating characteristic*), que relacionam as probabilidades de detecção e falso alarme no receptor.

Uma simulação em MATLAB foi desenvolvida a fim de ilustrar o conceito de sensoriamento espectral em canais com desvanecimento utilizando a técnica de detecção de energia, na qual é possível analisar o comportamento de um sistema ao variar os valores da relação sinal-ruído SNR (do inglês, *signal-to-noise ratio*), o número de amostras coletadas, além dos diversos possíveis canais tais como os puramente ruidosos ou os canais com desvanecimento. O resultado é apresentado por meio de dois gráficos, no qual o primeiro mostra as funções densidade de probabilidade sob as hipóteses  $H_0$  e  $H_1$  e o segundo, a curva ROC com os resultados teórico e simulado.

Este artigo tem como objetivo apresentar os principais conceitos envolvidos no estudo do sensoriamento espectral, bem como concluir a respeito dos resultados obtidos na simulação.

## II. RÁDIO COGNITIVO

O RC é um rádio ou sistema responsável por sensoriar o espectro eletromagnético, podendo autônoma e dinamicamente ajustar seus parâmetros de modo a maximizar a eficiência espectral e diminuir a interferência dos sinais.

Um UP pode ser definido como aquele que é licenciado e portanto possui prioridade de transmissão. Por outro lado, um US é aquele com baixa prioridade, deve possuir capacidade de sensoriamento espectral, ou seja, utilizar RCs para explorar o espectro de forma a conseguir maiores oportunidades de transmissão [2]. Um RC pode atuar em cooperação com outros ou individualmente. Na forma não cooperativa, a decisão é feita autonomamente por cada RC. Contudo, essa técnica sofre com desvanecimentos causados por multipercursos, somreamento e incerteza do ruído no receptor, apesar de ser mais facilmente implementada. Já na versão cooperativa do sensoriamento espectral, vários RCs capturam informações nos canais foco do sensoriamento espectral para a tomada de decisão, que pode ser centralizada ou distribuída. É intuitivo que o sensoriamento cooperativo é o mais vantajoso em termos de confiabilidade, entretanto, fatores como a necessidade de algoritmos complexos, vários RCs e o ambiente dinâmico, podem aumentar a dificuldade de implementação [6]. Um RC opera em um ciclo cognitivo, que compreende as seguintes funções: sensoriamento e análise, gerenciamento e mobilidade, alocação e compartilhamento espectral [7].

- **Sensoriamento e análise:** Nesta etapa o RC detecta buracos espectrais utilizando uma técnica específica de sensoriamento espectral [8].
- **Gerenciamento e mobilidade:** Essas funções permitem que um US escolha a melhor porção do espectro disponível e migre para a faixa espectral que atenda melhor aos requisitos de qualidade de serviço [1].
- **Alocação e compartilhamento espectral:** A rede secundária, ao decidir pela ausência do UP, deve alocar um canal para a transmissão de um determinado transmissor da rede secundária. Tal alocação deve levar em conta parâmetros como taxa, frequência de operação e largura de banda. Dado que o recurso espectral é compartilhado entre UPs e USs, um bom esquema de alocação é fundamental para garantir uma melhor eficiência espectral [7].

### III. SENSORIAMENTO ESPECTRAL

Sensoriamento espectral é o processo no qual um RC monitora o espectro de frequências e determina, por meio de técnicas, se o UP está ou não presente [8]. Há na literatura diversas técnicas propostas para a detecção, que levam em consideração aspectos diferentes sobre o sinal. Em algumas delas é necessário saber informações tanto do UP quanto do ruído presente no sistema, enquanto em outras, apenas a potência do ruído já é suficiente, o que torna a implementação da técnica de sensoriamento menos complexa [2].

Algumas características são importantes relacionadas às técnicas de sensoriamento, como **agilidade** - o RC deve ser capaz de perceber as rápidas variações do espectro, **robustez** - deve detectar o UP mesmo em más condições de propagação, e **precisão** - deve compreender a situação do espectro de maneira a garantir mínima interferência ao UP [1].

De todas as técnicas existentes, três conhecidas serão brevemente descritas.

- **Filtro casado:** Método considerado ótimo quando há conhecimento das características do sinal transmitido, como largura de banda, frequência de operação, modulação, formato de pulso, entre outros, sendo capaz de maximizar a relação sinal ruído. Dessa forma, são necessários RCs capazes de estimar todos esses parâmetros, aumentando assim a complexidade do sistema. Contudo, a maior vantagem desse método é a eficácia em atingir altas probabilidades de detecção e falso alarme com poucas amostras observadas [2], [4].
- **Autovalor:** Técnica de sensoriamento espectral em que se calculam os autovalores da matriz de covariância do sinal recebido. Esse modelo tem sido bastante usado por não precisar de nenhum conhecimento *a priori* do sinal primário e assim ser menos complexo que outros [1]. Entretanto, existe a necessidade de um RC com capacidade maior para o cálculo dos autovalores.
- **Detecção de energia:** É o método mais comumente estudado e empregado no sensoriamento espectral devido à sua simplicidade de implementação. Assim como na técnica de detecção por autovalores, aqui não são necessárias informações *a priori* do sinal, apenas informações do ruído são suficientes para a tomada de decisão.

Para a técnica de detecção de energia, primeiramente considera-se

$$H_0 : y(n) = w(n) \quad (1)$$

$$H_1 : y(n) = s(n) + w(n) \quad (2)$$

no qual  $s(n)$  é o sinal a ser detectado, ou seja o sinal do UP,  $w(n)$  é o ruído aditivo Gaussiano branco (AWGN, do inglês *Additive white Gaussian noise*) e  $H_0$  e  $H_1$  são as probabilidades relacionadas à ausência e presença do UP, respectivamente. A variável de decisão  $T$  em um detector de energia é calculada por

$$T = \sum_{n=0}^N |y(n)|^2, \quad (3)$$

no qual  $N$  é o número de amostras coletadas. A estatística de teste  $T$  será comparada ao limiar para a decisão do RC. As principais desvantagens do detector de energia são a baixa precisão para baixos valores de SNR e o tempo levado para atingir uma determinada  $\mathcal{P}_d$ .

#### A. Funções densidade de probabilidade relacionadas ao sensoriamento espectral

A decisão de ocupação do espectro feita pelo RC utilizando detector de energia é dada por meio da comparação entre o valor da variável  $T$  e do limiar de decisão  $\lambda$ . Quando  $T > \lambda$ , o UP é considerado presente, decide-se pela ocupação, caso contrário entende-se que o espectro está livre e o US pode transmitir. Existem quatro probabilidades que podem ser observadas em um sistema de sensoriamento espectral:

- **Probabilidade de Detecção ( $\mathcal{P}_d$ ):** Probabilidade do UP ser detectado pela rede secundária e de fato estar transmitindo na faixa sensoriada. Quanto maior essa probabilidade, menor será a interferência de um US no sistema primário. Pode ser descrita matematicamente por

$$\mathcal{P}_d = \Pr(H_1|H_1) = \Pr(T > \lambda|H_1) \quad (4)$$

- **Probabilidade de Falso alarme ( $\mathcal{P}_{fa}$ ):** Probabilidade do RC decidir pela ocupação espectral, quando o UP não está presente de fato. Quanto maior essa probabilidade, menor a eficiência do sistema, pois o US perde oportunidades de transmissão. Matematicamente

$$\mathcal{P}_{fa} = \Pr(H_1|H_0) = \Pr(T > \lambda|H_0). \quad (5)$$

- **Falso negativo ( $\mathcal{P}_{fn}$ ):** Probabilidade do RC decidir pela não ocupação espectral, quando na verdade o UP está transmitindo. Quanto maior essa probabilidade, maiores são as chances do sistema primário sofrer interferência de um US. Nessa situação um US pode entender que o espectro está livre e tentar transmitir. Matematicamente

$$\mathcal{P}_{fn} = \Pr(H_0|H_1) = \Pr(T < \lambda|H_1). \quad (6)$$

Essa condição relaciona-se à probabilidade de detecção por meio de

$$\mathcal{P}_{fn} = 1 - \mathcal{P}_d. \quad (7)$$

- **Probabilidade de detecção de um Buraco espectral ( $\mathcal{P}_{be}$ ):** Probabilidade de detecção de um buraco espectral e de fato o US não estar transmitindo. Quanto maior essa probabilidade, melhor será a eficiência de ocupação do espectro sob o ponto de vista da rede secundária, pois haverá mais oportunidades de transmissão pelo US. Matematicamente

$$\mathcal{P}_{be} = \Pr(H_0|H_0) = \Pr(T < \lambda|H_0). \quad (8)$$

Essa probabilidade relaciona-se à probabilidade de falso alarme por meio de

$$\mathcal{P}_{fa} = 1 - \mathcal{P}_{be}. \quad (9)$$

As quatro probabilidades associadas ao sistema podem ser observadas na Figura 1. Variando-se o valor do limiar de decisão  $\lambda$  para a direita, diminui-se  $\mathcal{P}_{fa}$ , o que é desejado. Entretanto, a  $\mathcal{P}_d$  também sofre diminuição, o que não é desejável. De maneira similar, ao variar o limiar para a esquerda, ambas  $\mathcal{P}_{be}$  e  $\mathcal{P}_{fn}$  diminuem e  $\mathcal{P}_d$  e  $\mathcal{P}_{fa}$  aumentam. Portanto, é necessário escolher um limiar ótimo para que o sistema opere com as probabilidades esperadas.

### B. Curva ROC

A curva ROC (*Receiver Operating Characteristics*) é um gráfico bastante usado na literatura para a análise do desempenho de sistemas de sensoriamento espectral, relacionando as probabilidades de detecção e falso alarme no receptor. É bidimensional e sobre o eixo das ordenadas localiza-se a  $\mathcal{P}_d$ , enquanto no eixo das abscissas está a  $\mathcal{P}_{fa}$ . Dessa forma, cada ponto da curva corresponde a um par de probabilidades [4].

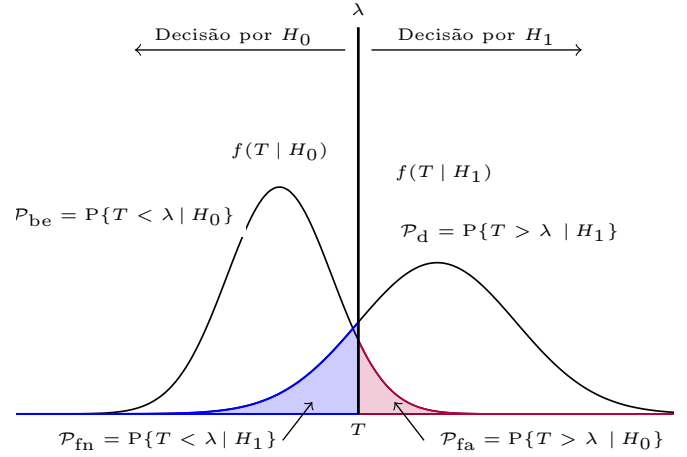


Fig. 1: Probabilidades do sistema - Adaptado [6]

A Figura 2 ilustra uma curva ROC com suas principais coordenadas. O ponto A (0,1) é o ideal em um sistema, pois obtém-se probabilidade de detecção máxima e de falso alarme nula. Consequentemente, obtém-se o melhor desempenho, pois a chance de um US interferir em um UP será a mínima. No B (0,0), em que ambas as probabilidades são nulas, as probabilidades de buraco espectral e falso negativo são máximas, como pode ser observado substituindo tais valores na equações (8) e (9). O oposto acontece em C (1,1) onde as probabilidades de detecção e falso alarme são máximas. Percebe-se também que o aumento do limiar de decisão implica na diminuição tanto de  $\mathcal{P}_d$  quanto de  $\mathcal{P}_{fa}$  e vice-versa.

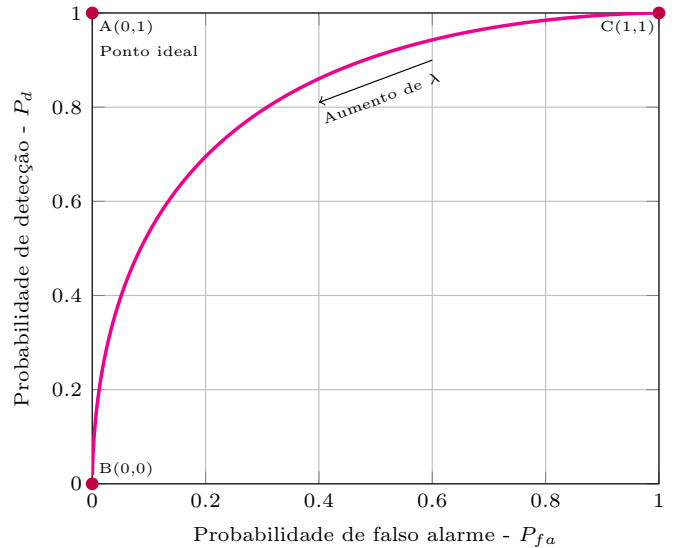


Fig. 2: Curva ROC com principais pontos

1) *Probabilidade de Detecção Teórica na Detecção de Energia:* A probabilidade de detecção teórica varia conforme mudam as características do canal em que o sinal está se

propagando. Em um canal AWGN é dada por [9, eqn. (5)]

$$\mathcal{P}_d = Q_{N/2} \left( \sqrt{\frac{2\gamma}{\sigma^2}}, \sqrt{\frac{\lambda}{\sigma^2}} \right) \quad (10)$$

em que  $\gamma$  é a relação sinal-ruído em escala linear e  $Q_{N/2}(\cdot, \cdot)$  é a função generalizada de Marcum  $Q$  [10].

Já em um canal Rayleigh, a probabilidade teórica se altera e passa a ser dada por [9, eqn. (9)]

$$\mathcal{P}_d = e^{-\frac{\lambda}{2\sigma^2}} \sum_{k=0}^{N/2-2} \left[ \frac{\left(\frac{\lambda}{2\sigma^2}\right)^k}{k!} \right] + \left( \frac{\sigma^2 + \gamma}{\gamma} \right)^{N/2-1} \times \left[ e^{-\frac{\lambda}{2(1+\gamma)}} - e^{-\frac{\lambda}{2\sigma^2}} \sum_{i=0}^{N/2-2} \frac{\left[ \frac{\lambda\gamma}{2\sigma^2(\sigma^2+\gamma)} \right]^i}{i!} \right] \quad (11)$$

2) **Probabilidade de Falso Alarme:** Para ambos os casos, a probabilidade de falso alarme teórica mantém-se a mesma, uma vez que ela independe do sinal do usuário primário, portanto, independe dos parâmetros característicos do sinal transmitido. Tal probabilidade é dada por [9, eqn. (4)]

$$\mathcal{P}_{fa} = \frac{\Gamma(N/2, \frac{\lambda}{2\sigma^2})}{\Gamma(N/2, 0)} \quad (12)$$

no qual  $\Gamma(\cdot, \cdot)$  é a função Gamma incompleta e  $\sigma^2$  é a potência do ruído. Na análise adotou-se  $\sigma^2 = 1$ , que é a potência do ruído gaussiano.

As equações (10), (11) e (12) foram usadas para gerar as curvas teóricas do sistema.

#### IV. SIMULAÇÃO E ANÁLISE

A simulação desenvolvida em MATLAB (disponível no Apêndice deste artigo) tem como objetivo ilustrar o desempenho de um sistema de sensoriamento espectral em RC utilizando a técnica de detecção de energia em canais com desvanecimento. Esse método foi escolhido devido à baixa complexidade computacional e de implementação, além de ser suficiente para ilustrar os objetivos dessa pesquisa.

Na simulação é possível variar parâmetros tais como relação a sinal ruído (SNR), o número de amostras coletadas ( $N$ ) e a quantidade de limiares de decisão, além de escolher o tipo de canal a ser simulado: AWGN ou Rayleigh.

O algoritmo desenvolvido compreende, resumidamente, os seguintes passos:

- 1) Um sinal transmitido aleatório Gaussiano é gerado e somado ao ruído AWGN;
- 2) No receptor, a energia é calculada, gerando a estatística de teste  $T$ ;
- 3) A variável de decisão  $T$  é comparada a um limiar de decisão  $\lambda$ . Se  $T > \lambda$ , decide-se pela presença do UP, caso contrário decide-se pela sua ausência;
- 4) As probabilidades  $\mathcal{P}_d$  e  $\mathcal{P}_{fa}$  são estimadas por meio da razão entre o número de vezes que houve detecção e o número de vezes em que o sinal foi transmitido; e entre o número de vezes que ocorreu falso alarme e o

número de vezes em que o sinal não foi transmitido, respectivamente;

- 5) Um ponto da curva ROC é gerado.

O desempenho do sistema pode ser analisado por meio de dois gráficos, que são resultados da simulação. O primeiro mostra as funções densidade de probabilidade condicionadas sob as hipóteses  $H_0$  e  $H_1$ ; o segundo apresenta a curva ROC do sistema, comparando os resultados simulados com os teóricos.

Dessa forma, será feita uma análise comparativa sobre a influência de parâmetros básicos como SNR,  $N$ , limiares de decisão e canal no desempenho do sistema. Nos gráficos apresentados os símbolos correspondem às curvas simuladas e as linhas contínuas, às curvas teóricas.

1) **Influência da relação sinal-ruído:** Este tópico tem por objetivo analisar a influência da relação sinal-ruído no desempenho do sistema de sensoriamento. A Figura 3 mostra as curvas simuladas e teóricas geradas em canal AWGN. Adotou-se  $N = 1000$  amostras e valores de SNR iguais a 0, 10 e 15 dB na simulação. É evidente que para maiores valores de SNR a curvatura das curvas aumenta, o que equivale a um aumento da probabilidade de detecção  $\mathcal{P}_d$  para uma dada  $\mathcal{P}_{fa}$ . Isso acontece porque a potência do sinal em relação ao ruído passa a ser maior, facilitando a tarefa do RC em detectar o UP.

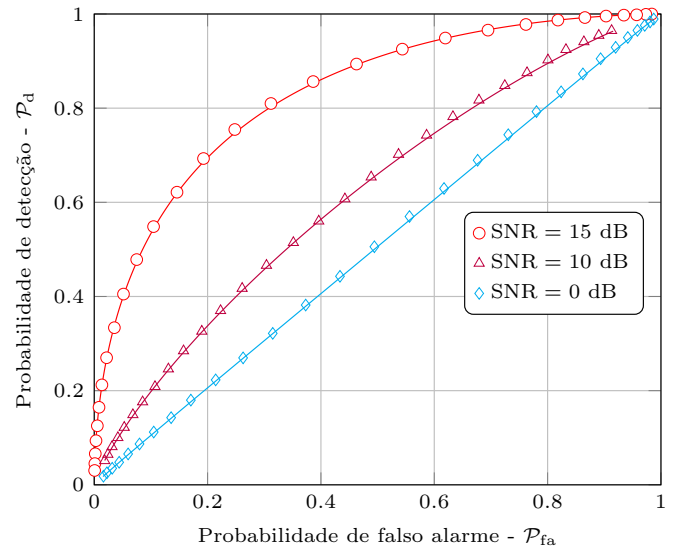


Fig. 3: Canal AWGN com diferentes SNRs

2) **Influência do número de amostras coletadas:** A Figura 4 mostra a influência do número de amostras coletadas pelo RC no desempenho do sistema. A simulação foi configurada da seguinte maneira: SNR = 10 dB e número de amostras igual a 50, 100 e 500. Claramente nota-se uma melhoria no desempenho ao aumentar o número de amostras, pois haverá uma melhor estimativa do sinal primário. Isso implica no aumento de  $\mathcal{P}_d$  para um mesmo valor de  $\mathcal{P}_{fa}$ .

3) **Influência do limiar de decisão:** Além do número de amostras e da relação sinal-ruído, o limiar de decisão também influencia nas probabilidades de decisão e de falso alarme. Na



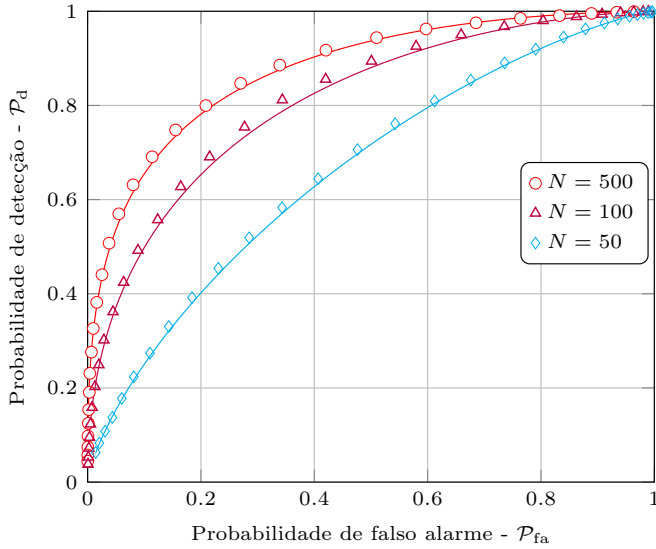


Fig. 4: Curva ROC com diferentes quantidades de amostras coletadas e SNR fixa

Figura 5 é possível observar a variação  $P_d$  e  $P_{fa}$  em função do limiar de decisão. Valores de limiares de decisão muito altos retornam valores muito baixos, quase nulos, de ambas probabilidades. Assim, é importante reforçar que a escolha do limiar de decisão ótimo é essencial para manter a relação de compromisso entre  $P_d$  e  $P_{fa}$  desejada.

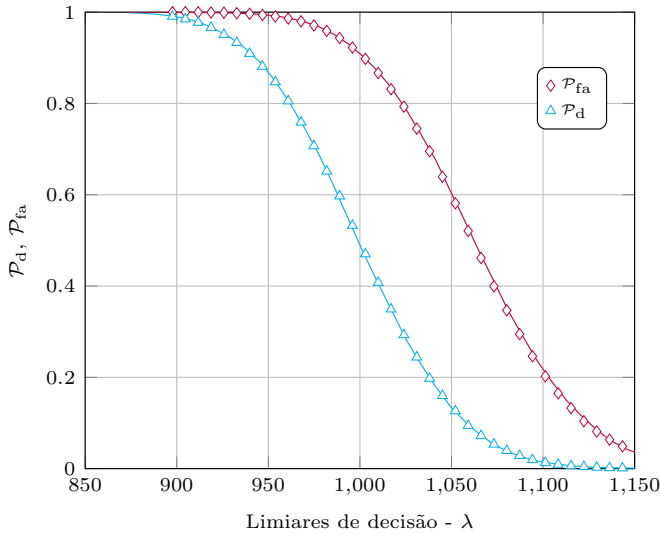


Fig. 5: Probabilidades de detecção e falso alarme em função dos limiares de decisão.

4) *Influência do canal:* As ondas eletromagnéticas propagam-se entre transmissor e receptor por meio de um canal, que muitas vezes possui obstáculos como construções, árvores e montanhas. Tais obstruções colaboram para a ocorrência de fenômenos tais como difração, reflexão e espalhamento, que por sua vez fazem com que componentes do sinal percorram diferentes caminhos e cheguem ao receptor

com atrasos diferentes. Dessa forma, o sinal sofre variações de potência, experimentando o chamado desvanecimento. O efeito de desvanecimento segue funções de probabilidade tais como Rayleigh, Rice, entre outras, que dependem, entre outros, da densidade de obstáculos presentes no ambiente de propagação [5].

O sensoriamento espectral é fortemente influenciado por esses efeitos. Ambientes com desvanecimento dificultam a detecção do UP pelo RC, comprometendo a qualidade do sensoriamento. A Figura 6 compara o desempenho do sensoriamento espectral em sistemas com canais AWGN e Rayleigh. Nota-se que a curva do primeiro está ligeiramente mais acima, o que significa que as probabilidades de detecção são maiores.

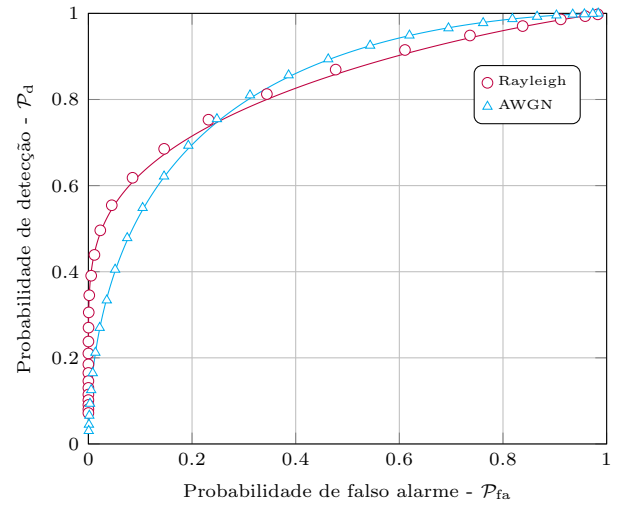


Fig. 6: Comparação - AWGN e Rayleigh

## V. CONCLUSÃO

O espectro de frequências é um recurso importante porém escasso em sistemas de comunicação sem fio devido à grande demanda criada pelos avanços da tecnologia. O uso de RCs é uma solução promissora para resolver o problema de congestionamento espectral, dada a sua capacidade de sensoriamento.

Uma das técnicas de sensoriamento espectral, a detecção de energia, mostrou-se útil para os fins de análise dessa pesquisa devido à facilidade de implementação e interpretação dos resultados, apesar de não ser a melhor técnica para um sensoriamento espectral real devido a sua baixa precisão em ambientes com baixa SNR. Para trabalhos futuros sugere-se a implementação das outras técnicas de sensoriamento citadas no artigo e a comparação do desempenho de cada uma delas utilizando as mesmas ferramentas.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente financiado pela Fapemig, CNPq contrato No. 308365/2017-8 e pela Finep, com recursos do Funttel, contrato No 01.14.0231.00, sob o projeto Centro de Referência em Radiocomunicações (CRR) do Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel, Brasil.

## REFERÊNCIAS

- [1] A. A. dos Anjos, “Plataforma de simulação para análise de desempenho do sensoriamento espectral baseado em autovalores para rádios cognitivos,” Master’s thesis, Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL, 2012.
- [2] T. Yucek and H. Arslan, “A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications,” *IEEE communications surveys & tutorials*, vol. 11, no. 1, pp. 116–130, 2009.
- [3] I. F. Akyildiz, B. F. Lo, and R. Balakrishnan, “Cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks: A survey,” *Physical communication*, vol. 4, no. 1, pp. 40–62, 2011.
- [4] D. Sant’Anna Chaves, “Análise do sensoriamento espectral por detecção de energia,” Master’s thesis, Universidade de Brasília, 2012.
- [5] D. Guimaraes and R. De Souza, *Transmissão Digital - Princípios e Aplicações*, 2nd ed. Erica, 2014.
- [6] G. de Souza L. Moreira, “Desempenho do método cpsc em redes de rádios cognitivos sob canais rápidos e seletivos,” Master’s thesis, Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL, 2016.
- [7] A. Ali and W. Hamouda, “Advances on spectrum sensing for cognitive radio networks: Theory and applications,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 19, no. 2, pp. 1277–1304, 2016.
- [8] R. K. Sandikar, V. M. Wadhai, and J. B. Helonde, “Efficient spectrum sensing in cognitive radio using energy detection method with new threshold formulation,” in *Emerging Research Areas and 2013 International Conference on Microelectronics, Communications and Renewable Energy (AICERA/ICMiCR)*, 2013 Annual International Conference on. IEEE, 2013, pp. 1–5.
- [9] F. F. e. a. Digham, “On the energy detection of unknown signals over fading channels,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 55, no. 1, Jan. 2007.
- [10] A. H. Nuttall, *Some integrals involving the Q-function*. Naval Underwater Syst. Center (NUSC) Tech. Rep., May 1974.

# Sistema Inteligente Aplicado a Robôs para Otimização de Processos Industriais

Alexandre Baratella Lugli  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
baratella@inatel.br

Egidio Raimundo Neto  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
egidio.neto@inatel.br

Gabriel Augusto Abreu Melo  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
gabrielaugusto@gea.inatel.br

Leonardo Eufrazio Nogueira  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
leonardoeufrazio@gec.inatel.br

Lucas Reis Veiga Dias  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
lucas.reis@gec.inatel.br

Thalis Andrade Oliveira de Souza  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
thalisandrade@gec.inatel.br

Wanderson Eleutério Saldanha  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
wsaldanha@inatel.br

**Abstract** - *This paper presents a study on intelligent systems applied to robots developed from a platform virtual soccer, in category 2D. It presents the development of the robot team of the National Telecommunications Institute, INATEL, RobotBulls, as well as the methodologies used and results obtained during the development of the work and the computational techniques used for this purpose.*

**Index Terms** - *Intelligent Systems, Artificial Intelligence, Industrial Process, Robotic, 2D Simulation.*

**Resumo** – Este artigo apresenta um estudo sobre sistemas inteligentes aplicado a robôs desenvolvido a partir de uma plataforma de futebol virtual, na categoria 2D. Apresenta o desenvolvimento do time de futebol da equipe de robótica do Instituto Nacional de Telecomunicações, INATEL, *RobotBulls*, assim como as metodologias utilizadas e resultados obtidos durante o desenvolvimento do trabalho e as técnicas computacionais utilizadas para tal fim.

**Palavras Chave**— *Sistemas Inteligentes, Inteligência Artificial, Processos Industriais, Robótica, Simulação 2D.*

## I. INTRODUÇÃO

Nesse estudo, o desenvolvimento de um sistema inteligente voltado para a otimização de processos industriais, em função da dificuldade de se desenvolver pesquisas em sistemas industriais reais, utilizou como plataforma para desenvolvimento uma categoria de competições acadêmicas de robótica. A categoria escolhida é a de futebol simulado de robôs em 2 dimensões. Essa categoria favoreceu a pesquisa, que pode ser focada no desenvolvimento de programas, sem a preocupação do desenvolvimento de hardware compatível com a solução apresentada.

Os computadores, já a algum tempo, têm sido utilizados como recursos capazes de desenvolver atividades complexas, que ultrapassam as capacidades humanas. Porém, o computador em momento algum pretende tomar o lugar do ser-humano. Muito pelo contrário, sua função tem sido cada vez mais de assessorar o homem em atividades desgastantes, estressantes ou que tragam algum risco à sua integridade física ou mental [1].

Os sistemas inteligentes, por sua vez, unem a capacidade de processamento dos computadores e/ou controladores aos sistemas robóticos e processos industriais, a fim de otimizá-los através de seu ganho em eficiência e assertividade em suas atividades.

Esse estudo foi desenvolvido dentro do Laboratório de Robótica e Inteligência Artificial do Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL. O grupo de pesquisadores que desenvolvem seus estudos nesse ambiente constitui a equipe de robótica do INATEL, a *RobotBulls*. A plataforma escolhida para o desenvolvimento desse artigo corresponde a uma das categorias nas quais a equipe *RobotBulls* compete em eventos nacionais e internacionais.

O desenvolvimento aqui apresentado resultará na estruturação de um time de futebol de robôs simulado em 2 dimensões, sendo toda a disputa realizada de modo virtual. Para testes e validação do conhecimento desenvolvido, o trabalho desenvolvido foi submetido a competições oficiais com outras instituições de ensino, sendo o resultado final utilizado para avaliação final. Vale destacar que nessa categoria, toda a movimentação dos jogadores e tomada de decisão do time acontecem de forma autônoma durante uma partida.

As informações serão apresentadas a seguir apresentando o ambiente utilizado para a simulação com seus detalhes, as técnicas de programação, as definições do time trabalhado, testes e resultados e, finalmente, a conclusão.

## II. AMBIENTE PARA A SIMULAÇÃO

### A. Sistema Operacional

A simulação das partidas dos times de futebol de robôs 2D utilizou um ambiente desenvolvido no mesmo padrão da LARC (*Latin American Robotics Competition*), tendo sido desenvolvido em linguagem C/C++, permitindo que os usuários possam utilizá-lo em diversas plataformas, bastando apenas compilá-lo corretamente.

Utilizou-se o sistema operacional Linux, com a distribuição Ubuntu 12.04 LTS, 64 bits, a fim de garantir a compatibilidade entre sistema e bibliotecas do simulador, além de sua baixa complexidade de instalação e configuração [3].

Após o download, o sistema poderá ser gravado em uma mídia (CD/pendrive), e através do programa *YUMI*, torná-lo iniciável a partir do próprio dispositivo de armazenamento [4].

### B. Dependências

Após a instalação do sistema operacional, devem ser configuradas algumas dependências entre programas e bibliotecas. Isso deve acontecer antes mesmo de qualquer instalação. Uma lista automática das relações de dependência pode ser encontrada na internet. Essa lista de dependências foi criada com o objetivo de simplificar a instalação e a utilização do simulador. Através da utilização dos comandos apresentados na Tabela 1 em um terminal de console pode-se obter o arquivo de configuração com comentários.

TABELA I  
TABELA DE COMANDOS

Comandos do terminal
wget http://www.akitem.net/robotic IA/rcss-install.sh
\$ chmod +x rcss-install.sh
\$ sh rcss-install.sh

O ambiente de simulação e suas dependências, são instalados automaticamente. Na relação de dependências é possível encontrar as bibliotecas necessárias para o funcionamento e exibição do ambiente de simulação RCSS (*RoboCup Soccer Simulator*) e os pré-requisitos para compilação e execução do programa desenvolvido em linguagem C/C++ [5].

### C. Linguagem de Programação

No início dos anos 80, dentro do *Bell Laboratories*, Bjarne Stroustrup desenvolveu a linguagem C/C++, uma evolução da linguagem C, já existente. Essa evolução trouxe várias melhorias em relação a linguagem C, sendo mais importante o fato de favorecer a utilização dos recursos disponíveis através da programação orientada a objetos, permitindo programação modular e reuso do código fonte [6].

### D. Programação Orientada a Objetos (POO)

Vários pontos merecem destaque quando se fala de programação orientada a objetos (POO). A POO ganhou espaço por

não necessitar se preocupar com desempenho de aplicativos, uma vez que a capacidade de processamento dos computadores atuais compensa esse ponto. O que mais chama a atenção é a possibilidade da reutilização de código e a proximidade da representação do sistema, virtual, ao seu equivalente real [7].

### E. Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE)

O IDE (*Integrated Development Environment*) nada mais é que um programa de computador, aplicado com o objetivo de se obter ganho de produtividade no desenvolvimento de softwares e melhorar a qualidade do produto final.

Um dos mais utilizados IDEs do mundo é o *NetBeans*, um programa em código aberto (*open source*), gratuito, disponibilizado pela *SunMicrosystem* [8].

### F. Pacote Simulação do RoboCup Soccer Simulator - RCSS

A versão oficial atualizada do pacote de simulação RCSS disponível durante o desenvolvimento desse estudo foi a *rcssserver* - 15.2.2, para o servidor, e *rcssmonitor* - 15.1.1, para o monitor. Ambos foram atualizados em 21 de abril de 2014. Essa versão é utilizada nas competições oficiais da LARC desde então.

O RCSS é uma ferramenta criada para pesquisa e desenvolvimento de conhecimento de sistemas multi-agentes e inteligência artificial. Seu funcionamento simula partidas de futebol entre times constituídos de 11 jogadores, similar a um time de futebol de campo composto por seres-humanos, onde os jogadores (robôs) devem ser totalmente autônomos, assim como o time, na função de técnico. Durante as partidas não há qualquer interação humana, sendo inclusive a arbitragem feita por uma inteligência artificial embarcada no próprio simulador. A participação dos pesquisadores durante a partida somente pode ser permitida pelo responsável pelo servidor em caso incontestável de dúvida [9].

### G. Biblioteca librcsc

Uma biblioteca padrão oferece uma relação de comportamentos e configurações que poder ser utilizadas diretamente ou servir de referência durante a programação dos times. Portanto, os times desenvolvidos para essa categoria, na sua maioria, são criados a partir do time base *Agent2D* e dependem diretamente da biblioteca *librcsc*, que tem sua versão oficial com a última atualização em *librcsc* - 4.1.0 [10].

### H. Agent2D

Com o intuito de simplificar o início das pesquisas relacionadas aos sistemas inteligentes aplicados ao futebol de robôs simulado em 2D, Hidehisa Akiyama e Hiroki Shimora criaram e disponibilizaram uma estrutura básica de um time com capacidade de competição. Além desse time básico, também é disponibilizado gratuitamente uma série de ferramentas através de GNU (*general public license*).

A versão oficial desse time básico, em sua última atualização, é a versão *agente2d-3.1.1*, sendo utilizado por grande parte dos

pesquisadores eu utilizam essa plataforma para pesquisas, em função de sua modularidade, com possibilidades de alterações e atualizações.

### III. TÉCNICAS DE PROGRAMAÇÃO

O ambiente de programação deve ser configurado em apenas um arquivo de configuração de lotes. Porém, a programação individual de um time carece atenção e cuidados, visto que a utilização de técnicas convencionais de programação, estruturada ou orientada, se mostra incapaz de atender todas as necessidades que garantem a funcionalidade e o bom desempenho [12].

Uma das mais alternativas mais pesquisadas para solucionar esse impasse é a utilização de técnicas avançadas de programação, havendo destaque para a lógica difusa (*Fuzzy logic*) e o aprendizado de máquina, que podem ser combinados na estruturação de redes neurais artificiais. As redes neurais permitem a mudança de comportamento do time em tempo real ou, com o acúmulo de informações, em um momento futuro [12].

#### A. Lógica Difusa (*Fuzzy logic*)

As lógicas discretas, binárias ou booleanas, estão limitadas a apenas duas possibilidades, o verdadeiro (1) e o falso (0). Essa limitação compromete toda a tomada de decisão e o tempo em que isso acontece.

Em 1965, porém, Latfi Zadeh propôs uma teoria onde há infinitas possibilidades entre o 0 e o 1, a lógica difusa. Essa estrutura se aproxima muito mais de um ambiente real, não simulado, onde não existem apenas os valores limítrofes dentro de uma variação qualquer. Com isso, tornou-se possível identificar o grau de aproximação do valor exato antecipando toda e qualquer medida necessária [13].

#### B. Aprendizado de Máquina (*AM*)

O sistema baseado em aprendizado de máquina (*AM*) é capaz de tomar decisões de forma autônoma baseando-se em uma base de dados, memória, adquirida por resultados de experiências que tiveram resultados positivos. Desta forma, aumenta-se a possibilidade de sucesso e assertividade, realimentando continuamente a base de dados com novas experiências [14].

Essa técnica aplicada aos sistemas inteligentes voltados ao futebol de robôs simulado em 2D, pode ser alcançado por esforço, onde o time é submetido a várias simulações com adversários de diferentes perfis, alimentando sua base de dados de modo a favorecer a tomada de decisões para resultados positivos. A alimentação da base de dados acontece em tempo real no decorrer das partidas, sendo os resultados armazenados em arquivo de texto ou arquivos binários [14].

A partir dos arquivos, um sistema de ponderação leva em consideração os melhores resultados para dar prioridade durante a tomada de decisões.

### C. Redes Neurais

Uma rede neural pode ser visualizada a partir de um sistema de processamento que recebe informações por diversos caminhos, estruturando-se assim uma rede que concentra as informações para obter-se uma saída bem definida [15].

As redes neurais favorecem a tomada de decisões sobre a ação dos jogadores a partir de diversas e diferentes hipóteses testadas previamente. A partir das modificações inseridas no mecanismo de aprendizado, para a tomada de decisões pode-se incluir no modelo utilizado diferentes ponderações, além de fatores como assimetria de informação, informação incompleta e limitações à capacidade de aprendizado, permitindo avaliar o modo e a intensidade que cada um desses fatores influencia o resultado. Além disso, pode-se realizar comparações diretas dos resultados obtidos com os esperados [15].

### IV. MODIFICAÇÃO DO TIME

Ao concluir a instalação e realizar a configuração do simulador RCSS, pode-se identificar na pasta pessoal do usuário a criação de um diretório com o nome *teams*, onde se encontra o time base e uma cópia do time trabalhado, aqui denominado *RobotBulls*, apto a receber as modificações necessárias.

A partir desse ponto, abre-se a IDE Netbeans e cria-se um novo projeto com os códigos existentes, em linguagem C/C++. Na janela seguinte, deve-se acessar o diretório *RobotBulls* para finalização, ficando os códigos-fontes salvos no diretório *src*. O arquivo desse estudo, com suas modificações pode ser visualizado em [16].

As alterações realizadas no time que foi produzido a partir desse estudo, focaram na correção de falhas e melhoria de desempenho com base nos resultados obtidos. Para decidir sobre as alterações, utilizou-se como referência trabalhos e pesquisas publicadas por outras equipes, onde destacam suas dificuldades e soluções encontradas. Um exemplo disso é o material publicado pelo time Helios, com informações detalhadas dos testes e inúmeras partidas realizadas pelos autores [17].

Do mesmo modo, pode-se utilizar técnicas avançadas baseadas na lógica difusa, a fim de antever movimentos de jogadores durante a partida. Essa parte ainda merece pesquisas e aprimoramento.

#### A. Arquivos Principais (*main\_player/main\_coach*)

Os arquivos principais definirão o comportamento dos jogadores e do time (técnico), sendo a alteração de comportamento frente a essas modificações algo opcional.

Os arquivos recebem os nomes *main\_player* e *main\_coach* para jogadores e técnico, respectivamente.

#### B. Roteiro de Inicialização

Neste arquivo se encontram as informações para carregamento do time, sendo possível alterar o nome do time e os parâmetros de inicialização.

A Figura 1 ilustra o arquivo com a alteração do nome do time para *RobotBulls*, presente na linha 26.

```

23
24 player="${DIR}/sample_player"
25 coach="${DIR}/sample_coach"
26 teamname="RobotBulls"
27 host="localhost"
28 port=6000
29 coach_port=""
30 debug_server_host=""
31 debug_server_port=""
32
33 player_conf="${DIR}/player.conf"
34 config_dir="${DIR}/formations-dt"
35
36 coach_conf="${DIR}/coach.conf"
37 team_graphic="--use_team_graphic off"
38

```

Fig. 1. Renomeação do time.

### C. Configuração de Defesa

As informações referentes a formação dos zagueiros, defesa, devem ser alteradas (*defense-formation.conf*) pois no time base foram identificadas falhas por diversos times. Este arquivo pode ser localizado no diretório *formations-dt*.

### D. Movimentação Básica

A rotina de movimentação e posicionamento dos jogadores fica registrada em um arquivo próprio, podendo ser modificado para melhorar o desempenho dos jogadores e do time. Na Figura 2, nas linhas 66 e 81, são apresentadas alterações que favorecem a interceptação da bola quando em condição de defesa.

```

64
65 //kick
66 if ( Bhv_BasicKick( 0.0, 70.0 ).execute( agent ) )
67 {
68     return true;
69 }
70
71 const WorldModel & wm = agent->world();
72 // choose ball
73 const int self_min = wm.interceptable()->selfReachCycle();
74 const int mate_min = wm.interceptable()->teammateReachCycle();
75 const int opp_min = wm.interceptable()->opponentReachCycle();
76
77 if ( ! wm.existsKickableTeammate() )
78 {
79     if ( self_min <= 3
80         || ( self_min <= mate_min
81             && self_min < opp_min + 5 ) )
82     {
83
84     }
85
86     diag.addText( Logger::TEAM,
87                 FILE "I Intercept" );
88     Body Intercept().execute( agent );
89     agent->setNeckAction( new Neck_OffensiveInterceptNeck() );
90
91     return true;
92 }

```

Fig. 2. Interceptação Modificada

### E. Interceptação Básica

Para configurar a capacidade de interceptação básica dos jogadores, consequentemente do time, utiliza-se, também, um arquivo específico. Por exemplo, uma modificação inserida pode ser observada pela inclusão de uma função da biblioteca padrão *Body Intercept()* após a linha 122 da Figura 3.

```

113 if ( wm.existsKickableOpponent() )
114 {
115     ball_will_be_in_our_goal
116     || opp_min < self_min - 3
117     || self_min <= 5
118     || ( wm.ball().pos().dist2( SP.theirTeamGoalPos() ) < std::pow( 10.0, 3 )
119         && ( ! SP.theirTeamGoalPos() - wm.ball().pos() ).chi() - wm.ball().body() ) )
120 }
121
122 // choose ball
123 const int self_min = wm.interceptable()->selfReachCycle();
124 const int mate_min = wm.interceptable()->teammateReachCycle();
125 const int opp_min = wm.interceptable()->opponentReachCycle();
126
127 if ( ! wm.existsKickableTeammate() )
128 {
129     if ( self_min <= 3
130         || ( self_min <= mate_min
131             && self_min < opp_min + 5 ) )
132     {
133
134     }
135
136     diag.addText( Logger::TEAM,
137                 FILE "I Intercept" );
138     Body Intercept().execute( agent );
139     agent->setNeckAction( new Neck_OffensiveInterceptNeck() );
140
141     return true;
142 }

```

Fig. 3. Interceptação modificada

### F. Atacante

Do mesmo modo que os casos anteriormente citados, para a definição dos parâmetros que configuram a ação do atacante do time existe um arquivo específico (*role-center-forward.cpp*).

Aqui, destaca-se a alteração dos métodos *doKick()* e *doMove()*, que favorecem a estratégia de posicionamento do jogador em função da posição da bola no campo. A Tabela 2 apresenta quatro novos comportamentos inseridos para o atacante.

TABELA II  
ARQUIVOS DE ATACANTE

bhv attacker offensive move.cpp
bhv cross.cpp
bhv pass test.cpp
Bhv self test.cpp

### G. Centroavante

Também para o centroavante é possível realizar a configuração dos parâmetros em arquivo específico (*role side forward.cpp*).

Para esse caso, além dos quatro comportamentos inseridos para o atacante, foram inseridos mais dois, que estão apresentados na Tabela 3.

TABELA III  
ARQUIVOS DE CENTROAVANTE

body kick to corner.cpp
body kick to frontspace.cpp

### H. Estratégia do Time

Este arquivo (*strategy.cpp*) abriga as principais configurações do time, pois a partir dessas configurações são definidos os papéis em campo, a formação e todas as estratégias de jogo.

Neste arquivo são inseridas as alterações de formação, podendo ser ofensiva ou defensiva. A Tabela 4 apresenta um exemplo.



TABELA IV  
ARQUIVOS DE ESTRATÉGIA

Nome	Tática
offense-formation1.conf	433
offense-formation2.conf	433
offense-formation3.conf	4321
offense-formation4.conf	4321
offense-formation5.conf	442
offense-formation6.conf	433
offense-formation7.conf	433
defense-formation1.conf	532
defense-formation2.conf	433

A estratégia pode ser, por exemplo, definida a partir de diversas simulações onde o time trabalhado, na pior hipótese, terminará a partida empatado.

### I. Arquivo de Compilação

Para compilar o time criado de forma correta, o compilador necessita conhecer os arquivos desse time, sendo isso realizado através do arquivo *MakeFile.am*, localizado na pasta *src*.

Neste mesmo arquivo é possível, se necessário, alterar os nomes atribuídos aos arquivos binários correspondentes ao técnico (estratégia) e ao time (jogadores). A Figura 4 ilustra a alteração dos nomes dos arquivos binários de técnico e jogadores.

```

182
183 robotbulls_player_SOURCES = \
184     $(CHAINACTIONSOURCES) \
185     $(PLAYERSOURCES)
186 robotbulls_player_CXXFLAGS = -W -Wall
187 robotbulls_player_LDFLAGS =
188 robotbulls_player_LDADD =
189
190 robotbulls_coach_SOURCES = \
191     $(COACHSOURCES)
192 robotbulls_coach_CXXFLAGS = -W -Wall
193 robotbulls_coach_LDFLAGS =
194 robotbulls_coach_LDADD =
195
196 noinst_HEADERS = \
197     $(PLAYERHEADERS) \
198     $(COACHHEADERS)
199

```

Fig. 4. Renomeação dos binários

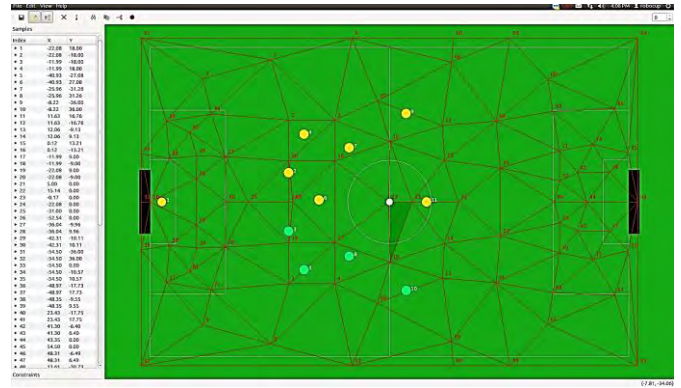
### J. Posicionamento dos Jogadores

A fim de permitir a visualização de cada jogador na sua posição a partir da formação definida, utiliza-se uma ferramenta própria para esse fim, o *Formation Editor*.

Através dessa ferramenta, pode-se controlar os movimentos de cada jogador inserido no campo. Essa ferramenta pode ser inicializada a partir do comando *fedit2* aplicado ao terminal.

A Figura 5 apresenta o *Formation Editor*, onde a região mais escura mostra a posição da bola e, a partir dela, pode-se observar a posição de cada jogador.

Através desse programa é possível analisar a movimentação dos jogadores em diversas situações, otimizando assim toda a movimentação do time, evitando desgastes e reduzindo o tempo de ação.

Fig. 5. Funcionamento do *Formation Editor*

## V. TESTES E RESULTADOS

Para avaliar o resultado desse estudo, os pesquisadores juntamente com a equipe de robótica do INATEL, a *Robotbulls*, participaram de duas grandes competições com outras instituições de ensino, a *IRONCup (Inatel Robotics National Cup)*, promovida pelo INATEL, e a *LARC (Latin American Robotics Competition)*, promovida juntamente com a CBR (Competição Brasileira de Robótica).

Na LARC 2017, o evento contou com a participação de 5 equipes de instituições de todo o país. A *Robotbulls*, utilizando um time fruto desse trabalho, foi consagrada vice-campeã latino americana na categoria *Robocup Soccer Simulation League 2D* conquistando o segundo lugar da competição.

Na *IRONCup 2018*, o evento contou com a participação de 4 equipes de instituições de todo o país. A *RobotBulls*, também utilizando um time fruto desse trabalho, foi consagrada campeã na categoria *Soccer 2D Simulation Cup*, equivalente à *Robocup Soccer Simulation League 2D*, conquistando o primeiro lugar da competição.

## VI. CONCLUSÃO

As pesquisas relacionadas com sistemas inteligentes aplicados às competições acadêmicas de robótica pela equipe *Robotbulls*, especificamente as ligadas ao futebol de robôs simulado em 2D, foram iniciadas em 2013.

A primeira participação oficial se deu em 2014, na LARC, onde a equipe terminou a competição em oitavo lugar [18].

No ano de 2015, participando pela segunda vez da LARC, a equipe conquistou o vice-campeonato [19].

Na edição de 2016 da LARC, a equipe obteve o terceiro lugar da competição.

Em 2017, utilizando o time fruto desse trabalho, a equipe fechou os dois primeiros dias de competição em primeiro lugar, terminando novamente com o vice-campeonato [20].

Já na finalização dos testes, participando da *IRONCup 2018*, a equipe conquistou o título de campeã, mostrando através dos resultados expressivos quando submetido a testes reais com equipes que desenvolvem suas pesquisas a bem mais tempo, que a solução desenvolvida nesse trabalho alcançou seu objetivo.

Para 2018, as pesquisas continuam focados em obter melhorias significativas, tendo garantida a participação na edição 2018 da LARC.

## VII. REFERÊNCIAS

- [1] O'HARE G. M. P., JENNINGS Nick. Foundations of Distributed Artificial Intelligence. New York:Jon Wiley & Sons, 1996.
- [2] WIKIPEDIA, RoboCup 2D Soccer Simulation League. Site de internet disponível em: Acesso em: 21/01/2016.
- [3] UBUNTU, Ubuntu 12.04.5 LTS (Precise Pangolin). Site de internet disponível em: Acesso em: 11/01/2016. Disponível no site:
- [4] USB CREATOR, YUMI? Multiboot USB Creator. Site de internet disponível em: <http://www.pendrivelinux.com/yumi-multiboot-usb-creator/> Acesso em: 11/01/2016.
- [5] DONERLAS, H. M. RCSS configuração automática. Arquivo de configuração em lotes. Disponível em: <http://www.akitem.net/robotic/IA/rcss-install.sh> Acesso em: 16/02/2016.
- [6] Deitel, H. M., Deitel, P. J. C++: como programar trad. Carlos Arthur Lang Lisboa e Maria Lúcia Lang Lisboa. - 3.ed. – Porto Alegre: Bookman, 2001.
- [7] GASPAROTTO, H. M. Os 4 pilares da Programação Orientada a Objetos. Site de internet disponível em: <http://www.devmedia.com.br/os-4-pilares-da-programacao-orientada-a-objetos/9264> Acesso em: 11/01/2016.
- [8] SUN MICROSYSTEM. Netbeans IDE. Ambiente de desenvolvimento. Disponível em: <https://netbeans.org/downloads/> Acesso em: 16/02/1983.
- [9] ROBOCUP, RoboCup Soccer Simulator. Site de internet disponível em: <http://sourceforge.net/projects/sserver/files/rcss-server/> Acesso em: 11/01/2016.
- [10] AKYAMA, Hidehisa. RCSS Library. Site de internet disponível em: <http://en.osdn.jp/projects/rctools/downloads/51941/librcsc-4.1.0.tar.gz> Acesso em: 10/02/2016.
- [11] AKYAMA, Hidehisa. SHIMORA, Hiroki. Base Team Agent. Site de internet disponível em: <http://en.osdn.jp/projects/rctools/downloads/55186/agent2d-3.1.1.tar.gz/Brazil2D> Acesso em 10/02/2016.
- [12] GIMENES, André B. Aplicação De Redes Neurais E Lógica Fuzzy Na Simulação Do Jogo De Barchina Com Ultimato. Monografia UNICAMP. Campinas, 2009.
- [13] COX, E. The fuzzy systems handbook: a practitioner's guide to building, using, and maintaining fuzzy systems. New York: AP Professional, 1994.
- [14] ARAÚJO, L.J.S. Modelagem computacional de jogos complexos usando Redes Neurais e Lógica Fuzzy. Tese de doutorado, Escola Politécnica, USP, São Paulo, 2002.
- [15] REZENDE, Solange O. Sistemas Inteligentes: Fundamentos e Aplicações. Barueri: Manole, 2005.
- [16] ROBOTBULLS. Time modificado com base no Agent2D. Arquivo de configuração alterados. Disponíveis em: [http://www.akitem.net/robotic\\_IA/robotbulls/](http://www.akitem.net/robotic_IA/robotbulls/). Acesso em: 16/02/2016.
- [17] SILVA, P. H. G. Ajustes No Time Ufla2d No Domínio De Futebol De Robôs. Monografia, UFLA. Lavras, 2012. Disponível em: [http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/4993/1/MONOGRAFIA\\_Ajustes\\_no\\_time\\_UFLA2D\\_no dominio\\_de\\_futebol\\_de\\_robos.pdf](http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/4993/1/MONOGRAFIA_Ajustes_no_time_UFLA2D_no dominio_de_futebol_de_robos.pdf) Acesso em: 16/02/2016.
- [18] ROBOCUP LARC/CBR, Soccer Simulation League 2D 2014. Site de internet disponível em: <http://www.dainf.ct.utfpr.edu.br/~fabro/larc2014/> Acesso em: 16/02/2016.
- [19] ROBOCUP LAR/CBR, Soccer Simulation League 2D 2015. Site de internet disponível em: <http://www.akitem.net/larc2015/> Acesso em: 16/02/2016.
- [20] ROBOCUP LAR/CBR, Soccer Simulation League 2D 2017. Site de internet disponível em: [http://www.cbrobotica.org/?page\\_id=108&lang=pt](http://www.cbrobotica.org/?page_id=108&lang=pt) Acesso em: 30/01/2018.

# Sistemas Robóticos para Otimização dos Processos Industriais

Alexandre Baratella Lugli  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
baratella@inatel.br

Lucas de Oliveira Saldanha  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
lucassaldanha@gea.inatel.br

Mylene Stefania Silveira Rocha  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
mylenastefania@gea.inatel.br

Nixon Teixeira  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
nixonteixeira@gea.inatel.br

Egidio Raimundo Neto  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
egidio.neto@inatel.br

Luiz Felipe Pereira Duarte  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
luiz.duarte@gea.inatel.br

Nicole Escobar Alves  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
nicoleescobar@gec.inatel.br

Wanderson Eleutério Saldanha  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
wsaldanha@inatel.br

**Abstract - This paper presents a study on robotic systems, aimed at optimizing industrial processes, based on competition robots. The category chosen for this study is the Follow Line, which is part of the research carried out by the robotics team of the National Institute of Telecommunications, INATEL, RobotBulls. In this category the robotic system developed must be totally autonomous, without any type of remote communication. The objective of this study is to present the bases of the development of the robotic system, its tests, and results when compared to other robots in competitions.**

**Keywords - Control, Robotics, Follow Line.**

**Resumo – Este artigo apresenta um estudo sobre sistemas robóticos, visando otimização de processos industriais, baseado em robôs de competição. A categoria escolhida para esse estudo é a Seguidor de Linha (Follow Line), que faz parte das pesquisas realizadas pela equipe de robótica do Instituto Nacional de Telecomunicações, INATEL, RobotBulls. Nessa categoria o sistema robótico desenvolvido deve ser totalmente autônomo, sem nenhum tipo de comunicação remota. O objetivo desse estudo é apresentar as bases do desenvolvimento do sistema robótico, seus testes e resultados quando comparados a outros robôs em competições.**

**Palavras chave - Controle, Robótica, Seguidor de linha.**

## I. INTRODUÇÃO

No começo de 2013 alguns alunos do curso de Engenharia de Controle e Automação, do INATEL (Instituto Nacional de Telecomunicações), trouxeram como proposta a formação de uma equipe de robótica, com o objetivo de promover o estudo

e pesquisa de sistemas robóticos para o aprimoramento do conhecimento, auxílio no desenvolvimento de soluções inovadoras e de novas tecnologias aplicáveis aos processos industriais. [1]

A equipe de robótica foi formada e batizada de *RobotBulls*, cujo logotipo de identificação é ilustrado pela figura 1. A princípio o trabalho foi direcionado para categorias de futebol de robôs, com o intuito de participar da modalidade de simulação 2D na *RoboCup* Brasil, uma competição latino-americana de robótica. [2]

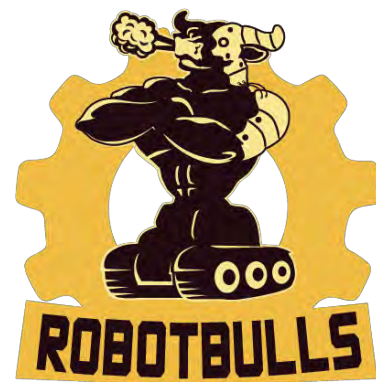


Fig. 1. Logotipo Robotbulls.

Já em 2014, foi realizada uma expansão da equipe, com isso foi possível a participação em outro evento latino-americano, a *Winter Challenge*, em sua 10ª Edição, realizado pela *RoboCore* [3]. Assim, foi iniciado outro segmento de pesquisas dentro da *RobotBulls*, voltado para a categoria *Follow Line* (Seguidor de Linha), que foi escolhida para as pesquisas relacionadas a esse trabalho [4].

Assim como em processos industriais, os sistemas robóticos em competições precisam ser otimizados para terem o melhor desempenho, buscando sempre soluções simples e de baixo custo. Nesta categoria é necessária a construção de um sistema robótico, (veículo ou robô) totalmente autônomo e com todos os seus componentes embarcados, que através de um comando de *start* (início) deve ser capaz de realizar percursos retos ou curvos para concluir a tarefa imposta a ele. Para isto, o robô é constituído de uma parte mecânica, motores, sensores e uma plataforma micro controlada.

O ano de 2015 foi repleto de realizações, seguindo a ideia do ano anterior, a *RobotBulls* avançou com suas pesquisas e participou de dois eventos da *RoboCore*, o *Winter Challenge* 11ª Edição e o *Summer Challenge* 3ª Edição, e, também, do primeiro campeonato realizado dentro do INATEL, durante a 3ª IWCA (*Inatel Week of Control and Automation*).

Em 2016, a equipe participou novamente do evento *Winter Challenge* 12ª Edição, porém, neste ano não houve outra edição do evento *Summer Challenge*. A equipe também participou do campeonato realizado durante a 4ª IWCA, onde um dos robôs desenvolvidos, *Inabull Pololu*, se consagrou campeão diante de robôs da UFRJ, UFLA e UFPR.

Em 2017, a equipe participou do evento *Winter Challenger* 13ª Edição e da primeira edição da *Iron Cup* realizada no INATEL, durante a 5ª IWCA, em ambas a equipe obteve premiações. Nesses eventos, os sistemas robóticos utilizados foram frutos desse estudo.

## II. PLANEJAMENTO DO TRABALHO

### A. Especificações do Robô

O sistema robótico construído teve que seguir todas as especificações descritas nas regras do Seguidor de Linha do *Winter Challenge* [4]. Ele deve ser totalmente autônomo e com todos os seus componentes embarcados, assim qualquer controle externo por fio ou rádio, exceto para ser iniciado, não pode ser utilizado. O sistema robótico não pode receber nenhuma adição, remoção ou alteração de hardware ou software durante a competição, porém pequenos reparos, fora do momento da partida, são permitidos. Além disso, sua mecânica não se pode exceder 250mm de comprimento, 250mm de largura e 200mm de altura, e alterar-se suas dimensões. Não pode conter nenhum tipo de mecanismo de sucção para aumentar sua força normal em relação ao solo.

### B. Especificações da planta de testes (Percurso)

O sistema robótico desenvolvido deve ser capaz de superar todas as características do percurso em cada competição[4], que é composto por uma pista feita com placas de MDF revestidas com manta de borracha preta, na qual pode existir emendas, gerando desníveis de até 1mm e inclinações de até no máximo 5°.

O percurso é indicado por uma linha branca de 19mm de largura, com um comprimento máximo de 60m. Esta linha forma retas e arcos, podendo cruzar sobre ela mesma, como pode ser visto na figura 2.

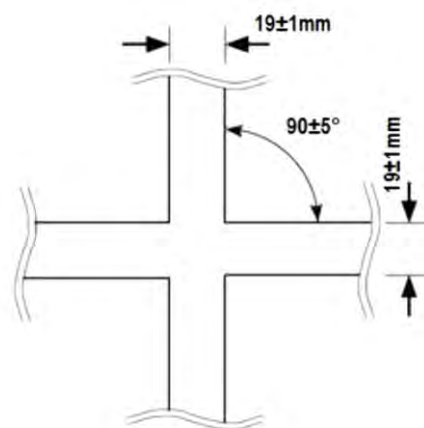


Fig. 2. Cruzamento. [4]

Algumas partes da pista, como chegada e partida e as curvas, possuem marcações específicas. As marcações de chegada e partida podem ser vistas na figura 3.

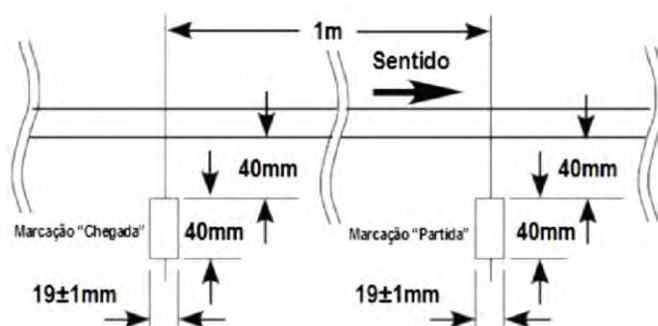


Fig. 3. Marcação de chegada e partida. [4]

As marcações de curva podem ser vistas na figura 4.

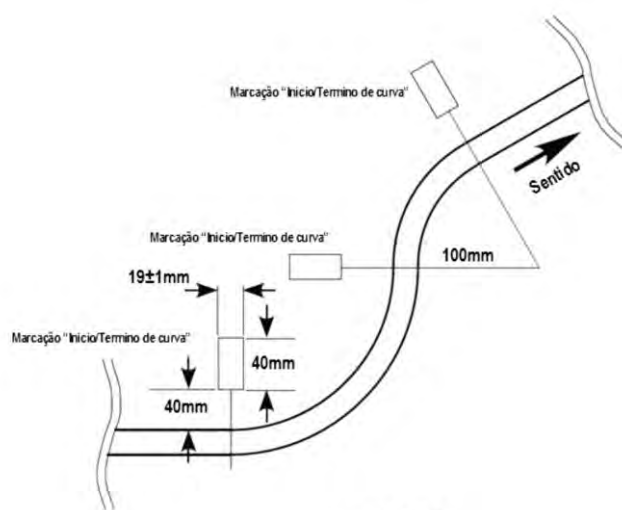


Figura 4

Fig. 4. Marcação de curva. [4]

### C. Idealização do Sistema Robótico (Veículo)

Desde 2013, o Evento Tecnológico de Introdução à Eletrônica e à Computação [5], tem como objetivo incentivar os alunos do ensino médio a escolha pela área tecnológica. O

formato do evento conta com uma competição entre equipes, na qual o propósito é controlar o deslocamento de um carrinho dentro de um percurso pré-estabelecido.

O carrinho utilizado nesse evento, nada mais é que um robô seguidor de linha com características que se pode suprir, desde que sejam feitas algumas alterações, às especificações do *Winter Challenge*. Portanto, esse carrinho foi utilizado como base para o sistema robótico que foi desenvolvido.

### III. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

#### A. Implementação do Sistema Robótico

O sistema robótico desenvolvido recebeu o nome de *Shogun*, foi desenvolvido baseado no projeto de um robô velocista, e posteriormente adaptado para a categoria *Follow-Line*, com o intuito de conseguir o menor tempo de percurso nas competições. Posteriormente foi modificado para uma nova versão, com mais funcionalidades, recebendo o nome de *SpeedBull*, que utiliza uma placa contendo seis sensores para realizar a diferenciação das cores preta e branca, um par de motores com rodas, um controlador *Teensy 3.2* e um *driver* de motor da *Pololu*. Todos os componentes estão acoplados em um chassi impresso por uma impressora 3D.

Para realizar a diferenciação entre as cores preta e branca, utiliza-se uma placa QTR-8A com oito sensores analógicos de refletância que trabalham com seus valores típicos de tensão e corrente de 3,3V e 100mA, respectivamente. Dos oito sensores do módulo, apenas seis estão habilitados nesse estudo. Além de dois sensores laterais que identificam as marcações da pista, utilizadas na demarcação do percurso na primeira volta e como referência nas próximas.

O controlador do *SpeedBull* é o embarcado *Teensy 3.2* que utiliza um microcontrolador *Cortex-M4*. Ele controla o driver que tem suporte para dois motores de até 2A.

A alimentação do *SpeedBull* é feita por uma bateria com capacidade de 300 mAh, que funciona com uma tensão de 7.4V. No circuito de alimentação há também um conversor DC/DC para diminuir a tensão da bateria para 6V, a qual alimenta os motores.

O motor utilizado é um micromotor com eixo estendido e com uma caixa de redução com 10:1 HP, proporcionando 3000 RPM à 6V. Nele está montado um codificador de posição, um sensor capaz de registrar o quanto o motor girou, em graus, fundamental para o reconhecimento da pista juntamente com os sensores laterais.

O *SpeedBull* possui uma placa onde foi soldado seus componentes, tais quais o *Teensy 3.2*, o driver de motor, o conversor DC/DC, botões de controle, além de capacitores, resistores e diodos necessários para o correto funcionamento do conjunto.

Ao ser acionado, pode-se escolher qual função o *SpeedBull* deve desempenhar. Ele pode seguir o trajeto da pista com controle PID (Proporcional-Integral-Derivativo), fazer o reconhecimento da pista ou seguir o trajeto da pista com a informação de reconhecimento previamente salva.

A Figura 5 mostra *SpeedBull* com seus diversos sensores.

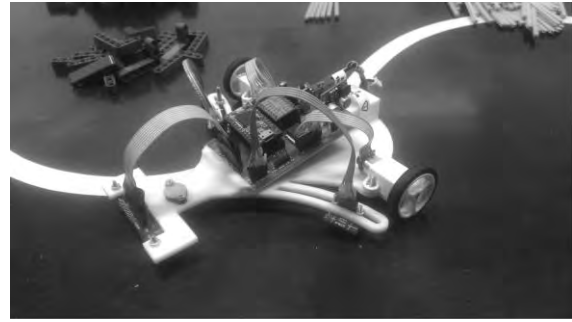


Fig. 5. Robô *SpeedBull*.

#### B. Controle do Sistema Robótico

Os sensores fazem a leitura da pista e mandam as informações para o *Teensy* e, através da lógica desenvolvida para o sistema robótico, envia as informações para os motores através dos *drivers*. A Figura 6 ilustra o diagrama de funcionamento do sistema.

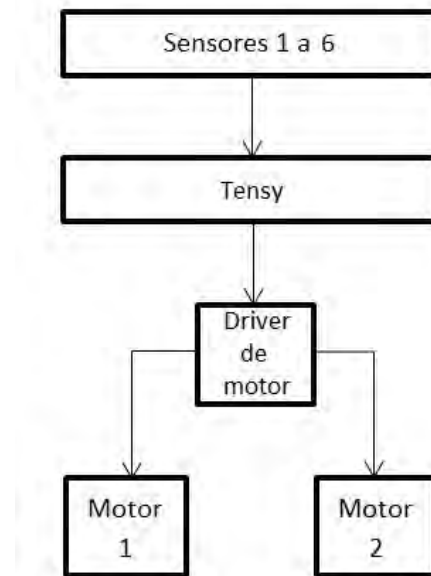


Fig. 6. Diagrama de funcionamento do comando.

A programação do *Teensy* foi feita através do Arduino IDE utilizando a linguagem C. Foi implementado o controle PID para o que o robô pudesse realizar as curvas, sendo aperfeiçoado através de testes e um sistema de reconhecimento do circuito utilizando o sensor de rotação para aperfeiçoar o PID.

Este controlador PID é responsável por alterar a diferença entre a velocidade dos motores, fazendo com que o robô seja capaz de fazer as curvas. Essa alteração é feita com base no erro encontrado em relação a posição correta, e a variação do erro em relação ao tempo, que são multiplicados por suas respectivas constantes que, por sua vez, alteram o comportamento do robô. As versões anteriores ao *SpeedBull* apresentavam este controle, porém apresentavam o mesmo comportamento para todos os percursos da pista, a grande evolução que o *SpeedBull* apresenta é o reconhecimento prévio da pista e a armazenagem do mesmo em sua memória,



proporcionando diferentes comportamentos para cada trecho da pista. Além disso, foram implementados também os sensores que identificam o início e fim da pista, não necessitando mais se programar um tempo para parada.

#### IV. TESTES EM COMPETIÇÃO

##### A. A Competição

Em 2017 ocorreu a 13ª edição do *Winter Challenge*, realizada no Instituto Mauá de Tecnologia, IMT, no mês de julho. O evento foi aberto ao público visitante e contou com equipes de universidades brasileiras e estrangeiras. Nessa competição, o trabalho desenvolvido ao longo desse estudo foi validado, sendo comparado ao desempenho dos sistemas robóticos de outras instituições e também com o próprio desempenho da equipe *RobotBulls* em outras competições.

Foi a quarta vez que uma equipe do Inatel participou de um *Winter Challenge*, tendo participado a primeira vez no ano de 2014. [3]

##### B. A Tomada de Tempo

Os robôs devem seguir o trajeto determinado pela linha branca e aquele que terminar o percurso em menor tempo vence, desde que não infrinja as seguintes regras [4]:

- O robô não pode sair completamente da linha branca.
- Cada robô tem três tentativas, consecutivas, de três minutos no máximo, por dia de competição.
- O robô deve parar automaticamente dentro da área de partida-chegada e permanecer parado pelo menos 10 segundos após completar uma volta.
- Após iniciada a partida, não é permitido tocar o robô sem a autorização do juiz.

##### C. Resultados

Na 10ª edição do *Winter Challenge*, na categoria Seguidor de Linha Pro, ao todo foram 47 robôs inscritos, dentre estes apenas 22 conseguiram registrar um tempo válido, ou seja, completar o percurso dentro das regras. A *RobotBulls*, esteve presente com um robô nesta edição, o *Inabull*, conquistando o 21º lugar na classificação geral. [6]

Na 11ª edição do *Winter Challenge*, ao todo foram 70 robôs inscritos, dentre estes apenas 30 conseguiram registrar um tempo válido. A *RobotBulls*, esteve presente com três robôs nesta edição. A melhor posição foi o 17º lugar na classificação geral com o robô *Pololu*, seguindo as colocações de 28º e 29º com os robôs *Shogun* e *Inabull*, respectivamente. [7]

Já na 12ª edição do *Winter Challenger*, ao todo foram 49 robôs inscritos, dentre estes apenas 26 conseguiram registrar um tempo válido. A *RobotBulls*, esteve presente com dois robôs nesta edição. A melhor posição foi o 10º lugar na classificação geral com o robô *Pololu*, e o 13º lugar na classificação geral com o *Shogun* [8].

Na 3ª edição da *Summer Challenge*, ao todo foram 26 robôs inscritos na categoria Seguidor de Linha Pro, sendo que apenas 17 conseguiram registrar um tempo válido. A *RobotBulls*, esteve presente com dois robôs nesta edição, conquistando a

posição de 5º lugar da classificação geral com o robô *Pololu* e 17º lugar com o *Inabull*. [10]

Na primeira edição da *IronCup* realizada no Inatel no ano de 2017, a equipe *RobotBulls* alcançou a 1ª e 4ª colocações, com os robôs *Pololu* e *Shogun* respectivamente. Nessa competição, foram aplicados conceitos trabalhados nesse estudo, que foram melhorados para a 13ª *Winter Challenge*.

Na 13ª edição da *Winter Challenge*, ao todo foram 68 robôs inscritos, dos quais 37 registraram um tempo válido. A equipe *RobotBulls*, esteve presente com três robôs, conquistando os 3º, 4º e 11º lugares com os robôs *Shogun*, *SpeedBull* e *Pololu* respectivamente. [9] Nessa competição as técnicas apresentadas nesse estudo foram aplicadas com êxito.

#### V. CONCLUSÃO

Observou-se, pelo desempenho dos sistemas robóticos na 13ª *Winter Challenge* em comparação às participações anteriores, que a proposta desse estudo, aplicada aos robôs, apresentou ótimo resultado com crescimento significativo de competitividade. A movimentação do robô, principalmente nas curvas, permitiu uma redução de tempo sem alterações mecânicas.

Os próximos desenvolvimentos nos robôs devem melhorar o algoritmo de localização durante o circuito, implementando novas técnicas para indicar ao robô onde ele se encontra na pista. Isso é feito atualmente para prever uma curva antes de chegar nela. O objetivo agora é aperfeiçoar isso com uso de acelerômetro para controlar a estabilidade do robô durante o trajeto para que ele possa estar sempre em velocidade máxima sem que ele saia da pista ao fazer uma curva.

#### REFERÊNCIAS

- [1] LUGLI, A. B., et al. **RobotBulls Robotics – team description**. LARC / CBR, 2014, 6p.
- [2] RoboCup Brasil. Disponível em: <<http://www.robocup.org.br/>>. Acesso em 23 de janeiro de 2017.
- [3] Winter Challenge 11ª edição. Disponível em: <[https://www.robocore.net/modules.php?name=GR\\_Eventos&evento=17](https://www.robocore.net/modules.php?name=GR_Eventos&evento=17)>. Acesso em 24 de janeiro de 2017.
- [4] Robocore, Regras Seguidor de Linha. Disponível em: <[https://www.robocore.net/upload/attachments/robocore\\_regras\\_seguidor\\_de\\_linha\\_165.pdf](https://www.robocore.net/upload/attachments/robocore_regras_seguidor_de_linha_165.pdf)>. Acesso em 23 de janeiro de 2017.
- [5] ALMEIDA, Nathália Silva. 2014. **Desenvolvimento e Implantação de Projeto de Evento Tecnológico de Introdução à Eletrônica e à Computação**. Santa Rita do Sapucaí – MG. Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel.
- [6] Robocore, Classificações. Disponível em: <[https://www.robocore.net/modules.php?name=GR\\_Eventos&evento=17&tab=2](https://www.robocore.net/modules.php?name=GR_Eventos&evento=17&tab=2)>. Acesso em 20 de janeiro de 2017.
- [7] Robocore, Classificações. Disponível em: <[https://www.robocore.net/modules.php?name=GR\\_Eventos&evento=17&tab=2](https://www.robocore.net/modules.php?name=GR_Eventos&evento=17&tab=2)>. Acesso em 21 de janeiro de 2017.
- [8] Robocore, Classificações. Disponível em: <<https://www.robocore.net/eventos/24/2>>. Acesso em 30 de janeiro de 2018.
- [9] Robocore, Classificações. Disponível em: <<https://www.robocore.net/eventos/wc13/2>>. Acesso em 30 de janeiro de 2018.
- [10] Summer Challenge 3ª edição. Disponível em: <[https://www.robocore.net/modules.php?name=GR\\_Eventos&evento=23&tab=0](https://www.robocore.net/modules.php?name=GR_Eventos&evento=23&tab=0)>. Acesso em 20 de janeiro de 2017.



# Sistemas Inteligentes Aplicados para Otimização dos Processos Industriais.

Alexandre Baratella Lugli  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
baratella@inatel.br

Drauzio Ramos Oppenheimer  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
drauzio.ramos@get.inatel.br

Lais de Souza  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
laisdesouza@inatel.br

Thales Eduardo Lima Castro  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
thalescastro@gea.inatel.br

Egidio Raimundo Neto  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
egidio.neto@inatel.br

Felipe Silva Bastos  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
felipesilva@get.inatel.br

Mario Eduardo Camargo de Lima  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
marioeduardo@gea.inatel.br

Wanderson Eleutério Saldanha  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
wsaldanha@inatel.br

**Abstract** - *This study aims to apply in practice concepts of intelligent systems applicable to the optimization of industrial processes. For the study, application, and validation of the proposal, a category of academic competitions of robotics was used as the base, in order to make the research feasible and to motivate the researchers. The category used was the IEEE Very Small Size Soccer and all the work was developed in the Laboratory of Robotics and Artificial Intelligence of the National Institute of Telecommunications, INATEL. The presented system integrates modules of vision, artificial intelligence, electronics, and mechanics, forming a multidisciplinary content. The objective is to develop and verify techniques that can be applied in industrial processes for optimization.*

**Keywords** - *Intelligent systems, robot soccer, industrial processes, artificial intelligence, Very Small Size Soccer.*

**Resumo** - Este estudo visa aplicar na prática conceitos de sistemas inteligentes aplicáveis para a otimização de processos industriais. Para estudo, aplicação e validação da proposta foi utilizado como base uma categoria de competições acadêmicas de robótica, a fim de viabilizar a pesquisa e motivar os pesquisadores. A categoria utilizada foi a IEEE Very Small Size Soccer e todo o trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Robótica e Inteligência Artificial do Instituto Nacional de Telecomunicações, INATEL. O sistema apresentado integra módulos de visão, inteligência artificial, eletrônica e mecânica, formando um conteúdo multidisciplinar. O objetivo é desenvolver e verificar técnicas que podem ser aplicadas em processos industriais para sua otimização.

**Palavras-chave** – Sistemas inteligentes, futebol de robôs, processos industriais, inteligência artificial, *Very Small Size Soccer*.

## I. INTRODUÇÃO

Com a evolução da automação e dos sistemas a ela associados, vê-se um destaque para sistemas inteligentes. Um sistema é considerado inteligente quando apresenta a capacidade de tomar decisões de modo autônomo, ou seja, sem a intervenção humana. Para esse estudo, em função da dificuldade de realizar testes em sistemas industriais reais, optou-se por desenvolver a pesquisa e cima da plataforma de sistemas robóticos para competições acadêmicas. Especificamente, o desenvolvimento desse trabalho foi feito em cima da categoria de futebol de robôs VSS (*Very Small Size Soccer*).

O futebol de robôs tem se mostrado cada vez mais como um cenário ideal para se avaliar pesquisas na área da robótica devido a sua complexidade. A categoria *IEEE Very Small Size Soccer* foi escolhida por ser a mais completa, necessitando um desenvolvimento tanto em hardware quanto em software.

O trabalho aqui apresentado foi desenvolvido dentro do Laboratório de Robótica e Inteligência Artificial do Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL. Atualmente os pesquisadores desse laboratório integram a equipe de robótica do Inatel, a *RobotBulls*. A equipe *Robotbulls* conta atualmente com 5 membros na categoria *IEEE Very Small Size Soccer*, nos quais não possuem divisão específica de desenvolvimento, de maneira que todos possam estudar e aprender todo o sistema utilizado, que é dividido nos seguintes módulos:

- Visão computacional: responsável por localizar todos os robôs contidos no campo.
- Estratégia: responsável por traçar as trajetórias e decidir as ações a serem tomadas pelos robôs.
- Eletrônica: responsável pela comunicação entre o servidor e os robôs, e também controlar os motores.
- Mecânica: responsável pela parte física do robô.

Este artigo tem como objetivo desenvolver um modelo de sistema robótico inteligente, aplicado ao futebol de robôs VSS, tendo sua validação realizada através de competições oficiais nacionais e latino americanas. Acredita-se que todo o conhecimento desenvolvido nesse estudo poderá ser certamente aplicado à sistemas robóticos industriais.

Este trabalho é organizado da seguinte maneira: nas seções II até V são descritos os módulos de visão computacional, estratégia, eletrônica e mecânica, seguidos dos testes, resultados e conclusão.

## II. VISÃO COMPUTACIONAL

O módulo de visão computacional foi feito utilizando a biblioteca OpenCV e tem o objetivo de localizar todos objetos de interesse dentro do campo, de tal forma que possa se ter total informação sobre a situação atual do jogo. [1]

O algoritmo do atacante analisa a posição da bola para que ele possa segui-la a todo o momento enquanto ela estiver no campo de ataque, tentando roubá-la do adversário para levá-la até o gol. A Figura 1 ilustra a visão computacional.

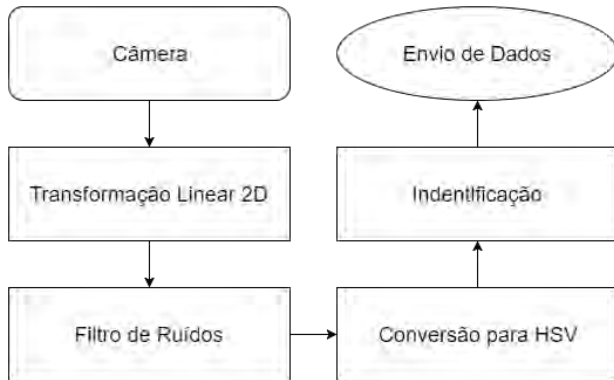


Fig. 1 - Módulos da Visão Computacional.

Primeiro, faz-se um processo de transformação linear 2D da imagem obtida, sendo este um dos processos mais custosos computacionalmente dentro do módulo da visão, porém essencial, visto que aumenta muito a precisão da localização dos objetos. A transformação de um ponto  $p$  de uma imagem inicial  $I_i$  para um ponto  $p_0$  da imagem final  $I_f$  é dada por:

$$\begin{bmatrix} rx \\ ry \\ rz \end{bmatrix} = Tx \begin{bmatrix} px \\ py \\ 1 \end{bmatrix}, \quad p' = \begin{bmatrix} p'x \\ p'y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} rx \\ rz \\ ry \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} ax & bx & cx \\ ay & by & cy \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} dx \\ dy \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} a'x & b'x & c'x \\ a'y & b'y & c'y \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \alpha' \\ \beta' \\ \gamma' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d'x \\ d'y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$A = \begin{bmatrix} \alpha \cdot ax & \beta \cdot bx & \gamma \cdot cx \\ \alpha \cdot ay & \beta \cdot by & \gamma \cdot cy \\ \alpha & \beta & \gamma \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$B = \begin{bmatrix} \alpha' \cdot a'x & \beta' \cdot b'x & \gamma' \cdot c'x \\ \alpha' \cdot a'y & \beta' \cdot b'y & \gamma' \cdot c'y \\ \alpha' & \beta' & \gamma' \end{bmatrix} \quad (5)$$

Onde, finalmente:

$$T = B \cdot A^{-1} \quad (6)$$

Após este processo a imagem é filtrada utilizando uma matriz de convolução e convertida do espaço RGB para HSV, sendo então filtrada por *thresholding* afim de localizar a centroide dos objetos e agrupá-los, conforme ilustram as Figuras 2 e 3. [2]

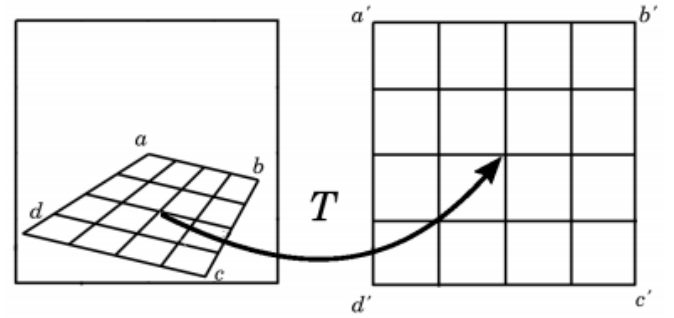


Fig. 2 - Representação da Transformação Linear T de  $I_i$  em  $I_f$ .

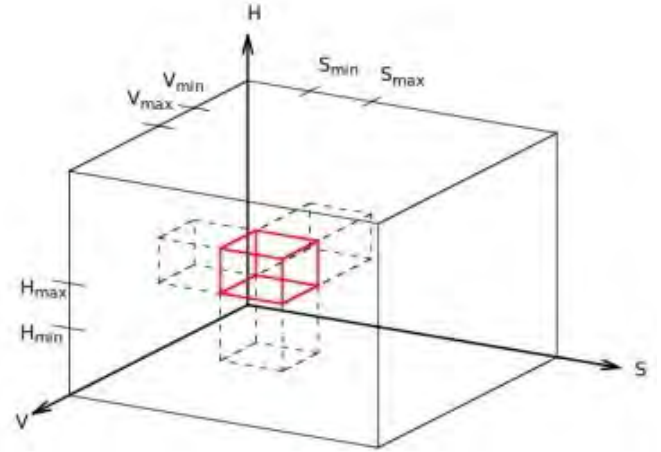


Fig. 3 - Intervalo de cor em 3D.

A identificação do robô é feita utilizando um padrão de duas cores, sendo possível definir seu centro e sua orientação, conforme ilustra a Figura 4.

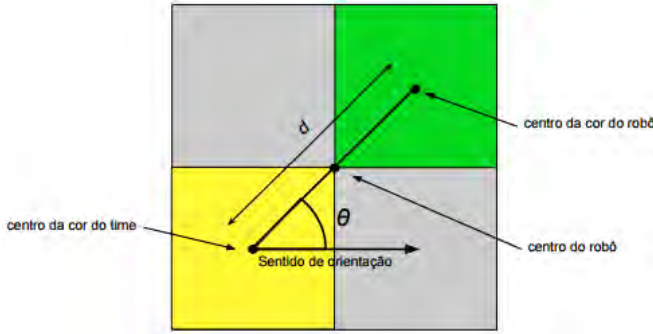


Fig. 4 - Tags de Identificação do Robô.

O padrão de cores utilizado resulta na seguinte equação de posição e orientação do robô:

$$\begin{bmatrix} Rx \\ Ry \\ Rw \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{Mx}{2} + \frac{Nx}{2} \\ \frac{My}{2} + \frac{Ny}{2} \\ \left[ \tan^{-1} \left( \frac{Ny - My}{Nx - Mx} \right) - \theta \right] \end{bmatrix} \quad (7)$$

Todo o processo é feito utilizando a CPU, visto que o tempo de processamento é menor e leva um total de aproximadamente 11ms.

### III. ESTRATÉGIA

O módulo de estratégia tem o objetivo de decidir as ações a serem tomadas por cada robô e certificar que ela seja completada corretamente, para tal é utilizado o conceito de máquina de estados. Além das ações, o módulo também é responsável pela navegação, conforme ilustra a Figura 5.

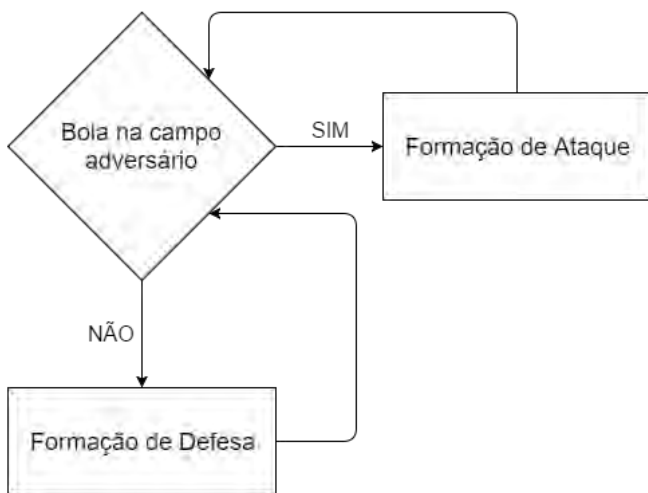


Fig. 5 - Exemplo de uma ação dos jogadores.

A navegação é feita utilizando uma mistura entre grafo, algoritmos de menor caminho e controlador *Fuzzy*. Esta abordagem se mostrou bastante robusta, visto que os cálculos são feitos quase que instantaneamente, o que é essencial neste

projeto, além de ser completamente diferente do que é utilizado nos outros times. [3]

Primeiramente, são definidos pontos de referência ao redor do objetivo, do ponto inicial e de todos robôs.

Após isto, são traçadas todas arestas que não cruzem uma margem de segurança de todos pontos de referências, de tal forma que se obtêm o menor caminho até o objetivo utilizando o algoritmo A\* com heurística de distância euclidiana. Estes dados são enviados ao controlador *Fuzzy* que é responsável por comandar os motores do robô.

### IV. ELETRÔNICA

O tamanho limitado do robô exige um grande trabalho de eletrônica, mesmo para exercer uma função relativamente simples. Neste projeto usou-se um microcontrolador momote001, desenvolvido por ex-alunos do INATEL, que conta com um processador ARM Cortex-M3 de 32 bits e frequência de 48 MHz. As funções de rádio a serem usadas estão integradas no próprio microcontrolador, utilizando uma frequência de 2.4 GHz, conforme ilustra a Figura 7. [4] [5]



Fig. 6 - Microcontrolador utilizado.

Para acionar os motores, foram utilizados duas pontes H modelo TB6612FNG ligadas em paralelo, de tal forma que mesmo com os motores travados, o driver não atinja seu limite de operação, conforme ilustra a Figura 7.

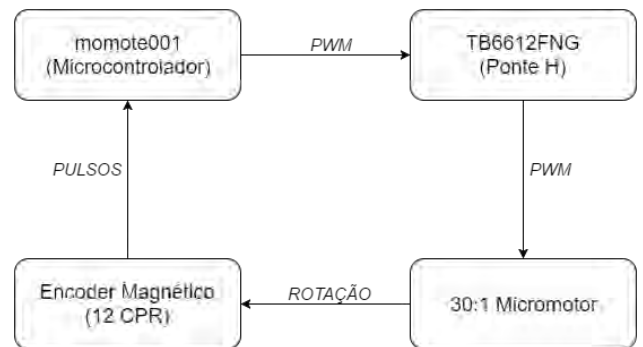


Fig. 7 - Modelo de aquisição de dados do motor.

A fim de estabilizar a trajetória do robô, foi utilizado um controlador PID, sendo realimentado por um *encoder* em cada

motor de tal forma que o robô siga corretamente os comandos enviados a ele. A equação do controle é definida da seguinte forma:

$$U_n = K_p e_n + K_i \sum_{i=0}^n e_i \Delta T + K_d \left( \frac{e_n - e_{n-1}}{\Delta T} \right) \quad (8)$$

Onde os ganhos  $K_p$ ,  $K_i$  e  $K_d$  foram definidos a partir da seguinte função de transferência:

$$G(z) = \frac{1.423}{z - 0.6891} \quad (9)$$

Após tunar os parâmetros  $K_p$ ,  $K_i$  e  $K_d$ , obteve-se a resposta apresentada na Figura 8.

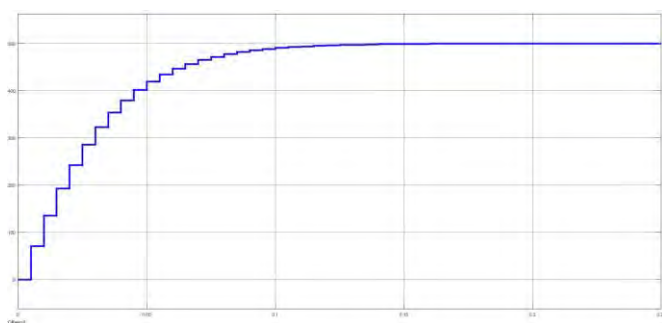


Fig. 8 - Resposta em malha fechada do controlador.

## V. MECÂNICA

Todo modelo foi construído utilizando o software *SolidWorks*, e impresso em material ABS utilizando uma impressora 3D, visto que é o processo mais rápido e em conta para protótipos, conforme visto na Figura 9. [6]

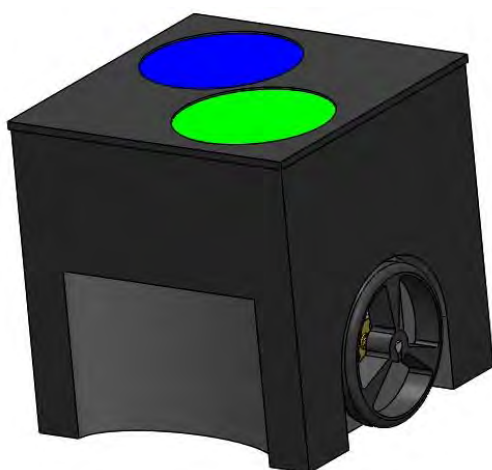


Fig. 9 - Modelo 3D do robô.

## VI. TESTES E RESULTADOS

O sistema robótico inteligente desenvolvido nesse estudo foi colocado em teste para otimização e validação através da

participação em competições acadêmicas de robótica, nacionais e latino americanas.

As competições escolhidas foram a IRONCup (*Inatel Robotics National Cup*), promovida pelo INATEL, e a LARC (*Latin American Robotics Competition*), promovida juntamente com a CBR (Competição Brasileira de Robótica).

Na LARC 2017, o evento contou com a participação de 27 equipes de instituições de todo o país. A Robotbulls, utilizando robôs frutos desse trabalho, foi consagrada campeã latino americana na categoria de futebol de robôs IEEE VSS conquistando o primeiro lugar da competição de forma invicta.

Na IRONCup 2018, o evento contou com a participação de 6 equipes de instituições de todo o país. A RobotBulls, também utilizando robôs frutos desse trabalho, foi consagrada campeã na categoria *Mini Robots Soccer Cup*, equivalente à de futebol de robôs IEEE VSS, conquistando o primeiro lugar da competição de forma invicta.

## VII. CONCLUSÃO

Dado o exposto, conclui-se que o trabalho alcançou o objetivo, pois o resultado superou as expectativas iniciais desse estudo, desenvolvendo um time de robôs competitivo com o cenário nacional com a conquista de duas importantes competições.

A capacidade de reconhecimento de imagens e controle inteligente desenvolvidos abre um enorme leque de possibilidades para novas pesquisas e aplicações industriais reais.

Para as próximas competições espera-se otimizar o sistema robótico desenvolvido nesse estudo, a fim de manter o título de campeão nas mais importantes competições de robótica do país.

## VIII. AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer ao INATEL pelo apoio financeiro, a Das Coisas pelos microcontroladores doados, a todos nossos professores, amigos e patrocinadores que nos ajudaram neste projeto, sem eles não seria possível chegar até onde chegamos. Agradecimento especial a Rodrigo Agostinho Chaves, por nos ajudar com o programa de visão computacional, ao professor Egídio Raimundo Neto por nos ajudar com o sistema de controle, e, principalmente, aos professores Alexandre Baratella Lugli e Wanderson Eleutério Saldanha por toda ajuda no desenvolvimento do trabalho.

## IX. REFERÊNCIAS

- [1] OpenCV Reference Manual. disponível no site <http://docs.opencv.org/modules/refman.html>, Acessado em 11 de Setembro de 2017.
- [2] Rodrigo Agostinho Chaves. UaiVision: um Sistema de Visão para Futebol de Robôs. UFSJ, 2015.
- [3] Husain Ahmed. Controlling of D.C. Motor using Fuzzy Logic Controller. Uttarakhand, 2013.

[4]Regras da categoria IEEE Very Small. Disponível no site, [http://www.cbrobotica.org/wp-content/uploads/2014/03/VerySmall2008\\_en.pdf](http://www.cbrobotica.org/wp-content/uploads/2014/03/VerySmall2008_en.pdf), acessado em 14 de Setembro de 2017.

[5] Momote001 Documentation. Disponível no site, <http://momote.io/momote001-en.html>, Acessado em 11 de Setembro de 2017.

[6] Disponível no site, <http://www.solidworks.com/>, acessado em 11 de Setembro de 2017.

# Técnica de Inteligência Artificial Aplicada a Sistemas Robóticos para Otimização dos Processos Industriais.

Alexandre Baratella Lugli  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
baratella@inatel.br

João Paulo Martins Semensato  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
joaosemensato@gea.inatel.br

Maria Clara Nascimento Costa  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
mariacosta@geb.inatel.br

Manoela Folquito Jorge Miziara  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
manoelafolquito@gea.inatel.br

Egídio Raimundo Neto  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
egidio.neto@inatel.br

José Vitor Santos Resende  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
joseresende@gea.inatel.br

Mariana Helena Inês Moreira  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
marianahelena@gec.inatel.br

Wanderson Eleutério Saldanha  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
wsaldanha@inatel.br

**Abstract** - *In the present study, the Robotbulls team presents the results of the work developed in the Laboratory of Robotics and Artificial Intelligence of the National Institute of Telecommunications, INATEL, with the objective of applying intelligence techniques to robotic systems for performance gain. The robotic platform used to develop the study is based on competition robots in the categories Sumo Lego and Mini Sumo. Details of the development as well as the results are presented.*

**Keywords** - *Artificial intelligence, Mini sumo, programming, Sumo lego.*

**Resumo** – No presente estudo, a equipe Robotbulls apresenta os resultados do trabalho desenvolvido no Laboratório de Robótica e Inteligência Artificial do Instituto Nacional de Telecomunicações, INATEL, com o objetivo de aplicar técnicas de inteligência a sistemas robóticos para ganho de desempenho. A plataforma robótica utilizada para desenvolvimento do estudo é baseada em robôs de competição nas categorias Sumô Lego e Mini Sumô. São apresentados os detalhes do desenvolvimento, bem como os resultados obtidos.

**Palavras-chave** – Inteligência artificial, Mini sumô, programação, Sumô lego.

## I. INTRODUÇÃO

A junção de uma série de disciplinas técnicas e científicas colocadas em prática torna possível o desenvolvimento e aprimoramento da robótica. Esta, consiste no uso da inteligência artificial e sensores altamente desenvolvidos que interagem de forma autônoma com seres humanos e o ambiente circundante. [1]

Para o avanço das pesquisas em relação a essa nova geração tecnológica foi criado no Laboratório de Robótica e Inteligência Artificial do INATEL, no ano de 2013, a equipe *Robotbulls*. Atualmente, possui vinte e sete membros e três professores orientadores. Os trabalhos de pesquisa acontecem em cinco categorias para competições nacionais e internacionais: futebol VSS (*very small size soccer*), futebol simulado 2D, sumô lego, mini sumô e robô seguidor de linha (*follow line*). [2]

A Figura 1 ilustra o logotipo da equipe. [2]

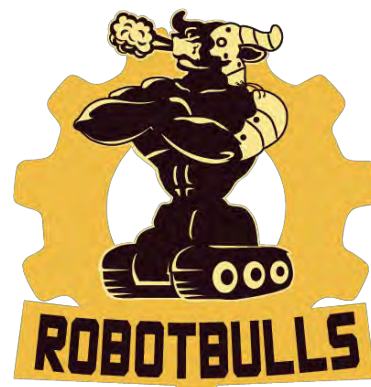


Fig. 1. Logotipo da equipe *RobotBulls*.

Com o estudo teórico e prático, além da participação em competições do segmento, foi aprimorado o conhecimento na área científica e desenvolvidas as relações interpessoais, qualificando os integrantes para o mercado de trabalho.

Nesse estudo, especificamente, as técnicas baseadas em inteligência artificial foram aplicadas em sistemas robóticos para competições universitárias, prevendo sempre a possibilidade de aplicar todo o conhecimento desenvolvido em aplicações industriais.



O objetivo desse estudo é promover o ganho de desempenho e a otimização de sistemas robóticos pela aplicação de controle baseado em inteligência artificial.

## II. DESENVOLVIMENTO

A elaboração de um sistema robótico utiliza teorias relacionadas à sua estrutura mecânica, lógica computacional e eletrônica. A mecânica é a parte estrutural e de movimentação do sistema, a lógica (programação) é responsável pela interpretação dos dados recebidos dos sensores e pela tomada de decisão baseada nas informações levantadas, e os circuitos eletrônicos realizam a interface lógica/mecânica, além de ser responsável pela leitura dos estímulos externos. [3]

Para esse estudo, em função da impossibilidade de utilizar sistemas robóticos industriais reais, optou-se por sistemas desenvolvidos para competições acadêmicas, não comprometendo de forma alguma os objetivos estabelecidos. A vantagem de se utilizar essa base para desenvolvimento envolve principalmente a motivação por resultados em competições com outras instituições de ensino. Para desenvolvimento desse trabalho foi escolhido a plataforma de competição em lutas de sumô, onde a equipe desenvolve robôs autônomos projetados para competir nas categorias Mini Sumô e Sumô Lego.

Nessas disputas, a competição se assemelha ao sumô de humanos, ou seja, cada robô tem como objetivo retirar o robô adversário da arena (*dojo*), da forma mais eficiente possível e no menor tempo, sem interferência humana e de forma não destrutiva. Perde a batalha aquele robô que sair primeiro do *dojo* ou infringir alguma regra. [4] [5]

O *dojo*, juntamente com os robôs adversários, serão, portanto, o ambiente utilizado para testes e validação do sistema robótico desenvolvido nesse estudo, bem como, para a inteligência artificial embarcada.

O *dojo* utilizado deve ser circular e de tamanho e material apropriado para as respectivas classes. Portanto, para uso nas categorias estudadas, ele deve ser de placa de MDF, ter 77 cm de diâmetro e 2,5 cm de espessura, conforme ilustra a Figura 2. [5]



Fig. 2. Representação do Dojô.

As *shikiri* (linhas de início) consistem em duas linhas marrons (ou equivalentes para absorção de luz infravermelha) paralelas e centradas no *dojo* com espessura e espaçamento para a respectiva classe, ou seja, 1 cm de largura, 10 cm de comprimento e 10 cm de espaçamento entre elas. A linha de borda é uma faixa circular branca com a largura de 2,5 cm para ambas categorias. [5]

### A. Sumô Lego

Em 1988, afim de permitir o controle de criações Lego por meio da programação, iniciou-se o desenvolvimento de um "bloco inteligente" através da colaboração entre o Grupo Lego e o Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT). [6]

E em 1998, foi lançado comercialmente a linha Lego *Mindstorms*, sendo formada por um conjunto de blocos de montar cuja unidade de processamento é programável e capaz de controlar um conjunto de motores e sensores, conforme ilustra a Figura 3. [6] [7]



Fig. 3. Kit Lego *Mindstorms*. [6]

Na categoria Sumô Lego, os sistemas robóticos devem ser exclusivamente construídos utilizando peças e componentes LEGO® em seu estado original. Além disso, devem atender as seguintes especificações: [5]

- Altura: Ilimitada;
- Largura máxima: 15,2 cm;
- Comprimento máximo: 15,2 cm;
- Peso máximo: 1kg.

A Figura 4 ilustra dois robôs, desenvolvidos para essa categoria, em uma disputa real.



Fig. 4. Disputa de Sumô Lego

Dentre as peças fundamentais para a construção de um sistema robótico para a categoria Sumô Lego, têm-se: *brick NXT*, motores e sensores. O *brick NXT* armazena os programas e nele se conectam os motores e sensores, ou seja, é indispensável a utilização deste bloco. Toda a inteligência do robô estará embarcada no *brick NXT*, que poderá ser programado através de uma plataforma LEGO ou através de outra linguagem de programação. Os motores fazem o robô se movimentar e, ainda, podem ser utilizados em determinadas estratégias como armas. Os sensores são responsáveis por

identificar fatores como objetos (ou o próprio adversário) e luz, o que faz o robô executar uma determinada função.

O *brick NXT* é o cérebro do robô, um bloco LEGO controlado por computador que fornece um comportamento programável, inteligente e que toma decisões.

O *NXT* possui três portas de saída (A, B e C) para os motores e quatro portas de entrada (1, 2, 3 e 4) para a inserção de sensores, conforme ilustra a Figura 5. [8]

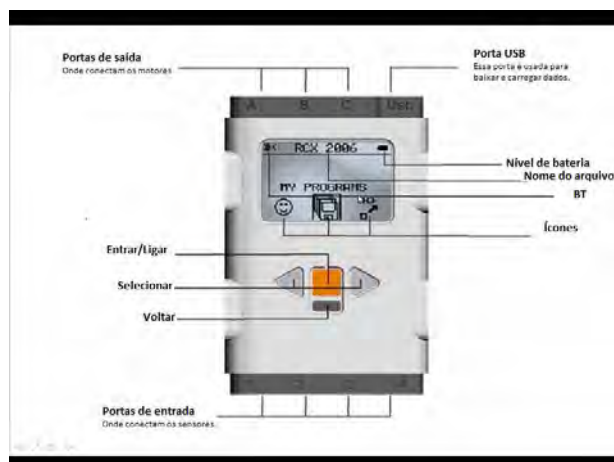


Fig. 5. *Brick NXT*. [8]

O sensor de luz habilita o robô a distinguir entre claro e escuro, ler a intensidade da luz em uma sala e medir a intensidade da luz em superfícies coloridas. Esse tipo de sensor é fixado na frente do robô para que ele não saia do ringue. O sensor está apresentado na Figura 6. [8]



Fig. 6. Sensor de luz. [8]

O sensor ultrassônico ativa o robô para ver e reconhecer objetos, evitar obstáculos, medir distâncias e detectar movimentos. Ele usa o mesmo princípio científico dos morcegos, onde mede a distância a partir do tempo que leva para uma onda de som atingir um objeto e voltar. Este sensor mede a distância em centímetros e polegadas, de 0 a 25 metros, com precisão em torno de 3 cm. O sensor está apresentado na Figura 7. [8]



Fig. 7. Sensor Ultrassônico. [8]

Todo motor do kit Lego possui um sensor de rotação interno. A resposta rotacional permite ao *NXT* controlar movimentos de forma precisa. O sensor de rotação embutido mede as rotações do motor em graus com precisão de, aproximadamente, um grau ou as rotações completas e, também, permite a programação de diferentes velocidades. O motor está apresentado na Figura 8. [8]



Fig. 8. Motor do kit lego.

Para esse estudo, toda a programação do sistema robótico é feita através da plataforma *RobotC*, de fácil utilização, através de ferramentas básicas para programadores, conforme ilustra a Figura 9. [9]

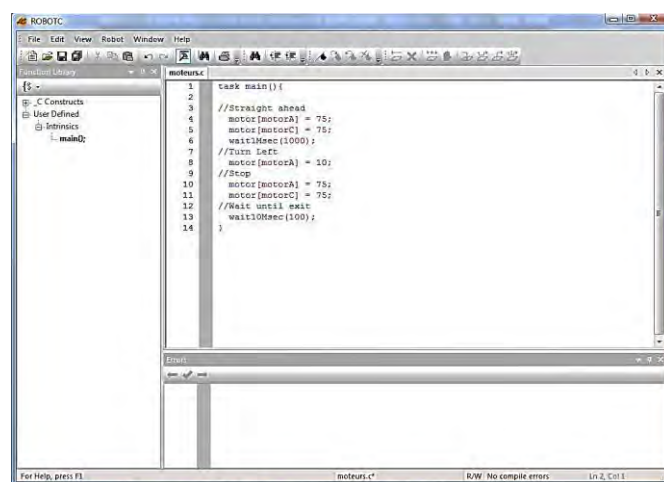


Fig. 9. Interface *RobotC*. [9]

O controle dos sensores de luz, sensores ultrassônicos e motores são dados através das estruturas de código padrão *getColorReflected*, *getUSDistance* e *setMotorSpeed*, respectivamente, presentes na barra da esquerda.

No momento da compilação do programa os erros são apresentados na barra inferior para possíveis correções. [9]

### B. Mini Sumô

O sistema robótico da categoria Mini Sumô deve seguir as especificações do *Winter Challenge*, evento latino-americano, realizado pela *RoboCore*. Deverá caber em um quadrado com 10 cm de lateral, peso de no máximo 500g e ser totalmente autônomo. Em caso de desprendimento de peças durante a disputa, se as peças pesadas excederem 10g, é concedido um ponto a equipe adversária. [5]

O robô pode expandir seu tamanho após o início da partida, porém, não é permitido se separar, devendo continuar como um único robô. Além disso, o competidor pode alterar a programação no intervalo das batalhas, mas não durante a partida. [5]

A construção do sistema robótico, seu formato e os materiais utilizados são livres. Os robôs desenvolvidos nesse

estudo têm seu chassi feito de metal e a carcaça de plástico, feito em impressão 3D. A parte metálica frontal funciona como uma rampa com intenção de levantar o adversário.

Um dos robôs desenvolvidos, o *EliteBull*, é constituído por 2 motores, 2 sensores infravermelho (capaz de quantizar distância), 1 bateria de 7,4V e 1 plataforma microcontrolada. O robô é apresentado na Figura 10.

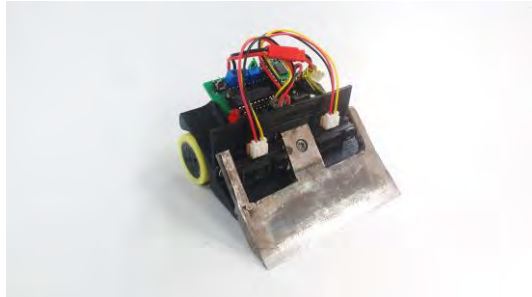


Fig. 10. Robô *EliteBull*.

Outro robô desenvolvido recebeu o nome de *FarmBull*, sendo constituído por 2 motores, 2 sensores infravermelhos, 1 bateria de 7,4V e 1 plataforma microcontrolada. O robô é apresentado na Figura 11.



Fig. 11. Robô *FarmBull*.

O terceiro robô desenvolvido foi o *MiniBull* e foi constituído com 4 motores, 2 sensores infravermelhos, 1 bateria de 7,4V e 1 plataforma microcontrolada. O robô é apresentado na Figura 12.

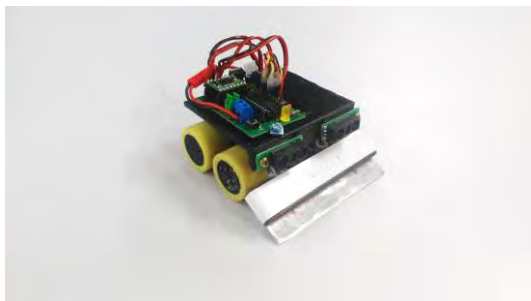


Fig. 12. Robô *MiniBull*.

Em sua plataforma microcontrolada (controlador), informações dos sensores infravermelhos são recebidas, a fim de que o controlador tome a decisão correta para definir os sentidos e velocidade dos motores para a movimentação do robô de modo a identificar e atacar o oponente. Vale lembrar que a eficiência de sistemas robóticos para esse tipo de

competição está baseada na velocidade e precisão para obtenção do objetivo.

A programação é feita em linguagem C com auxílio do *software* Energia, que converte o código escrito em uma linguagem própria do microcontrolador, aqui no caso, o MSP430.

De uma forma geral, na melhor solução encontrada, quando iniciado a partida em um *round*, os robôs passam a girar no seu próprio eixo em um sentido qualquer até que um de seus sensores de aproximação (infravermelho), localizados na dianteira, detectam seu adversário. Após isso, o sistema de controle tenta alinhar esse movimento com a detecção dos dois sensores simultaneamente fazendo o robô seguir direto, em linha reta, em direção ao seu oponente com potência máxima de seus motores, com intuito de empurrar o mesmo para fora do ringue.

### III. TESTES E RESULTADOS

A validação dos sistemas robóticos se deu em competições acadêmicas em âmbito nacional e internacional, onde foram comparados diretamente com soluções apresentadas por outras instituições.

Na IRONCup 2018, evento nacional de robótica realizado no INATEL, os robôs conquistaram 1º e 2º lugares na categoria Mini Sumô, entre 11 robôs inscritos, e 7º lugar na categoria Sumô Lego, entre 25 robôs inscritos.

Na Winter Challenge 2017, evento latino americano de robótica, os robôs conquistaram 2º e 4º lugares na categoria Mini Sumô, entre 34 robôs inscritos, e 5º lugar na categoria Sumô Lego, entre 51 robôs inscritos.

Em ambas as competições se viu de forma clara a melhor movimentação dos robôs desenvolvidos nesse estudo. A vitória muitas vezes foi impedida por força e não por inteligência artificial embarcada.

### IV. CONCLUSÃO

O desempenho dos sistemas robóticos desenvolvidos para as categorias Sumô deixa claro o êxito desse estudo. A movimentação dos robôs e a tomada de decisão foram destaque frente a outros competidores.

As atividades desenvolvidas no laboratório de Robótica e Inteligência Artificial juntamente com as competições proporcionam a otimização do conhecimento científico e o desenvolvimento do trabalho em equipe, preparando os pesquisadores para o mercado de trabalho.

Além disso, há o aprimoramento do raciocínio lógico pela necessidade de elaborar novas estratégias a cada competição, afim de melhorar toda a estrutura do robô e sua programação.

Para trabalhos futuros, sugere-se um estudo para ganho de força, que alinhada a capacidade de tomada de decisões dos robôs, fará com que melhores resultados possam ser alcançados.

### V. REFERÊNCIAS

- [1] Forni, Andrea. “Robôs - A Nova Era. Vivendo, trabalhando e investindo na sociedade robótica do futuro” – [SI], 2017.
- [2] Equipe RobotBulls. Disponível no site: <http://www.inatel.br/robotica/a-equipe>, acessado em 16 de janeiro 2018.
- [3] Disponível no site: [www.revistas.unifacs.br/index.php/sepa/article/download/307/255](http://www.revistas.unifacs.br/index.php/sepa/article/download/307/255), acessado em 16 de janeiro 2018.

- [4] Disponível no site: <http://www.revistas.unifacs.br/index.php/sepa/article/viewFile/305/253>, acessado em 16 de janeiro 2018.
- [5] Disponível no site: [https://www.robocore.net/upload/attachments/robocore\\_\\_regras\\_sumo\\_144.pdf](https://www.robocore.net/upload/attachments/robocore__regras_sumo_144.pdf), acessado em 16 de janeiro 2018.
- [6] Disponível no site: <https://www.lego.com/en-us/mindstorms/history?ignorereferer=true>, acessado em 18 de janeiro 2018.
- [7] MENEZES, Ebenezer Takuno de; SANTOS, Thais Helena dos. Verbete Lego Mindstorms. Dicionário Interativo da Educação Brasileira - Educabrazil. São Paulo: Midiamix, 2001. Disponível em: <<http://www.educabrazil.com.br/lego-mindstorms/>>. Acesso em: 18 de jan. 2018.
- [8] Disponível no site: [http://mz.pro.br/Engenharia\\_Processo/04-Manual\\_MindStorms\\_Portugues.pdf](http://mz.pro.br/Engenharia_Processo/04-Manual_MindStorms_Portugues.pdf), acessado em 19 de janeiro 2018.
- [9] Disponível no site: <http://pt.slideshare.net/raynermp/programao-de-robots-lego>, acessado em 19 de janeiro 2018.

# Board is Under Attack: Proposta de jogo que auxilia na aprendizagem de eletrônica computacional

Fernanda Carneiro Avelar  
CDG Hub - INATEL  
fernandacarneiro@gec.inatel.br

Lucas de Paiva Rosa Gaspar  
CDG Hub - INATEL  
lucasgaspar@gec.inatel.br

Renzo Paranaíba Mesquita  
CDG Hub - INATEL  
renzo@inatel.br

**Abstract**— This article aims to present the process of developing a game that seeks to teach in a playful way the learning process of computational electronics. This present work also details the construction and operation of this game.

**Index Terms**— Arduino, Computational Electronics, Education, Game.

**Resumo**— Este artigo tem como objetivo apresentar o processo de desenvolvimento de um jogo que busca ensinar de forma lúdica conceitos de eletrônica computacional. Este apresenta também não só trabalhos correlatos com o tema, mas também detalhes da construção e operação deste jogo.

**Palavras chave**— Arduino, Eletrônica Computacional, Educação, Jogo.

## I. INTRODUÇÃO

Diferente dos alunos do século passado, atualmente, crianças e adolescentes convivem em um mundo digital. A atenção do professor tem sido dividida com *smartphones*, *tablets* e outros dispositivos digitais capazes de prover um acesso rápido à informação. Por conta disso, muitos profissionais da área da educação têm buscado novas formas de passar os conhecimentos aos alunos, buscando oferecer uma aprendizagem mais prazerosa e menos cansativa. Segundo Levy, o uso das tecnologias pode contribuir de forma significativa para o desenvolvimento de um indivíduo [1] e segundo dados do Centro de Estudos sobre as Tecnologias da Informação e da Comunicação (Cetic), 52% das escolas brasileiras já utilizam de tecnologias como dispositivos móveis para realização de atividades com os alunos [2].

Dentre os recursos que podem ser utilizados por meio dos dispositivos móveis para buscar conquistar ainda mais atenção dos alunos, destaca-se os jogos digitais. A utilização de jogos no processo de aprendizagem possuem diversas vantagens, na qual pode-se destacar: o jogos tornam a aprendizagem mais lúdica, contrariando bocejos, sonecas e até mesmo indisciplina, que são as maiores queixas dos professores dentro das salas de aula; o índice de concentração de alguém que está jogando tende a alcançar níveis mais elevados comparados a outras metodologias que visam manter o foco do estudante a longo prazo e o conteúdo ministrado pode ser apresentado de forma mais prática e criativa, uma vez que jogos são ricos em recursos audiovisuais [3].

Os jogos digitais podem ser aplicados no ensino ou prática de uma infinidade de conteúdos, como por exemplo no estudo de ciências [4], matemática [5], língua inglesa [6] e até

mesmo computação [7]. Dentro da computação, por exemplo, ainda pode ser utilizada para ensino de programação, redes, arquitetura de computadores, entre outros.

Eletrônica computacional, em especial, é um tema muito importante, pois é base para compreensão e construção de dispositivos computacionais. Dentre os diversos dispositivos presentes no mercado utilizados para prototipação ou criação de novos projetos que possam envolver entrada, processamento e saída de dados, o microcontrolador Arduino [8] se destaca como a plataforma mais largamente utilizada [9], principalmente por iniciantes no estudo de arquitetura de computadores e eletrônica em geral. O grande segredo desta plataforma ser tão popular está em sua alta compatibilidade com uma série de outros componentes eletrônicos disponíveis no mercado.

Pensando em facilitar a compreensão da eletrônica computacional para iniciantes de uma forma divertida, este trabalho apresenta o processo de desenvolvimento de um jogo no formato *First Person Shooter* (FPS) que visa apresentar detalhes e exemplos de operações desta plataforma em projetos simples. Intitulado *Board is Under Attack*, o jogo consiste em fases no qual o jogador necessita destruir os inimigos para poder avançar, e entre as fases, são dadas animações explicativas de caráter técnico ou da história do próprio jogo. O objetivo principal é imergir totalmente o usuário na plataforma Arduino, tornando o aprendizado mais divertido.

Esse artigo está organizado da seguinte forma: Na seção II é apresentado outros trabalhos relacionados ao tema que serviram de motivação para criação deste trabalho e que também buscaram, de forma lúdica, ensinar estudantes por meio de jogos digitais. Em seguida, na seção III, são demonstradas ferramentas e tecnologias que foram utilizadas para o desenvolvimento do projeto. Na seção IV é explicado detalhadamente o seu funcionamento, e por fim, na seção V, são apresentadas as conclusões do trabalho.

## II. TRABALHOS RELACIONADOS

A crescente busca pela melhoria do processo de ensino-aprendizagem encontrou apoio na ascensão tecnológica utilizando de jogos eletrônicos a fim de melhorar este processo. Pode-se citar o jogo Robotinov [10], que possui o objetivo de auxiliar no ensino da linguagem de programação *Python*. O jogo tem um contexto de robôs com comportamentos inusitados em diversas situações do dia-a-dia. É dever do jogador arrumar o código dos robôs no intuito de fazer com



que eles se comportem de forma adequada para a situação em que estão envolvidos. Por meio da correção de erros sintáticos e semânticos de trechos de código a serem completados e da execução de algoritmos, o Robotinov cria um contexto desafiador e motivacional que auxilia no ensino de programação.

Focado no ensino de conceitos de programação de alunos do ensino médio existe "O Jogo Séri: Castelo dos Enigmas"[11]. Tal jogo se passa em um castelo, no qual o jogador é exposto a vários desafios, a situações de ataque e defesa, a problemas de raciocínio. Neste contexto, o jogador aprende conceitos de programação de forma lúdica.

Desenvolvido na plataforma *Unity*, existe o *AlgoRhythm* [12], um jogo que tem a finalidade de estimular o raciocínio lógico. O jogo utiliza de algoritmos para resolver problemas lógicos e quebra-cabeças, que é um dos grandes pontos do jogo. O jogador é inserido em um tabuleiro, e por meio de comandos deve solucionar o quebra-cabeça. Além dos quebra-cabeças, possui um sistema de batalha que se passa também em um tabuleiro, no qual o jogador deve utilizar de lógica para lutar pela sua sobrevivência.

Na área de engenharia de *software* pode-se citar o jogo *Problems and Programmers* [13], um jogo de cartas que tem o intuito de simular o desenvolvimento de um *software* desde a fase dos requisitos até a entrega do produto. Os jogadores são colocados como gerentes de projetos, e todos tem que fazer o mesmo projeto no menor intervalo de tempo possível.

Uma outra maneira de auxiliar o aprendizado são as ferramentas *online* que ensinam conceitos técnicos de acordo com a criação de jogos. Como exemplos a serem citados tem-se o *Tynker*[14] e o *Scratch*[15]. Ambos possuem mecanismos pré definidos que auxiliam na montagem do jogo.

No intuito de expor como se monta um algoritmo de forma visual, o *Tynker*[14] oferece uma plataforma *online* para a criação de jogos voltados ao ensino de programação para crianças. O site oferece blocos que representam ações, e por meio de da união destes blocos é possível determinar ações e movimentos do personagem. Além disso, o *Tynker* oferece dicas de boas práticas de programação e projeção além de tutoriais para auxiliar o usuário na plataforma.

Já o *Scratch*[15], que foi desenvolvido na MIT, *Massachusetts Institute of Technology*, é uma aplicação destinada para crianças maiores de 8 anos, que tem como objetivo ensinar conceitos básicos de programação e raciocínio lógico. Os blocos pré-programados desta plataforma permitem a configuração de cenários e comportamentos. O *Scratch* conta com um repositório de exemplos e de projetos feitos pela comunidade no intuito de auxiliar os usuários da plataforma.

### III. TECNOLOGIAS E FERRAMENTAS UTILIZADAS

No desenvolvimento deste projeto, diferentes tipos de ferramentas foram utilizadas para a sua construção. Os subtópicos a seguir detalham o princípio de funcionamento destas ferramentas e mostram onde exatamente foram utilizadas para a construção do jogo.

#### A. Unity 3D

O *Unity3D* é um *framework* voltado a construção e codificação de jogos. As linguagens de programação que podem ser utilizadas para este fim são C# ou *UnityScript*. A ferramenta possui vários complementos e componentes que podem ser adicionados a um jogo, dentre eles, objetos 3D programados, áudio e vídeo, que aceleram e otimizam o desenvolvimento de um jogo. Uma de suas maiores vantagens é a grande quantidade de fóruns na internet que facilitam e auxiliam no aprendizado e construção de um jogo[16]. O programa está disponível de forma gratuita ou paga, custando de \$35/mês até \$125/mês. A Figura 1 ilustra a área de trabalho do *framework Unity*. De forma geral, esta área pode ser dividida em três partes: A tela de visualização do mundo criado, ilustrando todos os objetos presentes no jogo, o explorador de arquivos que salva todos os objetos que estão presentes ou podem ser adicionados no jogo, e a tela de *script* no qual é codificado o comportamento dos objetos.

Toda a programação deste jogo foi feito por meio deste *framework*, utilizando da linguagem C#.

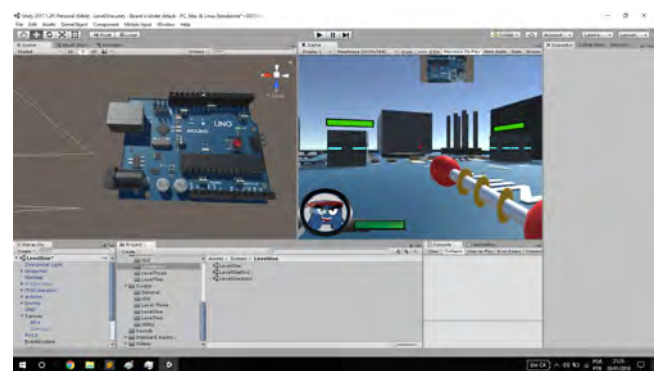


Fig. 1. Imagem demonstrativa da plataforma *Unity*.

#### B. Blender

O *Blender* é uma ferramenta de modelagem 3D gratuita e multiplataforma. Seu foco principal é a construção de objetos reais em seu aspecto virtual aplicando conceitos de texturização, iluminação, composição e renderização[17]. Para prover maior dinamismo aos objetos que são modelados nesta ferramenta, pode-se utilizar funções pré-definidas pelo motor gráfico do *Blender* ou de um tipo específico de *script*, utilizando da linguagem de programação *Python*.

Esta ferramenta foi utilizada para desenvolvimento de alguns dos objetos 3D que se encontram dentro do jogo. A Figura 2 ilustra um exemplo de objeto 3D modelado por meio do *Blender*. A *framework* é dividida em 2 aspectos: Detalhes do objeto, no qual provém informações relevantes da modelagem e contextualização do objeto na cena, descrevendo seu comportamento.



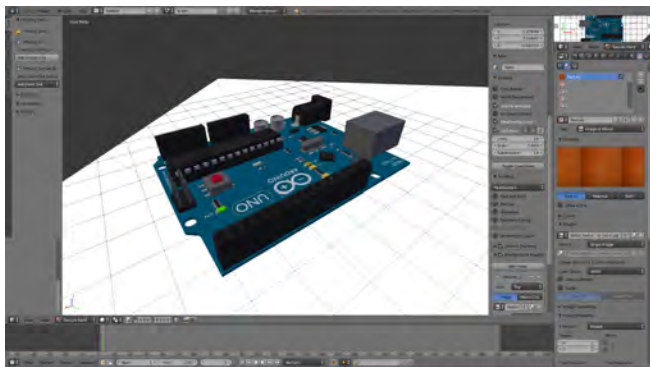


Fig. 2. Placa arduino modelada com a ferramenta Blender.

### C. Adobe Illustrator

O *Adobe Illustrator* é um *software* de desenho vetorial utilizado no mercado para criação de desenhos e objetos, seja em 2D ou 3D[18]. Possui suporte a vários tipos de tipografias e ilustrações. É um *software* que necessita de uma licença paga, e inclui todos os serviços da empresa Adobe.

Os personagens e todas as artes relacionadas foram criadas nessa plataforma. Na Figura 3 é demonstrado um exemplo de ilustração desenvolvida nesta ferramenta. Este *software* trabalha com o contexto de camadas, no qual o ilustrador desenvolve as sobreposições de acordo com suas necessidades. É possível adicionar texturas, iluminações e efeitos aos elementos presentes.

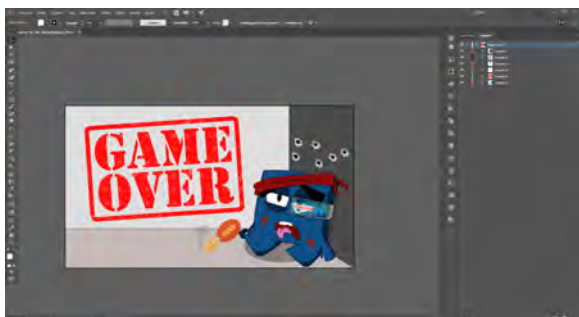


Fig. 3. Imagem demonstrativa da plataforma Adobe Illustrator.

### D. Adobe After Effects

O *Adobe After Effects* consiste em uma plataforma de criação de animações baseado em *keyframes*, quadros separados entre camadas que em alta velocidade se transformam em animações. É dever do animador separar e organizar os objetos nos quadros de acordo com a necessidade da animação. Possui grande quantidade de efeitos de vídeo já pré-definidos, mas também é possível adicionar elementos extras a plataforma[19].

A figura 4 exemplifica uma das animações que foram criadas por esta ferramenta.

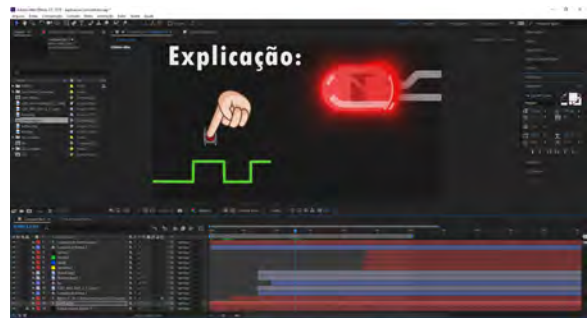


Fig. 4. Imagem demonstrativa da plataforma Adobe After Effects.

## IV. DESENVOLVIMENTO

### A. Enredo

O jogo *Board is Under Attack* se passa nos circuitos de uma placa Arduino Uno REV3, que foi infectada por vírus que destruíram todos os seus circuitos. É dever do Avasto, protagonista do jogo, eliminar os vírus e restaurar o sistema. Este personagem é demonstrado pela Figura 5.



Fig. 5. Imagem do personagem Avasto.

Cada fase representa um circuito desestabilizado pelos vírus, e Avasto deve destruí-los e ir até os pontos indicados no ambiente para restaurar o sistema. O jogo é constituído de três fases: *Blink*, *Click* e *Dimmer*. Cada fase possui uma dificuldade e busca ensinar um conceito diferente. A Tabela 1 relaciona cada fase com seu respectivo conceito.

TABELA I  
FASES E CONCEITOS DO JOGO.

Nome da fase	Conceito
<i>Blink</i>	Ensina o que é saída digital
<i>Click</i>	Ensina o que é uma entrada digital
<i>Dimmer</i>	Ensina o que é uma entrada e saída analógica

Na primeira fase, é apresentado o conceito de saída digital através do circuito *Blink* (pisca-pisca) no qual um LED (*Light Emitting Diode*) acende de acordo com os pulsos configurados no pino em que está ligado. Na fase *Click*, o conceito de entrada digital é apresentado por meio de um botão que funciona como interruptor do LED. Na última fase do jogo, *Dimmer*, é introduzido o conceito de entrada e saída analógica através de um resistor de resistência variável (potenciômetro) que controla o brilho do LED. Ao longo do progresso da fase é ensinado ao usuário os termos técnicos sobre conceitos elétricos usando o Arduino. A música e sons de efeito auxiliam

na experiência do jogo, tornando o aprendizado ainda mais prazeroso.

Entre as fases são apresentadas animações explicativas, que buscam apresentar detalhes a respeito da história do jogo ou dar explicações técnicas referentes aos conceitos apresentados na Tabela 1. As Figuras 6 e 7 ilustram algumas cenas presentes nestas animações.

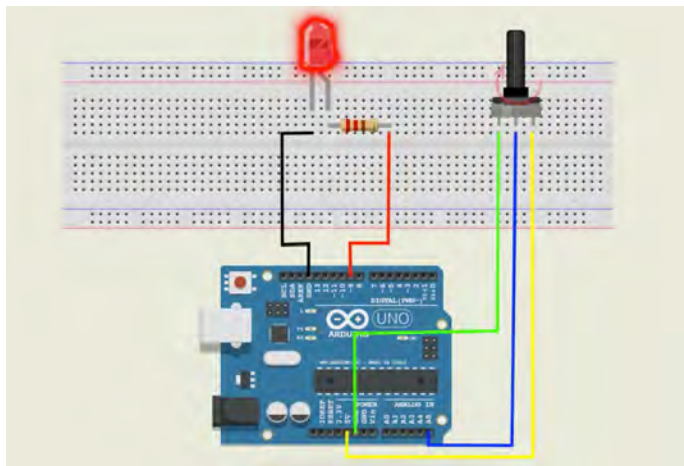


Fig. 6. Exemplo de animação das conexões sendo refeitas



Fig. 7. Exemplo de animação da explicação técnica.

### B. Mecânicas

A mecânica do *Board is Under Attack* é chamada de FPS (First Person Shooter), em que o usuário é inserido na placa Arduino e sua visão de jogo se assemelha a visão do mundo real que temos. O personagem possui uma arma e uma barra de vida, e os inimigos presentes no jogo diminuem a vida do personagem de acordo com contato. A barra de vida representa o total de vezes no qual um vírus pode tocar no Avasto sem que ocorra a reinicialização da fase.

Os comandos utilizados para a movimentação do jogador é o sistema “WASD”, no qual a tecla “W” do teclado locomove o personagem para frente, “S” para trás, “A” para a esquerda e “D” para a direita. A tecla de espaço faz o personagem pular e a tecla Shift faz o jogador correr. O botão esquerdo do mouse é utilizado para disparo dos tiros e a movimentação do mesmo

modifica a posição de visualização da câmera do jogo. A figura 8 demonstra um exemplo de visão do mundo do jogo.



Fig. 8. Modelo de movimentação do jogo.

A Tabela 2 ilustra a relação da dificuldade do jogo de acordo com as fases, no qual aumenta-se a quantidade de conexões necessárias e o número de inimigos presentes no espaço.

TABELA II

RELAÇÃO DA CONEXÃO E QUANTIDADE DE INIMIGOS DE ACORDO COM A FASE.

Fase	Conexões	Inimigos
<i>Blink</i>	2	6
<i>Click</i>	4	7
<i>Dimmer</i>	5	9

### C. Construção do jogo

Para a construção do jogo, primeiramente foi analisado e implementado características de um jogo FPS no *Unity* em um mapa básico para que fosse possível compreender as mecânicas fundamentais, como por exemplo andar, pular e correr. Após a compreensão e definição de conceitos básicos, foi estudado e implementado o conceito de *RayCast*[20], que é uma conceito que auxilia a criação de jogos, no qual um raio direcional é disparado de um ponto de origem no cenário. Esse raio auxilia no desenvolvimento de lançamento de projéteis de acordo com o *click* do mouse. Também foram implementados conceitos de física básica de maneira que os objetos do jogo se comportassem de forma adequada ao tiro. Para o jogo possuir fluidez foi implementado uma técnica de simulação de comportamento humano, chamada *HeadBobber*[21], em que o personagem balança de acordo com seu movimento.

Com conceitos básicos definidos, começou a criação da história do jogo. Circuitos elétricos foram escolhidos e estudados para serem implementados no projeto. O personagem principal foi desenhado e criado no *Adobe Illustrator*, e também as pré-definições das animações e movimentação do tal.

Posteriormente foi implementado o inimigos no jogo, e um algoritmo foi desenvolvido para que os tais ficassem

constantemente seguindo o jogador de acordo com a posição do tal, conferindo assim, a dificuldade da fase. Nesta mesma etapa, foi também desenvolvida a mecânica dos portais, no qual o jogador deve encontrar o local e ir até lá a fim de restaurar as conexões e mudar de fase.

Paralelamente ao desenvolvimento do jogo, as animações foram sendo desenvolvidas. Cada conceito das fases que foram previamente estudadas foram adicionadas. Efeitos de criação de vídeo e extensões do *Adobe After Effects* foram utilizadas como por exemplo o *Ease and Wizz*[22] que proporciona um ajuste mais alegre os quadros implementados.

A última etapa do desenvolvimento foi focada na parte visual do projeto. Foram implementados efeitos de partícula, criação de um mini mapa que guie o jogador, e sons e luzes foram adicionadas com o intuito de conferir uma melhor experiência ao usuário. Nesta etapa, também foi feito o elo entre o jogo e a sincronização das animações didáticas. Por último, telas de menu, vitória e derrota foram implementadas. A Figura 9 é uma demonstração da tela de vitória do jogo.



Fig. 9. Imagem de vitória do jogo.

## V. CONCLUSÃO

Como foi discutido nesse trabalho, vários jogos no mercado fazem o uso de plataformas alternativas como forma de ensino e os jogos interativos são os que possuem maior destaque, pois disponibilizam o estudo de uma maneira lúdica e divertida. Porém, no mercado existe a necessidade de jogos educativos na área de eletrônica computacional, pois em uma pesquisa realizada pelos autores deste trabalho não foram encontrados jogos que pudessem ensinar e praticar estes conceitos. Entre todos os pontos positivos do jogo, um dos mais importantes é que *Board is Under Attack* oferece a imersão completa do usuário na ferramenta Arduino, auxiliando o aprendizado de eletrônica computacional, tornando-se uma forma de ensino diferenciado. Um dos fatores que vale ressaltar, é que esse novo modelo não substitui completamente o estudo teórico e prático tradicional. Eletrônica computacional é um tópico muito complexo e abrangente, o jogo é apenas um complemento para o aprendizado.

Diversas dificuldades foram encontradas de acordo com o desenvolvimento do jogo, como, por exemplo, a sincronização entre os vídeos e o tempo de resposta entre o usuário e o projeto. Alguns dos erros estavam além do alcance dos próprios

desenvolvedores solucionarem por serem muito técnicos e específicos da plataforma *Unity*. Uma abrangente parte do projeto já está pronta, porém existem outros detalhes a serem solucionados e implementados. Como exemplo adicionar o ensino de codificação da linguagem da placa a ser aprendida e fases extras em que serão demonstrados mais conhecimentos necessários da plataforma. É importante também ressaltar, o jogo ainda não foi testado por jogadores que poderiam contribuir com *feedbacks* que possam avaliar sua eficácia.

O jogo foi exibido na FETIN 2017 (Feira Tecnológica do Inatel) e com isso foi possível receber a resposta do público, porém o projeto ainda não teve sua implementação em sistemas educacionais, tornando-se um trabalho a ser discutido no futuro.

## REFERÊNCIAS

- [1] PIERRE, Lévy. *As Tecnologias da Inteligência*. São Paulo: Ed. 34, 1993.
- [2] [online] 52% das instituições de educação básica usam celular em atividades escolares, aponta estudo da Cetic. Disponível em: <https://g1.globo.com/educacao/noticia/52-das-instituicoes-de-educacao-basica-usam-celular-em-atividades-escolares-aponta-estudo-da-cetic.ghtml>. Acesso em: 09 nov 2017.
- [3] DE ABREU, Ráfagan Sebastião; DE PAULA, Bruno Campagnolo. *Contextualizando o Desenvolvimento de Jogos Digitais como Estratégia de Ensino e Aprendizagem*. In: Instituto de Tecnologia do Paraná - TECPAR, Centro de Engenharia de Sistemas Inteligentes - CESI, Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUCPR. Curitiba, 2013.
- [4] SHAW, Gisele; RIBEIRO, Marcelo. Games no Ensino de Ciências: *Desafios e Possibilidades*. 4. 98-110, 2014. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Gisele-Shaw/publication/27597322\\_GAMES\\_NO\\_ENSINO\\_DE\\_Ciencias\\_DESAFIOS\\_E\\_POSSIBILIDADES/links/554d655208ae739bdb8da41a/GAMES-NO-ENSINO-DE-Ciencias-DESAFIOS-E-POSSIBILIDADES.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Gisele-Shaw/publication/27597322_GAMES_NO_ENSINO_DE_Ciencias_DESAFIOS_E_POSSIBILIDADES/links/554d655208ae739bdb8da41a/GAMES-NO-ENSINO-DE-Ciencias-DESAFIOS-E-POSSIBILIDADES.pdf). Acesso em: 15 jan 2018.
- [5] DE MELO, Diógenes Maclyne Bezerra; DA SILVA, Kátia Cilene. *Jogos Digitais e Objetos de Aprendizagem no Ensino da Matemática*. Disponível em: [http://www.pucrs.br/ciencias/viali/tic.literatura/artigos/objetos/CC\\_Melo\\_e.Silva.pdf](http://www.pucrs.br/ciencias/viali/tic.literatura/artigos/objetos/CC_Melo_e.Silva.pdf). Acesso em: 21 dez 2017.
- [6] LEVAY, Paulo Basto. *Jogos Digitais no Ensino e Aprendizagem de Inglês para Crianças*. 2015. 128 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Gestão em Educação a Distância) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife – Brasil, 2015. Disponível em: <http://ww5.ead.ufrpe.br/ppgteg/pdf/2016/dissertacoes/Paula.Levay.pdf>. Acesso em:
- [7] DA SILVA, Rogério Eduardo; MARTINS, Scheila Wesley. Ensino de Ciência da Computação Através do Desenvolvimento de Jogos. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE INFORMÁTICA EDUCATIVA, VII. 1286 – 1295 p. Disponível em: <http://www.niee.ufpr.br/eventos/RIBIE/2004/posters/poster1286-1295.pdf>. Acesso em: 16 jan 2018.
- [8] [online] O que é Arduino?. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/>. Acesso em: 16 jan 2018.
- [9] [online] 10 DIY Development Boards for IoT Prototyping. Disponível em: <https://thenewstack.io/10-diy-development-boards-iot-prototyping/>. Acesso em: 16 jan 2018.
- [10] DANTAS, Vanessa F. et al. Combinando Desafios e Aventura em um Jogo Para Apoiar a Aprendizagem de Programação em Vários Níveis Cognitivos. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM ON COMPUTERS IN EDUCATION, 24., Campinas, 2013. *Anais do SBIE* 2013. Campinas, 2013. 920 – 924 p. Disponível em: <http://www.br-ie.org/pub/index.php/sbie/article/view/2573/2231>. Acesso em: 02 fev 2018.
- [11] SCAIC, Pasqueline Dantas et al. Combinando Diversão e Educação: Castelo dos Enigmas, um Jogo Sério para o Ensino de Algoritmos. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM ON COMPUTERS IN EDUCATION, 22., Aracaju, 2011. *Anais do XXII SBIE - XVII WIE*. Aracaju,

2011. 1868 - 1872 p. Disponível em: <http://docplayer.com.br/2390474-Combinando-diversao-e-educacao-castelo-dos-enigmas-um-jogo-serio-para-o-ensino-de-algoritmos.html>. Acesso em: 02 fev 2018.
- [12] PEREIRA, Alan Antonio; DE OLIVEIRA, Tatyane Freire Duarte; JUNIOR, Wilson de Oliveira. Algorhythm, um Jogo Programado para Ensinar a Programar. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 7., Resende, 2015. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/17622178.pdf>. Acesso em: 01 fev 2018.
- [13] BAKER, A.; NAVARRO, E. O.; HOEK, A. Van der. Problems and Programmers: An Educational Software Engineering Card Game. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/1201245/>. Acesso em: 01 fev 2018.
- [14] [online] Tynker: Coding for Kids. Disponível em: <https://www.tynker.com/>. Acesso em: 01 fev 2018.
- [15] [online] Scratch. Disponível em: <https://scratch.mit.edu/>. Acesso em: 01 fev 2018.
- [16] [online] Unity – Guia Completo sobre a Game Engine. Disponível em: <https://producaodejogos.com/unity/>. Acesso em: 22 dez 2017.
- [17] [online] Blender o que é? Disponível em: [https://www.oficinadanet.com.br/artigo/criacao\\_3d/blender\\_o\\_que\\_e](https://www.oficinadanet.com.br/artigo/criacao_3d/blender_o_que_e). Acesso em: 22 dez 2017.
- [18] [online] O que há de mais moderno em ilustração. Disponível em: <https://www.adobe.com/br/products/illustrator.html>. Acesso em: 22 dez 2017.
- [19] [online] Tudo é possível com o After Effects. Disponível em: <https://www.adobe.com/br/products/aftereffects.html>. Acesso em: 22 dez 2017.
- [20] [online] Physics.Raycast. Disponível em: <https://docs.unity3d.com/ScriptReference/Physics.Raycast.html>. Acesso em: 22 dez 2017.
- [21] [online] Headbobber. Disponível em: <http://wiki.unity3d.com/index.php?title=Headbobber>. Acesso em: 22 dez 2017.
- [22] [online] Ease and Wizz. Disponível em: <https://aescrpts.com/ease-and-wizz/>. Acesso em: 22 dez 2017.



# Estudo do aquecimento de um *Raspberry Pi 3* em manipulação de imagem e implementação de sistema térmico

Daniel Rodrigues Ferraz Izario  
Universidade Estadual de Campinas - Unicamp  
daniel\_izario@hotmail.com

Bruno Rodrigues Ferraz Izario  
Universidade Estadual de Campinas - Unicamp  
bruno\_izario@hotmail.com

Yuzo Iano  
Universidade Estadual de Campinas - Unicamp  
yuzo@decom.fee.unicamp.br

Carlos Nazareth Motta Marins  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
carlosn@inatel.br

**Resumo**—Este artigo aborda um estudo do aquecimento das placas de desenvolvimento *Raspberry Pi 3* quando utilizadas em quase totalidade seu processamento para manipulações em imagens digitais, juntamente com um modelo testado de implementação para controlar sua temperatura em todas as etapas do processo. Todas as aplicações / testes gerados são feitos no processador *ARM Cortex-A53* da placa, com um sistema térmico desenvolvido em *Arduino*, seus gráficos plotados em tempo real e um algoritmo criado para proporcionar uma visão computacional com o *OpenCV*.

**Palavras chave**—*Arduino*, *OpenCV*, Processamento Digital de Imagem e *Raspberry Pi 3*.

## I. INTRODUÇÃO

As mais novas tecnologias e aplicações que estão sendo desenvolvidas para o mercado, em geral, fazem uso de microcontroladores, como o *Arduino* e o *Raspberry Pi*. Com isso, as componentes e os equipamentos que tem relação com as placas microcontroladas precisam ter uma qualidade melhor, para conseguir executar um processamento avançado levando em consideração qualidade e tempo, mas acaba que a temperatura de todo o sistema fica vulnerável ao superaquecimento, devido ao grande poder de processamento desempenhado, ainda mais se forem utilizadas as placas em locais fechados e com pouca ventilação. [1]

Todo microcontrolador é um tipo especial de circuito integrado, já que tem a possibilidade de ser programado para desempenhar diversas tarefas específicas ou não, na placa de desenvolvimento do *Raspberry Pi 3* têm-se a possibilidade de realizar várias tarefas ao mesmo tempo, além de ter um grande poder de processamento. Por esse motivo, foi escolhida para estudo em relação a sua capacidade de processamento digital de imagem em comparação com o seu aquecimento. Juntamente com o levantamento dos estudos, foram feitos testes para desenvolvimento e implementação de um sistema térmico, que seja capaz de controlar e medir a temperatura da

placa e interferir de forma positiva no processamento da imagem para evitar o superaquecimento, todo esse controle é feito pela placa *Arduino*.

O item II aborda a relação entre o processamento digital de imagem e a placa *Raspberry Pi 3*. Em III, o sistema térmico é implementado. O item IV apresenta os testes e resultados obtidos. Em V, é abordado à conclusão e os estudos futuros.

## II. PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM

Para realizar um estudo mais direcionado a algo que pode ser utilizado no dia a dia, como projetos residenciais de segurança, foi desenvolvido primeiramente um modelo em diagrama para criar as etapas do processo, como apresentado na Fig. 1.

Na Fig. 1, a 1ª, 4ª e 5ª etapa são explicadas no artigo “*Digital image processing with data storage for security applications*” [2], já a 6ª é apresentada no artigo “*Face recognition techniques using artificial intelligence for audio-visual animations*” [3]. Nesse atual modelo de estudo, o aprofundamento será feito para a 2ª etapa, e no item III, será tratado a 3ª.

### A. Manipulação de imagem no *Raspberry Pi 3*

Para começar o desenvolvimento utilizando a placa de desenvolvimento *Raspberry Pi 3*, foi necessário a instalação da biblioteca *ffmpeg* [4], que contém vários recursos de vídeo / imagem.

Existem várias formas para compilar essa biblioteca, a utilizada foi a compilação por habilitar ou desabilitar recursos dela, adicionar somente funções especiais para não ter acúmulo desnecessário na memória. Os modelos de *Raspberry*, em geral, demoram para completar seu processo de instalação, mas acaba compensando devido ao seu grande potencial de processamento. Para compilar é necessário gerar o algoritmo abaixo:



Fig. 1. Diagrama apresentando as etapas do sistema.

```

sudo su
mkdir /mnt/RAM
mount -t tmpfs -o size=80M tmpfs /mnt/RAM/
cd /mnt/RAM
wget -c http://ffmpeg.org/releases/ffmpeg-3.4.1.tar.bz2
tar xvjf ffmpeg-3.4.1.tar.bz2 && cd ffmpeg-3.4.1
./configure --help|egrep -v '='|egrep enable|awk
'{print $1}'
|while read line; do echo -n $line" " >params;done
./configure $(cat params)
make
make install

```

No algoritmo foi reservado somente 80M para uso da memória, mas o *kernel* irá gerenciar e expandir o espaço automaticamente. Depois da instalação, a placa já se encontra preparada para codificar as manipulações das imagens.

Como a placa está conectada a uma câmera de segurança, é preciso converter o vídeo em imagem para o *Raspberry* poder entender, processar os dados e não gerar imagens quadriculadas devido à baixa resolução em alguma etapa de captura. A primeira etapa do processo é extrair os frames originais do vídeo utilizando o código abaixo:

```
ffmpeg -i video.mp4 image%d.png
```

Com isso, serão criados frames com o nome '*image*' seguido do seu respectivo número, com o formato *.png* (*Portable Network Graphics*). Existe uma sequência lógica exata para conseguir extrair os frames, como apresentado pela Fig. 2.



Fig. 2. Diagrama apresentando o processo para obtenção de cada frame.



Após essa etapa o áudio gerado na captura é descartado, mas para economia de memória, seria gratificante bloquear qualquer dado guardado de áudio utilizando o código abaixo:

```
ls *.avi|while read line; do ffmpeg -i "$line" -an "new-$line";rm -f "$line";done
```

O interessante do *ffmpeg*, é que permite utilizar quase a totalidade do processador *ARM Cortex-A53* para manipular as conhecidas “super-resolução”, para isso é necessário aplicar o código abaixo:

```
ffmpeg -i imagem.png -s ${x*scale}x${y*scale} -sws_flags newImage.png
```

O parâmetro *-sws\_flags* permiti escolher o melhor algoritmo para gerar e aplicar a super-resolução, como visualizado na Tabela 1.

**TABELA 1**  
ALGORITMOS DE ESCALONAMENTO PARA SUPER-RESOLUÇÃO [5]

Algoritmo	Descrição
<i>lanczos</i>	Redimensionamento por <i>Lanczos</i>
<i>fast_bilinear</i>	Escala <i>Bilinear</i> Rápida
<i>bilinear</i>	Escala <i>Bilinear</i> .
<i>bicubic</i>	Escala <i>Bicubic</i>
<i>experimental</i>	Escala <i>Experimental</i>
<i>neighbor</i>	Redimensionamento por vizinho mais próximo
<i>area</i>	Redimensionamento por área média
<i>bicublin</i>	Componentes <i>Luma / Croma</i>
<i>gauss</i>	Redimensionamento <i>Gaussiano</i>
<i>sinc</i>	Redimensionamento por <i>Sinc</i>
<i>ranhura</i>	Redimensionamento de escolha natural

Será importante limpar da memória os rastros da origem da imagem, para diminuir a quantidade das informações processadas, sendo assim, necessário executar um comando de ação binária sobre a imagem, como visualizado no código abaixo:

```
apt-get install imagemagick
mogrify -strip imagem_original.png
```

Após realizado todos esses passos, a imagem já foi pré-processada pelo microcontrolador e enviada para o servidor *web*.

### III. SISTEMA TÉRMICO

Devido ao fato da placa *Raspberry Pi 3* superaquecer (Fig. 3) durante o processo de manipulação da imagem, além da caixa de acoplamento da câmera ser com pouca ventilação, foi desenvolvido um sistema de controle térmico em *Arduino*, para que ele tenha a função de ler a temperatura daquele momento exato do *Raspberry*, plotar os gráficos em tempo real e dar o comando de diminuir o processamento interno via comunicação serial entre os dois microcontroladores.

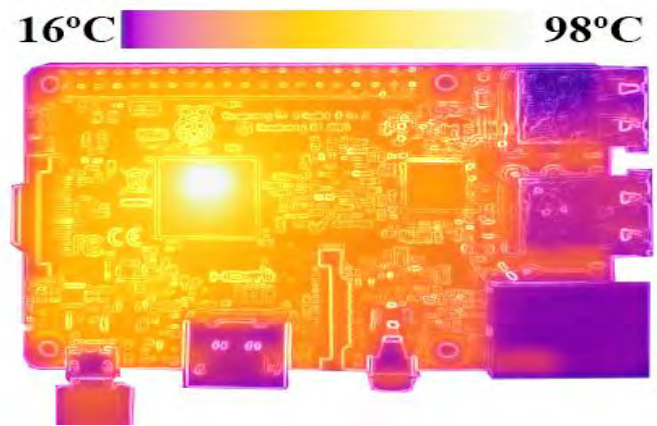


Fig. 3. Visão térmica da placa *Raspberry Pi 3* com superaquecimento (região branca) em seu processador.

Para ser realizado todas essas ações, primeiramente foi criado um algoritmo em *python* que determina o nível do processamento de acordo com a temperatura do núcleo do *ARM Cortex-A53* da placa, que é obtido por um sensor de leitura de temperatura, conhecido como termopar tipo K, acoplado ao *Arduino*. Esse termopar, tem um conversor serial *MAX6675* de resolução 12-bits, que realiza compensação de junção fria, correção de linearidade e detecção de algum defeito no próprio sensor.

O algoritmo teve que ser projetado para limitar a frequência de processamento do *ARM Cortex-A53* para 400 MHz nas temperaturas entre 65°C e 75°C. Abaixo de 65°C, o limite de processamento passa a ser o máximo estipulado por padrão da placa, que é de 1.2 GHz. Acima de 75°C, foi implementado uma segurança extra, que irá suspender a placa até retornar a um dos padrões de temperatura estipulado.

Um modo de acelerar o esfriamento ou manter uma temperatura mais adequada no sistema, é acoplar um *cooler* simples no *Raspberry Pi 3*, como apresentado na Fig. 4. Importante saber que o sensor de temperatura não é totalmente confiável em sua obtenção dos dados, por isso deixar uma margem de erro de -1°C / 1°C e posicionar corretamente o termopar no núcleo.



Fig. 4. *Raspberry Pi 3* com *cooler*.

#### IV. TESTES E RESULTADOS

Os testes foram efetuados em forma progressiva no *Raspberry* para uma melhor obtenção dos resultados. Para se ter uma visão computacional de como o sistema reage as ações em tempo real com o processamento digital de imagem, foi realizado primeiramente a compilação e instalação do *OpenCV* na placa, como visualizado no código abaixo:

```
cd script_instalacao_opencv_raspbi
sudo ./InstalaOpenCV
```

Todos os algoritmos utilizados foram desenvolvidos na linguagem *python* [6], por ser uma linguagem de programação de alto nível, de interpretação e orientada a objetos, facilitando assim, o trabalho na integração com vários sistemas diferentes.

O primeiro teste foi executar um processamento digital de imagem na placa em ambiente aberto e medir sua temperatura, tendo uma visão computacional e gráfica do processo, como visualizado na Fig. 5.

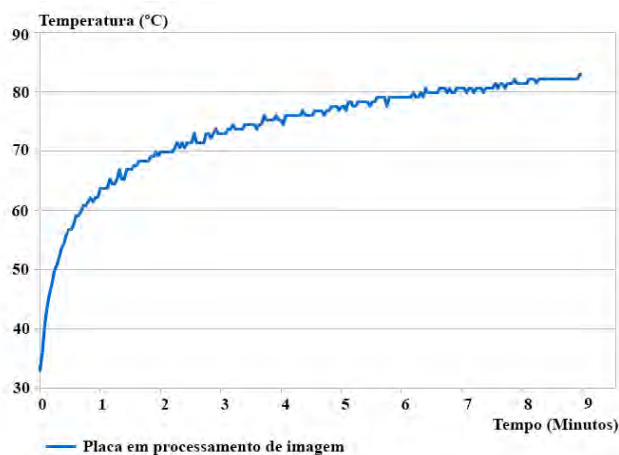


Fig. 5. Gráfico de temperatura do *Raspberry Pi 3* em ambiente aberto executando um processamento digital de imagem.

O segundo teste foi executar o mesmo processamento digital de imagem na placa, mas agora em um ambiente fechado, como visualizado na Fig. 6.

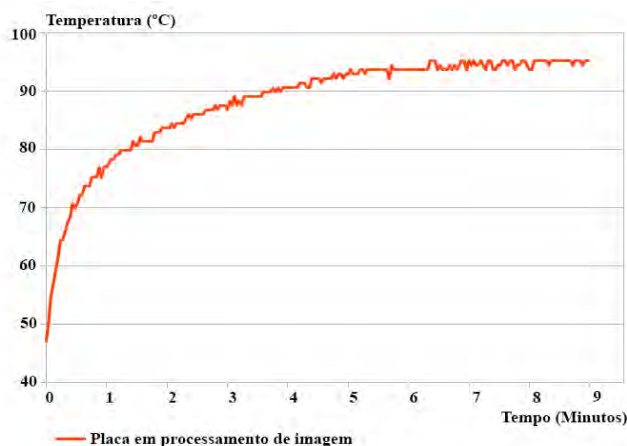


Fig. 6. Gráfico de temperatura do *Raspberry Pi 3* em ambiente fechado executando um processamento digital de imagem.

Tendo agora uma visão mais ampla de como a placa reage ao fazer a manipulação de uma imagem, em ambiente aberto e fechado, o sistema térmico entra em ação para ser testado e provar sua presença no processo como sendo positiva. Assim, o terceiro teste foi inserindo o *Arduino* para dar o comando de diminuir o processamento interno do *Raspberry*, com a placa em ambiente fechado, o gráfico da temperatura é visualizado na Fig. 7.

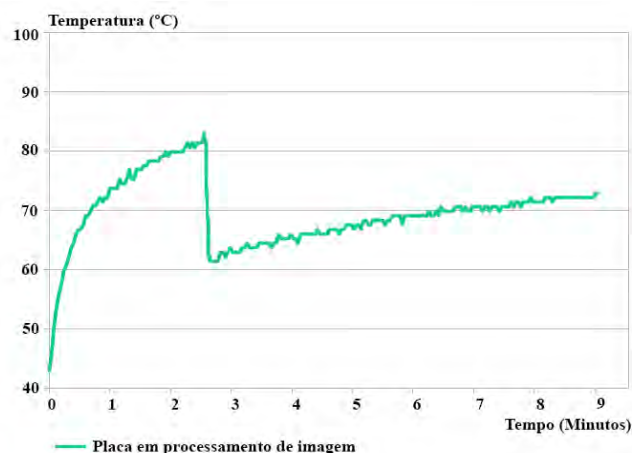


Fig. 7. Gráfico de temperatura do *Raspberry Pi 3* com o comando de diminuir o processamento interno.

Por último, o quarto teste utiliza o *cooler* e o comando de diminuir o processamento interno do *Raspberry*, com a placa em ambiente fechado, mantendo a temperatura sempre abaixo de 60°C, como é visualizado na Fig. 8.

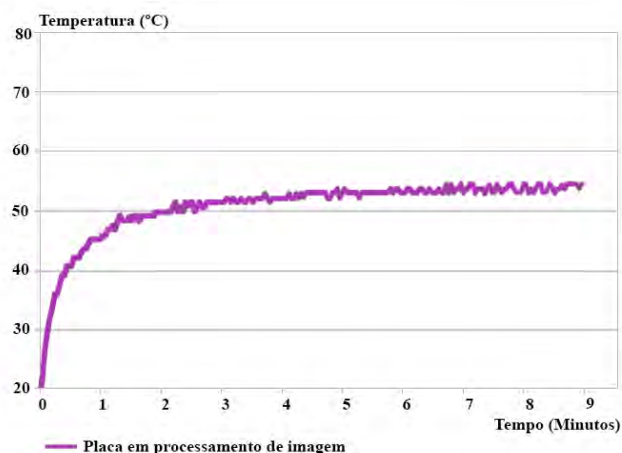


Fig. 8. Gráfico de temperatura do *Raspberry Pi 3* com *cooler* e o comando de diminuir o processamento interno.

#### V. CONCLUSÃO

Esse estudo deixa claro em termos analíticos e com uma visão computacional para o *Raspberry Pi 3* em termos de processamento digital de imagem, com a comparação feita para o aumento da temperatura no processador *ARM Cortex-A53* da placa, que sabendo administrar os níveis de processamento via código, ou utilizando um *cooler* externo, todo o processo pode ser muito eficiente considerando que

esta placa é altamente utilizada nos dias atuais para realizar diversas aplicações. Além disso, trata-se de uma maneira usual, moldado para qualquer usuário de microcontrolador saber implementar.

Para futuros estudos, poderá ser utilizado todo o sistema térmico integrado a placa de desenvolvimento *Raspberry Pi 3*, já que existe internamente um sensor de temperatura, transformando em uma arquitetura mais compacta e com um menor custo.

#### REFERÊNCIAS

- [1] P. Bertoleti, “Enviando temperatura dos núcleos da Raspberry Pi 3 para o ThingSpeak em C”, Embarcados. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/temperatura-dos-nucleos-com-thingspeak/>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2018.
- [2] D. Izario; B. Izario; D. Castro; Y. Iano, “*Digital image processing with data storage for security applications*”, *Brazilian Technology Symposium - BTSym*, Campinas / Brasil, 2017.
- [3] D. Izario; B. Izario; D. Castro; Y. Iano, “*Face recognition techniques using artificial intelligence for audio-visual animations*”, *SET International Journal of Broadcast Engineering - SET IJBE*, São Paulo / Brasil, 2017.
- [4] *ffmpeg*, “*A complete, cross-platform solution to record, convert and stream audio and video*”, *ffmpeg*. Disponível em: <<https://www.ffmpeg.org/>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2018.
- [5] *ffmpeg*, “*FFmpeg Scaler Documentation*”, *ffmpeg*. Disponível em: <<https://ffmpeg.org/ffmpeg-scaler.html>>. Acesso em: 18 de janeiro de 2018.
- [6] Z. A. Shaw, “*Learn Python 3 the Hard Way: A Very Simple Introduction to the Terrifyingly Beautiful World of Computers and Code*”, 1st ed., *Addison-Wesley Professional*, 2011.



**Daniel Rodrigues Ferraz Izario.** Graduado no Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel) em Engenharia da Computação (2017), estudante de mestrado em Engenharia da Computação pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Atualmente é *freelancer* em desenvolvimento e planejamento de sites para lojas, empresas e sites pessoais.



**Yuzo Iano.** Graduação - 1972, mestrado - 1974 e doutorado - 1986 em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Atualmente é Professor Titular MS6 do Departamento de Comunicações da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Unicamp, Editor chefe da *SET International Journal of Broadcast Engineering* e Presidente Geral do *Brazilian Technology Symposium* (BTSym).



**Bruno Rodrigues Ferraz Izario.** Graduado no Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel) em Engenharia Elétrica (2011), mestrado em Engenharia Elétrica na Universidade Presbiteriana Mackenzie (2015) e estudante de doutorado em Telecomunicações na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Trabalha como Sistemas da SAVIS Embraer: Defesa e Segurança.



**Carlos Nazareth Motta Marins.** Doutor em Engenharia Elétrica pela Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (Unicamp) - 2010. Mestre em Telecomunicações, pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel) - 2004. Graduado em Engenharia Elétrica, ênfase em Eletrônica e Telecomunicações (Inatel) - 1994. Técnico de Eletrônica (ETE-FMC) - 1989. Atualmente é Vice-Diretor (Inatel).

# Sistema de alerta para automóveis: acidente, furto e sequestro

Anderson José Costa Sena  
Faculdade Estácio de Belém – Campus IESAM  
anderson.sena@estacio.br

Deuzimar Carvalho de Menezes Junior  
Faculdade Estácio de Belém – Campus IESAM  
juniormenezes80@gmail.com

Gustavo Henrique dos Santos Carvalho  
Faculdade Estácio de Belém – Campus IESAM  
gustavo22carvalho@gmail.com

Maurício Santos da Costa  
Faculdade Estácio de Belém – Campus IESAM  
mauriciosantosdacosta@outlook.com

**Abstract** – The project aims to facilitate the localization of victims of automobile accidents, theft and/or kidnapping. Through this system based on Arduino and equipped with GSM and GPS boards, it is intended to contact authorities by passing crucial information previously captured by sensors, to increase the chances of victims survive.

**Index Terms** – Accident, Arduino, automobile, kidnapping and/or theft.

**Resumo** – O projeto visa facilitar a localização de vítimas de acidentes automobilísticos, roubo e/ou sequestro. Através deste sistema baseado em Arduino e equipado com placas GSM e GPS, pretende-se contatar as autoridades repassando as informações cruciais capturadas previamente por sensores, para assim aumentar as chances de vítimas sobreviverem.

**Palavras chave** – Acidente, Arduino, automóvel, roubo e/ou sequestro.

## I. INTRODUÇÃO

No Brasil e em diversos outros países, a crescente taxa de problemas concernentes à violência, acidentes e insegurança vem aumentando ao longo dos anos, segundo dados do Ministério da Saúde, o Brasil registrou a taxa mais alta de homicídios na série histórica desde 1980 quando esses dados começaram a ser aferidos, no ano de 2017, algo em torno de 59.103 pessoas, uma a cada 9 minutos [1]. Entre os anos de 2016 e 2017 houve um aumento de 2,7%, e num ranking de 100 países, o Brasil ficou em 7º lugar no mapa da violência [2]. A nível mundial pode-se citar os dados da União Europeia, em 2012 por exemplo, 28 mil pessoas morreram em estradas e 1,5 milhão ficaram feridas [2]. Sabe-se também que quanto mais rápido o socorro é prestado, maiores são as chances de sobrevivência, seja qual for o tipo de violência a vítima esteja sofrendo. Sabe-se também que além de acidentes, o crescente número de sequestros e roubos de automóveis tem assolado os tempos contemporâneos, e neste contexto o dispositivo também facilita a localização de vítimas de roubo e sequestro.

Destaca-se também a grande utilidade que o projeto teria, caso fosse adotado no cotidiano por milhões de motoristas, e que sua adoção sem o apoio das autoridades governamentais e da iniciativa privada, remotamente seria possível no Brasil. Na União Europeia (UE), por exemplo, um projeto similar passou

por apreciação do Parlamento Europeu, e por maioria de votos o sistema será implementando obrigatoriamente a partir de abril de 2018, mesmo que aprovação tenha ocorrido ainda ao fim de 2015. Desde então, sua implementação tem sido procrastinada, a demora, no entanto, deve-se a complexidade do projeto que requer inúmeros testes por parte das fabricantes. A UE estima que 2500 mortes todos os anos seriam poupadas, graças a diminuição do tempo de resposta, redução em torno de 50% em áreas rurais e 60% em áreas urbanas [2][3]. Precisa-se olhar para este projeto como uma medida preventiva para com a saúde pública, pois, quanto mais tarde vítimas são atendidas, mais caros se tornam os procedimentos médicos-cirúrgicos, este barateamento de custos é peça chave para a conscientização da sociedade como um todo, e principalmente das instituições governamentais. Sem ser necessário reiterar que além de custos, a possibilidade de salvar vidas é muito maior. Ressalta-se também que quanto maior a conscientização, maior será a adoção, e por consequência a popularização da tecnologia, o que permitiria o barateamento da mesma e um alto nível de abrangência por parte dos motoristas.

Portanto, devido à dificuldade em localizar casos ocorridos em regiões de difícil acesso, desenvolveu-se um dispositivo que facilite a solicitação e prestação de socorro às vítimas. Com a real implementação do projeto no Brasil, acredita-se na diminuição das taxas de mortalidade envolvendo acidentes automobilísticos, ao passo que será oferecida mais uma ferramenta útil para melhorar as operações e serviços dos órgãos de segurança e resgate no socorro às vítimas.

## II. DESENVOLVIMENTO E DEMONSTRAÇÃO DOS RESULTADOS

### A. Funcionamento

O Sistema possui um sensor de impacto que ficará localizado no *airbag*, com a colisão, o sensor ativará o sistema de segurança, que enviará um *SMS* (mensagens de texto) para a Central de monitoramento, local responsável por processar as ocorrências de veículos com o dispositivo instalado. A partir daí o operador do sistema tomará as medidas mais adequadas para cada caso, seja em casos de acidentes ocorridos em áreas mais, ou menos urbanizadas, como por exemplo, comunicar os órgãos de segurança e saúde pública, especificamente a polícia rodoviária, federal ou estadual, corpo de bombeiros, os serviços de urgência e emergência



móvel e/ou as pessoas que a vítima tenha previamente cadastrado, fornecendo todos os dados, como o modelo do carro, placa e a localização do veículo. Porventura, se no local onde a vítima estiver não existir sinal para comunicação com a rede móvel GSM, o que será muito remoto, o sistema ativará a buzina do veículo e/ou o alarme, para assegurar que de alguma forma a vítima seja encontrada, pois o veículo emitirá o alerta sem interrupção ou até que a bateria se esgote. Para o acionamento do sistema antirroubo e/ou sequestro, o dispositivo é dotado de um “botão do pânico”, quando este for pressionado, o sistema será ativado, enviando a localização através de SMS's, informando que a vítima sofreu um roubo e/ou sequestro para a Central.

De lá o operador enviará ao Arduino os comandos a serem executados no carro, tais como, desligar a alimentação do combustível, ligar o alarme, travar as portas. O funcionamento está esquematizado no fluxograma a seguir. (Fig. 1).

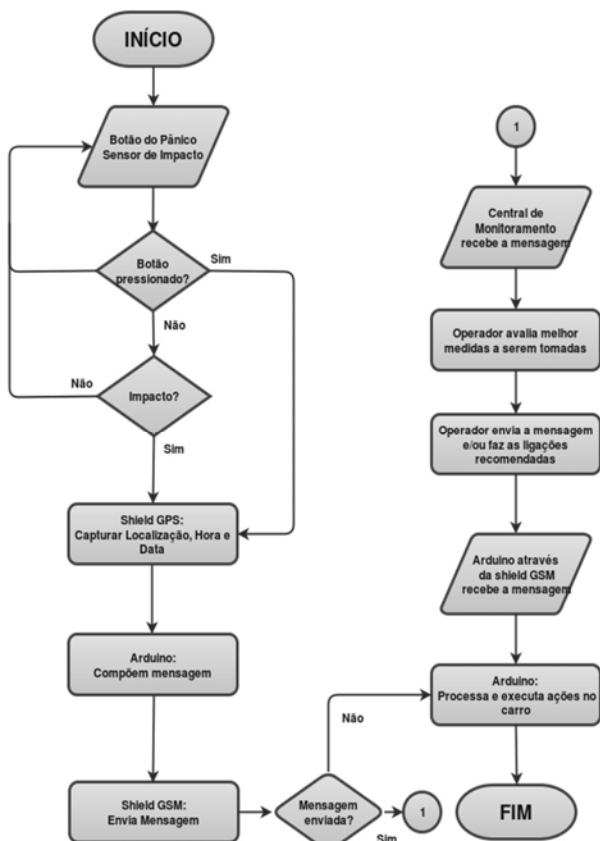


Fig. 1. Fluxograma de funcionamento

## B. Componentes

### 1) Arduino

Plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre e de placa única, projetada com um micro controlador Atmel com suporte de entrada/saída embutido, programado em Wiring, linguagem baseada e C/C++. Neste projeto foi utilizado o Arduino Mega 2560 [3] (Fig. 2).

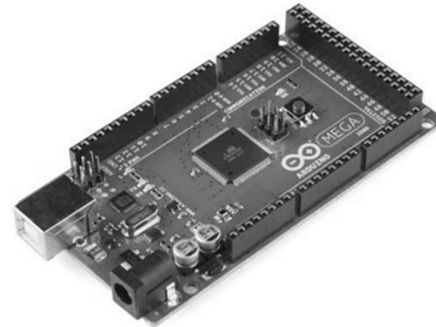


Fig. 2. Arduino Mega 2560

### 2) Shield GSM GPRS ECom SIM900

Este é um Shield GPRS (General Packet Radio Service) (Fig. 3) para Arduino baseado no módulo wireless SIM900 Quad-Band GSM/GPRS. O módulo é capaz de enviar serviços GSM/GPRS como SMS, Voz (ligações), dados via Internet, Fax. Seu controle é feito através de comandos AT [5] [4]. No projeto se utilizou de bibliotecas para facilitar a implementação e análise de erros [6].



Fig. 3. Shield GSM/GPRS

### 3) Shield GPS

Este componente (Fig. 4) além de oferecer a localização do veículo também fornece hora, data entre outras informações por meio do padrão NMEA [7]. Ainda dispõem de um slot de cartão de memória para armazenar dados da própria shield como também de outros sensores se necessário. Para comunicação entre o arduino e a shield foi usada, especificamente, a biblioteca AltSoftSerial [8] e TinyGPS++[9] para codificação dos dados.



Fig. 4. Shield GPS

#### 4) Sensor de Força Resistivo

O sensor (Fig. 5) utilizado, varia sua resistência conforme a pressão aplicada sobre o mesmo.



Fig. 5. Sensor de Força Resistivo

#### C. Interfaces e Banco de Dados

Foi desenvolvido um programa em JAVA, para cadastro dos proprietários e seus veículos (Fig. 6), monitoramento das ocorrências (Fig. 7) e detalhamento da ocorrência (Fig. 8), onde é possível enviar comandos para o veículo (cortar combustível, ligar alarme, trancar portas) e são exibidas as informações do veículo e do cliente.

**Sistema de Monitoramento - PI 2016**

**Cadastro de Cliente**

Identificação no sistema(CPF):  Consultar

**Informações do cliente:**

Nome:  Sobrenome:

R.G.:  C.P.F.:

Dt. Nascimento:  Endereço:

Telefone:  Celular:

**Informações do carro:**

Modelo:  Ano:

Placa:  Cor:

Combustível:

Contatos para situações de emergência:

Número:  Grau de proximidade:

Número:  Grau de proximidade:

Salvar Cancelar

Fig. 6. Cadastro do Cliente e Veículo

**Sistema de Monitoramento - PI 2016**

**Sistema de Monitoramento**

Iniciar Parar

Ocorrência	Placa	Data	Hora	Status
ACIDENTE	AAA-1234	17/11/2016	12:43:00	pendente
ACIDENTE	CCC-0000	17/11/2016	13:25:00	pendente

Fig. 7. Monitoramento de ocorrências

**Sistema de Monitoramento - PI 2016**

**Detalhes da ocorrência**

Ocorrência: ACIDENTE Data: 17/11/2016 Hora: 12:43:00 Mapa: Ruas Satellite Híbrido

**Informações do cliente:**

Nome:  Sobrenome:  Canal:

R.G.:  C.P.F.:

**Informações do carro:**

Modelo:  Placa: AAA-1234

Cor:  Combustível:

Ligar para:  Enviar msg:  Controlar o carro:

Anticorrupção:  Parar combustível:

Polícia Rodoviária:  Trancar portas:

Propriedade:  Enviar:

**Info. Mapa:**

Cid. Est.: Castanhal, Pará

End. A: essa Benjamin Constant, Caicara

End. B: Avenida Máximo Porpino, Centro

End. C: Rua Alameda Capanema, Estrela

**Tempo decorrido:**

12:43:00

12:50:00

13:40:00

Concluir Cancelar

Fig. 8. Detalhes da ocorrência

Na tela de detalhes da ocorrência é exibido um mapa (Fig. 9) com as 3 últimas localizações do veículo da vítima: uma sendo a que gerou a ocorrência e as outras duas são localizações periódicas que o sistema recebe, de modo a ser possível verificar qual a direção que o veículo seguia, principalmente, em casos onde a localização que gerou a ocorrência não foi detectada, então são retornadas as 3 últimas localizações válidas. Para desenhar os mapas é utilizado a Google Static Maps API [11], com a configuração de Pontos de Caminho, que faz a interpolação dos pontos solicitados. Além disso, é recuperado o endereço de cada ponto (Fig. 9), para facilitar a comunicação com as autoridades e equipes de socorro, estes são recuperados pelo método de geocodificação inversa, disponível na Google Maps Geocoding API [12].

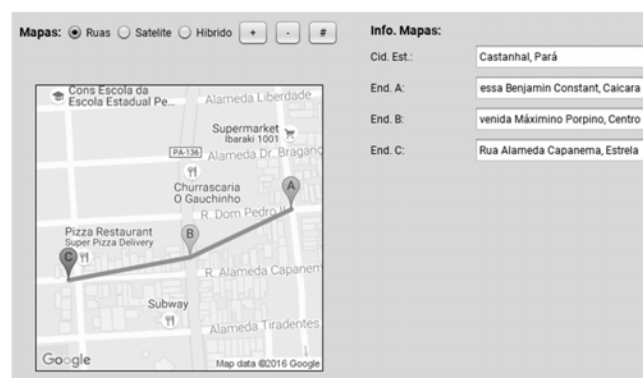


Fig. 9. Mapa e endereços

As informações dos clientes, veículos, localizações, ocorrências ficam salvas em um banco de dados desenvolvido em MySQL, segue abaixo o esquema lógico do banco (Fig. 10).

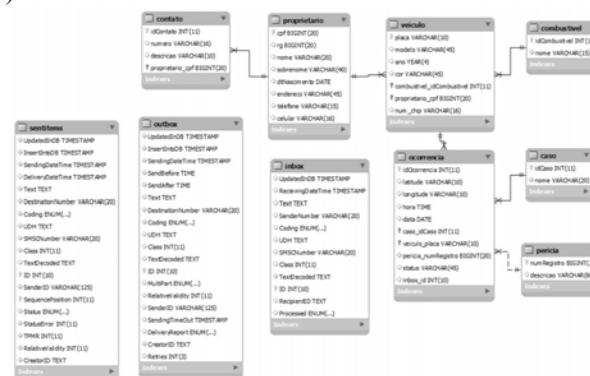


Fig. 10. Esquema do banco



O banco recebe as novas ocorrências via *SMS*, que chegam através de um modem 3G, para a integração entre estes se utilizou o Gammu SMSD [10], um programa *open-source*, que roda em segundo plano, ele verifica periodicamente se as novas mensagens no chip do modem e caso haja as salvas no banco, após a inserção do novo dado é acionado um *trigger* que chama um *stored procedure*, este responsável por adaptar a nova mensagem para os campos da tabela onde ficam armazenadas as ocorrências. Para se enviar comando ao veículo, inicialmente é inserida no banco a mensagem que se deseja enviar, assim como seu destino, então o SMSD vê que há uma mensagem pendente e a enviar.

#### D. Público alvo

Montadoras de automóveis, consumidores diretos e/ou indiretos, órgãos de segurança pública, órgãos de saúde pública de urgência e emergência.

#### E. Observações finais

Ficará a cargo dos órgãos de segurança definir melhor os dados que serão enviados por *SMS*, inicialmente o projeto baseou-se na maioria das exigências do Parlamento Europeu, que exigiu um conjunto mínimo de dados enviados pelo sistema “eCall”, esses dados devem incluir apenas o modo de ativação, a classe do veículo, o tipo de combustível utilizado, a indicação da hora, a posição exata, o sentido de marcha e o número de cintos de segurança apertados [2].

### III. CONCLUSÃO

Com a aderência do projeto espera-se a queda das taxas de mortalidade, já que a mesma está intimamente ligada à demora da prestação de atendimento, proporcionando agilidade no socorro às vítimas nos acidentes de automóveis, trazendo para os órgãos de segurança e prestação de socorro mais uma ferramenta para o melhoramento de seus serviços, facilitando a busca, localização e reunião de dados cruciais, tendo como resultado um salvamento eficaz, e o aumento das chances reais de sobrevivência de um indivíduo.

### REFERÊNCIAS

- [1] Monitor da violência: Brasil registra quase 60 mil pessoas assassinadas em 2017. Disponível em: <https://g1.globo.com/monitor-da-violencia/noticia/brasil-registra-quase-60-mil-pessoas-assassinadas-em-2017.ghtml>. Acesso em: 14 de maio de 2018;
- [2] Mapa da violência 2014: taxa de homicídios é a maior desde 1980. Disponível em <https://oglobo.globo.com/brasil/mapa-da-violencia-2014-taxa-de-homicidios-a-maior-desde-1980-12613765>. Acesso em: 14 de maio de 2018;
- [3] Mapa da violência 2016. Disponível em: [https://www.mapadaviolencia.org.br/pdf2016/Mapa2016\\_armas\\_web.pdf](https://www.mapadaviolencia.org.br/pdf2016/Mapa2016_armas_web.pdf). Acesso em: 14 de maio de 2018;
- [4] Parlamento Europeu aprova sistema "eCall" nos carros para ajudar a salvar vidas. Disponível em: <http://www.europarl.europa.eu/news/pt/press-room/20150424IPR45714/ecall-parlamento-europeu-aprova-sistema-que-ajuda-a-salvar-vidas-nas-estradas>. Acesso em: 14 de maio de 2018;
- [5] eCall: Time saved = lives saved. Disponível em: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/ecall-time-saved-lives-saved>. Acesso em: 14 de maio de 2018;
- [6] Arduino - ArduinoBoardMega2560. Disponível em: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3> Acesso em: 14 de maio de 2018;
- [7] Sistema Microcontrolado de Alarme Remoto para Residências com Modem GSM/GPRS (Vieira Mourão Mourão, Eng. de Computação em Revista, ed. 2010);
- [8] SIM900\_AT Command Manual\_V1.03. Disponível em: [http://elecfreaks.com/store/download/datasheet/rf/SIM900/SIM900\\_AT%20Command%20Manual\\_V1.03.pdf](http://elecfreaks.com/store/download/datasheet/rf/SIM900/SIM900_AT%20Command%20Manual_V1.03.pdf). Acesso em: 14 de maio de 2018.
- [9] Open Electronics - GSM GPS shield for Arduino. Disponível em: <https://www.open-electronics.org/gsm-gps-shield-for-arduino>. Acesso em: 14 de maio de 2018;
- [10] NMEA data. Disponível em: <http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm>. Acesso em: 14 de maio de 2018;
- [11] AltSoftSerialLibrary. Disponível em: [https://www.pjrc.com/teensy/td\\_libs\\_AltSoftSerial.html](https://www.pjrc.com/teensy/td_libs_AltSoftSerial.html). Acesso em: 10 de abril de 2016;
- [12] Arduiniana - TinyGPS++. Disponível em: <http://arduiniana.org/libraries/tinygpsplus/>. Acesso em: 25 de março de 2016;
- [13] Gammu SMSD. Disponível em: <https://wammu.eu/smsd/>. Acesso em: 5 de março de 2016;
- [14] Guia do desenvolvedor da Google StaticMaps API. Disponível em: <https://developers.google.com/maps/documentation/static-maps/intro?hl=pt-br>. Acesso em: 14 de maio de 2018;
- [15] A Google Maps Geocoding API. Disponível em: <https://developers.google.com/maps/documentation/geocoding/intro?hl=pt-br>. Acesso em: 14 de maio de 2018;

# Validação de experiência indoor para redes 5G através de simulações utilizando o software Winprop

Professor Dr. Arismar Cerqueira Sodré Júnior e Maria Aline Magalhães Julidori  
Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL

**Resumo** - O propósito do artigo é validar, através de simulações computacionais utilizando o software Winprop, uma experiência de propagação indoor feita no laboratório WOCA (Wireless and Optical Convergent Access) no Instituto Nacional de Telecomunicações –INATEL.

**Palavras-chaves** - Propagação Indoor, Simulação, WinProp.

## I. INTRODUÇÃO

Este artigo apresenta a validação, através de simulações computacionais, de um experimento de propagação indoor de redes 5G feito no laboratório WOCA (Wireless and Optical Convergent Access) no INATEL utilizando o software WinProp. A experiência consiste em analisar experimentalmente ambientes com propagação indoor a perda de percurso e o coeficiente de propagação em 28 e 38GHz, que são faixas de frequências consideradas potenciais para redes 5G. O artigo está dividido em 5 seções.

### A. Atenuação dos obstáculos

O primeiro passo foi medir as atenuações dos obstáculos presentes na experiência, que é um parâmetro exigido para maior precisão na simulação, através de antenas cornetas. Para isso, utilizou-se o analisador de espectro do aparelho FieldFox nas frequências de 28 e 38 GHz, como mostra a figura 1.

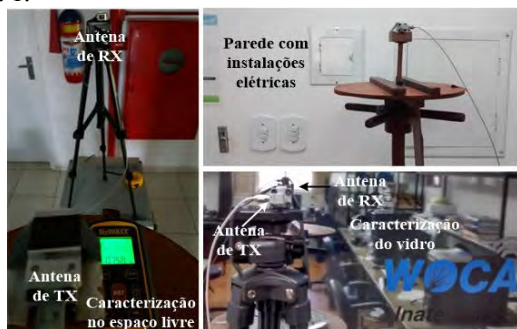


Figura 1 – Medidas das atenuações dos obstáculos em 28GHz e 38GHz.

Feita a caracterização dos cabos, foi realizada uma medida da atenuação no espaço livre e depois a atenuação com os obstáculos. Assim, através da diferença das potências recebidas foi possível calcular as atenuações dos obstáculos. Os cálculos estão contidos na tabela 1.

Atenuação no espaço livre calculada:

$$A_T = 32,44 + 20\log(f) + 20\log(d)$$

$$A_T = 32,44 + 20\log(28.000) + 20\log(0,75 \times 10^{-3})$$

$$A_T = -58,88 \text{ [dBm]}$$

Sendo:

f – frequência em MHz;

d – distância entre as antenas (transmissora e receptora) em km.

Atenuação do espaço livre medida no aparelho FieldFox:

$$A_T = -50,57 \text{ [dBm]}$$

Obstáculo	Potência medida [dBm] ( $P_M$ )	Atenuação [dB] = $P_M - A_T$ ( $A_T = -50,57$ [dBm])
Porta de Vidro	-53,13	2,56
Parede de tijolos com instalações elétricas (espessura = 15cm)	-85,5	34,93
Parede de tijolos sem instalações elétricas (espessura = 15cm)	-73,01	22,44
Paredes de gesso (espessura = 12cm)	-62,13	11,56
Paredes de drywall (espessura = 7cm)	-52,23	1,66

Tabela 1 – Cálculo das atenuações.

### B. Construção da base de dados através do WallMan

O software WallMan foi utilizado para construção da base de dados. Nele, foi construído o ambiente utilizado na experiência [segundo andar do prédio 2 do INATEL (Instituto Nacional de Telecomunicações – Avenida João de Camargo, 510)], como mostram as figuras 2 e 3.

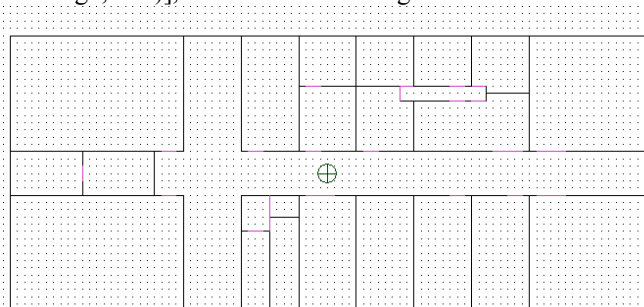


Figura 2 – Segundo andar do prédio 2 do INATEL construído no software WallMan em 2D

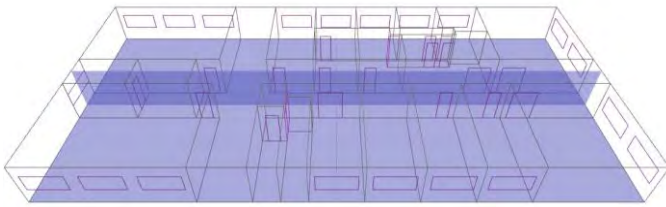


Figura 3 – Segundo andar do prédio 2 do INATEL construído no software WallMan em 3D

### C. Definição do padrão de irradiação através do software AMan

Após a construção da base de dados, os padrões de irradiação (horizontal e vertical) das antenas utilizadas foram setados no software AMan, apresentados na figura 4 e 5.

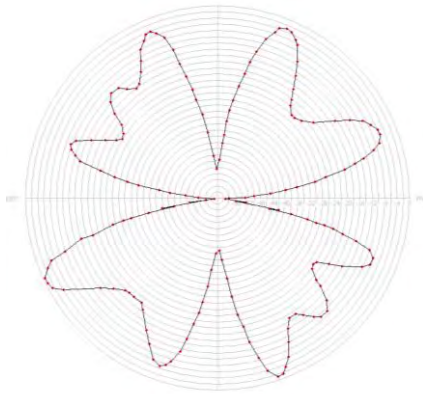


Figura 4 – Diagrama de Irradiação (Padrão Horizontal)

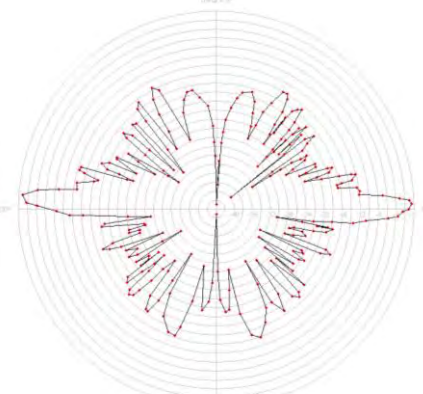


Figura 5 – Diagrama de Irradiação (Padrão Vertical)

### D. Obtenção do diagrama de calor através do software ProMan

Obtenção do diagrama de calor através do software ProMan

No software de propagação (ProMan) foi escolhido cenário Indoor e a base de dados construída no software WallMan, como mostra a figura 6.

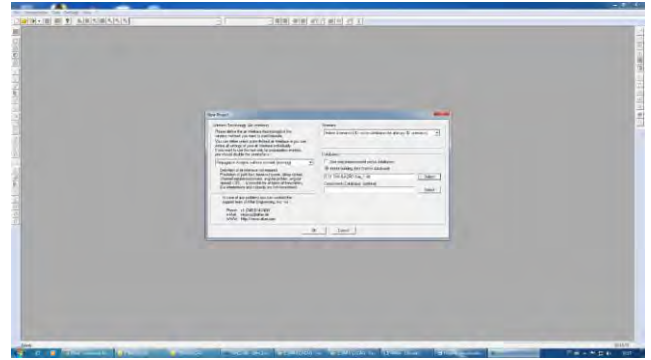


Figura 6 – Cenário escolhido: Indoor. Base de dados: Construída no WallMan.

O modelo de propagação utilizado foi o Semi-empírico: Caminho dominante, definido pela equação 1.

$$L = 20 \log \left( \frac{4\pi}{\lambda} \right) + 10\gamma \log(l) + \sum_{j=1}^n f(\varphi, i) + \sum_{j=1}^m t_j - \Omega$$

Equação 1 – Perda por percurso do modelo semi-empírico.

Sendo,

$\lambda$  → comprimento de onda;

$\gamma$  → coeficiente de propagação;

$l$  → distância entre transmissor (Tx) e receptor (Rx);

$f(\varphi, i)$  → perda por difração;

$t_j$  → perda por todas as penetrações;

$\Omega$  → determinação empírica da onda guiada.

A simulação para frequência em 28GHz com a antena localizada no corredor do prédio obteve coeficiente de propagação simulado bem próximo ao medido, como mostra a figura 7.

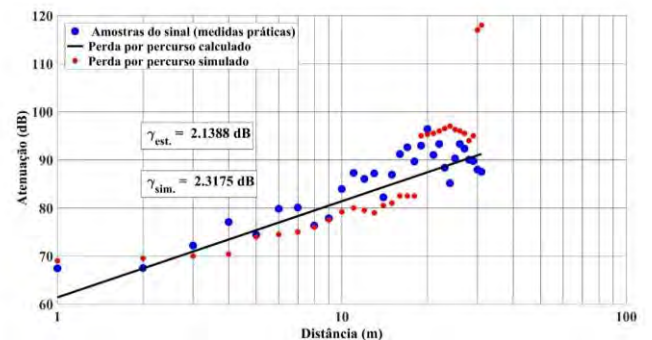


Figura 7 – Comparação entre coeficiente de propagação simulado e medido.

A figura 8 contém o diagrama de calor da simulação final.

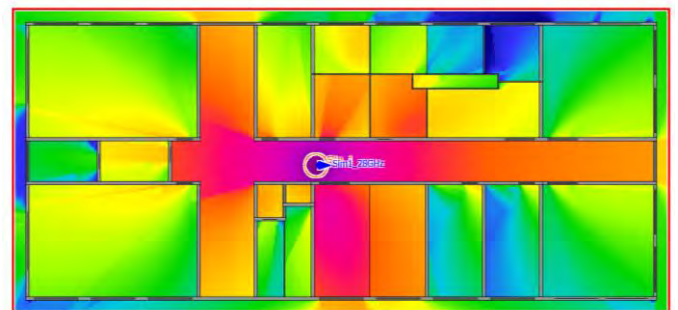


Figura 8 – Diagrama de Calor em 28GHz (antena localizada no corredor).

## II. CONCLUSÃO

Através da comparação entre os coeficientes de propagação, feita na figura 7, foi possível perceber que há coerência entre a experiência feita em laboratório e a simulação, já que ambas apresentaram resultados próximos. Acredita-se que repetir a experiência com maior precisão

possa acarretar em resultados ainda melhores e mais semelhantes entre si.

### III. PRÓXIMOS PASSOS

Os próximos passos são expandir a simulação para o Campus todo do INATEL e realizá-la em 38GHz.

### REFERÊNCIAS

- [1] Anderson Fagiani e Arismar Cerqueira Sodré Júnior, “*Caracterização da Perda de Percuro Indoor de Redes 5G em Ondas Milimétricas*”, SBrT, 2017.
- [2] Anderson Fagiani, Hugo Rodrigues Dias Filgueiras, Igor Feliciano da Costa, Daniel Andrade Nunes e Arismar Cerqueira Sodré Junior, “*Medidas de Propagação em Canais de Comunicação sem Fio Indoor em 28 GHz*”.

# Bisturi Elétrico e Interferência Eletromagnética

Samuel José do Couto

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
samuelcouto@geb.inatel.br

Rani de Souza Alves

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
rani@inatel.br

Taíssa Fernandes Carvalho

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
taissafernandes@geb.inatel.br

Carlos Nazareth Motta Marins

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
carlosn@inatel.br

**Abstract** — This paper addresses the basic concepts of electrosurgery and its main element is the electric scalpel.

The main features of electric scalpels are described along the work, highlighting the types of waveforms used to cause the different ways of interacting with the tissue, taking care of surgical needs. The basic workings of electric scalpels of the monopolar and bipolar type are presented. The work defines interference and electromagnetic compatibility, highlighting the care in the design, construction and use of the electric scalpel for complex hospital environments that use vital equipment for patients in care.

**Keywords** — Electrosurgery, Electrical scalpel, Eletromagnetic interference

**Resumo** — Este trabalho aborda os conceitos básicos das eletrocirurgias e do seu principal elemento que é o bisturi elétrico. São descritas ao longo do trabalho as principais características dos bisturis elétricos ressaltando os tipos de formas de ondas utilizadas para causar as variadas formas de interação com o tecido, atendendo as necessidades cirúrgicas. São apresentados os funcionamentos básicos dos bisturis elétricos do tipo monopolar e do bipolar. O trabalho define interferência e compatibilidade eletromagnética, ressaltando os cuidados no projeto, construção e utilização do bisturi elétrico para ambientes hospitalares complexos que utilizam equipamentos vitais para os pacientes em atendimento.

**Palavras chave** — Eletrocirurgia, Bisturi elétrico, Interferência eletromagnética.

## I. INTRODUÇÃO

A eletrocirurgia é o processo de destruição de tecidos e coagulação de vasos sanguíneos através da eletricidade [1]-[4]. A corrente elétrica, variando entre 200kHz e 3,3MHz, em contato com o tecido humano faz com que os íons intracelulares colidam entre si e contra as organelas presentes nas células, produzindo calor.

Os estímulos musculares e nervosos cessam em cerca de 100kHz e então a eletrocirurgia pode ser iniciada com segurança em frequências a partir de 100kHz. Entretanto, para garantir que a energia seja suficiente para ultrapassar a mínima estimulação muscular e evitar a eletrocussão, os geradores eletrocirúrgicos utilizam frequências mais elevadas acima de 200 kHz [2].

A unidade eletrocirúrgica portátil é conhecida como bisturi elétrico, equipamento utilizado para complementar e/ou

substituir o uso dos bisturis convencionais durante procedimentos cirúrgicos.

Estudos mostram que a utilização do bisturi elétrico oferece inúmeras vantagens sobre os convencionais, como corte e coagulação simultâneos, e hemostasia (ausência de hemorragia), facilitando a visualização do operador e contribuindo para a redução do tempo cirúrgico [3]-[8].

## II. CARACTERÍSTICAS DO BISTURI ELÉTRICO

Os blocos gerais de um bisturi elétrico são encontrados em todos os modelos existentes, independente do fabricante. São eles: eletrodo ativo, eletrodo dispersivo (eletrodo passivo ou placa neutra), fonte geradora de energia, cabos e pedais [5].

Os eletrodos ativo e dispersivo são responsáveis pela distribuição e captação de corrente no paciente, respectivamente.

A fonte geradora de energia é responsável pela geração de corrente elétrica de alta frequência. Junto à fonte geradora, existe o amplificador de potência, que é responsável por manter estável a intensidade da corrente, que pode oscilar devido a diferentes impedâncias encontradas nos tecidos do organismo. E ainda o controle de circuito, que faz a seleção dos parâmetros relacionados à corrente e controla a alimentação de todo o sistema.

O controle de forma de onda define qual será o formato de onda das correntes de alta frequência aplicado e, consequentemente, os efeitos causados no paciente, podendo ser: corte, ou coagulação [2]-[4].

As ondas das correntes de alta frequência são senoidais e podem ser divididas em três tipos: senoides puras, senoides intermitentes ou amortecidas e senoides mistas. Na figura 1, tem-se a ilustração das formas de onda e dos efeitos gerados.

As correntes puramente senoidais são as que realizam o efeito de corte. Neste caso, a temperatura dos tecidos se eleva rapidamente causando explosão das células [2][4]. A potência nesta configuração deve variar entre 10W e 300W [6][7].

As correntes destinadas ao efeito de coagulação, são formadas por intercalação de ondas senoidais [2][3][8]. Em síntese, são constituídas por curtos pacotes de ondas senoidais intercalados por pausas elétricas que causam aumento gradual da temperatura das células, provocando a evaporação de seus fluidos e, por consequência, a retração dos tecidos [4]. É uma forma de onda pulsátil, em que a onda senoidal compreende a

um quinto ou um décimo da onda total. Deve-se ressaltar que existem duas técnicas de coagulação, sendo a primeira, coagulação por contato e a segunda por fulguração.

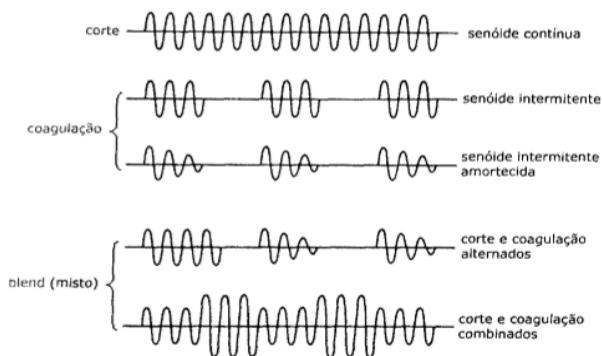


Fig. 1. Tipos de ondas usadas em eletrocirurgia e os efeitos causados pela interação com o tecido [7].

As correntes mistas são compostas por ondas senoidais intercaladas por curtos períodos de pausa [3]. As senoides podem atingir valores maiores comparados ao modo corte, mas intervalos menores que no modo coagulação [2][4]. Nesse caso ocorre a combinação dos efeitos de corte e coagulação [3].

Para todas as formas de onda e os efeitos no tecido biológico, existem dois tipos de bisturis elétricos, o monopolar e o bipolar. O sistema monopolar, recebe esse nome devido ao paciente receber corrente elétrica através do eletrodo ativo (caneta). A corrente sai do gerador de energia através da caneta e retorna pelo eletrodo neutro (placa de dispersão), fechando o circuito, como apresentado na figura 2 [4][9].

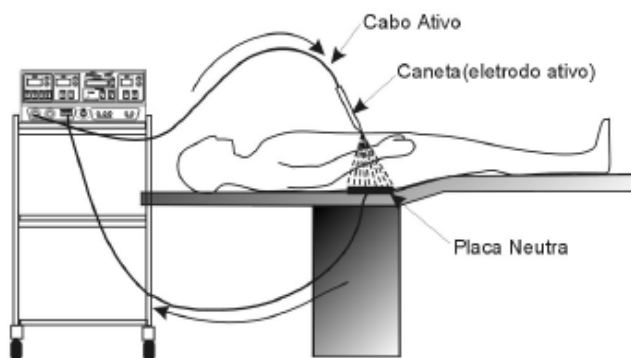


Fig. 2. Exemplo de bisturi elétrico monopolar, com a energia sendo entregue ao corpo do paciente pelo eletrodo ativo e sendo captada para o aterramento por meio da placa neutra. Adaptado de [9].

No bisturi monopolar, tem-se um sistema auxiliar de proteção que consiste em um monitor do eletrodo de retorno (do inglês, *Return Electrode Monitoring* – REM). O REM foi desenvolvido para proteger os pacientes de queimaduras causadas pelo contato inadequado com o eletrodo de retorno. Esse sistema é responsável por medir a impedância entre o paciente e o eletrodo neutro, interrompendo o funcionamento do equipamento em caso de detecção de altos valores de impedância e acionando um alarme em caso de falhas [2][7][9].

O sistema bipolar é constituído por dois eletrodos, separados por uma distância de 1 a 3 mm, funcionando como eletrodo ativo e eletrodo neutro. Sem a necessidade de uma placa de

dispersão, como no tipo monopolar, o fluxo da corrente elétrica é limitado a uma pequena quantidade de tecido vivo, evitando o risco de queimaduras decorrentes de problemas com a placa [3].

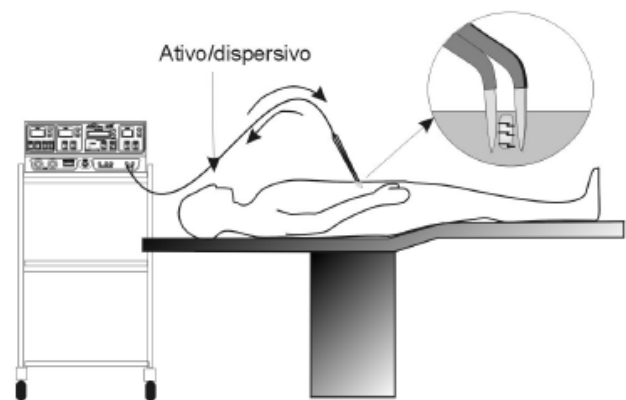


Fig. 3. Exemplo de sistema bipolar do bisturi elétrico, pelo qual a corrente não atravessa o paciente. Adaptado de [9].

Independentemente do tipo de sistema de funcionamento do bisturi elétrico, seja monopolar ou bipolar, assim como todo equipamento eletroeletrônico, quando ligado, gera campo eletromagnético, que pode interferir em seu próprio funcionamento ou ainda em demais equipamentos ao seu redor. Esse fenômeno é conhecido como interferência eletromagnética e vem sendo objeto de estudos e atuando na criação de regulamentos e normas [8][10][11][12].

### III. INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA

#### A. Definições e conceitos gerais

De acordo com a Norma ABNT NBR IEC 60601-1-2: 2013, interferência eletromagnética é definida como: uma degradação do desempenho de um equipamento, de um canal de transmissão ou sistema, devido a um distúrbio eletromagnético [10].

A interferência eletromagnética pode ser entendida de dois modos: interferências conduzidas, quando são transmitidas pela rede elétrica a qual o equipamento se encontra alimentado e interferências radiadas, as quais são decorrentes de um circuito elétrico e são transmitidas como ondas eletromagnéticas. Esses dois conceitos devem ser entendidos como inter-relacionados, uma vez que uma conduzida pode se tornar uma radiada e vice-versa [12].

A capacidade de um equipamento ou sistema funcionar de modo satisfatório sem causar interferência a outros equipamentos e a si próprio, bem como a habilidade de ser imune às emissões de outros equipamentos é definida como compatibilidade eletromagnética [10]-[13].

#### B. Interferências eletromagnéticas no ambiente hospitalar

Em um ambiente hospitalar, encontram-se instalados diversos equipamentos eletroeletrônicos emissores de energia eletromagnética. Como definido conceitualmente, um ambiente eletromagnético dentro de um hospital é composto não só por



tais aparelhos, como também pela própria rede de energia elétrica e até mesmo o ambiente externo.

A origem de diversos problemas de interferência nos equipamentos deve-se principalmente à compatibilidade eletromagnética com o sistema de energia elétrica (interferência conduzida).

Os efeitos causados pela interferência nos ambientes hospitalares vão de níveis quase imperceptíveis, à ocorrência de óbito. Em um monitor de vídeo, podem causar pequenos ruídos ou chuviscos, porém em ventiladores pulmonares ou bombas de infusão, que são aparelhos de suporte à vida, um mal funcionamento pode ocasionar a morte do paciente [13].

No ambiente hospitalar, a enorme quantidade de equipamentos eletrônicos e a proximidade com que estes trabalham durante os procedimentos clínicos são fatores que contribuem para um aumento significativo da intensidade de campo eletromagnético [13]-[17].

Os ambientes hospitalares que mais apresentam essas características de número de equipamentos e proximidade e, conseqüentemente, interferências eletromagnéticas são as unidades de terapia intensiva e os centros cirúrgicos. Sendo assim, são os locais onde se deve ter o maior cuidado com o projeto de instalação elétrica, a metodologia de utilização dos equipamentos eletromédicos e com a observação e registro das ocorrências causadas por mau funcionamento dos equipamentos [13].

Outrossim, equipamentos cirúrgicos de alta frequência, como o bisturi elétrico, são umas das principais fontes causadoras de interferência eletromagnética no ambiente hospitalar [8].

### C. Tipos de emissões geradas pelo bisturi elétrico

No caso de emissão por radiação, o circuito gerado pela passagem da corrente de alta frequência no organismo do paciente gera os campos elétricos e magnéticos que podem acoplar aos cabos presentes na sala de cirurgia. Segundo Valente Junior, embora o bisturi elétrico opere com uma frequência base, ao formar o arco elétrico pertinente ao seu funcionamento, ela acaba emitindo energia que atinge diversas faixas de frequência (teoricamente infinitas) e, dessa forma, altera consideravelmente o comportamento eletromagnético do ambiente [15].

No caso do campo elétrico, o acoplamento pode ocorrer nos acessórios utilizados na cirurgia e em outros acessórios presentes no local se estes se encontrarem próximos. A corrente de alta frequência, quando está sendo aplicada ao paciente, imprime uma tensão no paciente que pode acoplar-se a outros equipamentos. Esse acoplamento pode ocorrer de forma direta ou capacitiva.

O acoplamento direto ocorre quando o usuário acidentalmente aciona o gerador de energia enquanto o eletrodo ativo está próximo de outro instrumento metálico. Este instrumento metálico será energizado e esta energia procurará um novo caminho para completar o circuito até o eletrodo de retorno, existindo um potencial risco de dano ao paciente [2]. Ou seja, na forma direta a tensão acopla-se nas entradas de outros dispositivos do centro cirúrgico, tais como os que medem as tensões no paciente, por exemplo, eletrocardiógrafos, eletromiografos e eletroencefalografos.

Quando cabos ou sensores de um equipamento estão próximos ao paciente, porém sem contato direto, ocorre o acoplamento capacitivo. Pode ainda ocorrer uma combinação dos dois tipos de acoplamento.

### D. Interferência eletromagnética causada por bisturi elétrico

No estudo de Nelson e Ji [18] foram medidos os campos elétricos provenientes de equipamentos de bisturis elétricos nos 3 modos de operação: corte, coagulação e misto. Os resultados encontrados por esses autores indicaram que no modo corte o campo elétrico gerado foi mais intenso que nos demais modos. Os autores concluíram que este modo de operação é o que mais contribui para as interferências eletromagnéticas radiadas em um ambiente cirúrgico.

No estudo de Zevzikovas, os resultados obtidos também confirmaram a existência de interferência eletromagnética em equipamentos eletromédicos, que podem significar aumento de risco para a condição do paciente [13].

Diante do exposto, certos cuidados devem ser tomados, uma vez que qualquer alteração em equipamentos ou instalação elétrica pode desestabilizar o ambiente eletromagnético e, no caso do ambiente hospitalar, especialmente, o centro cirúrgico, pode-se colocar em risco a vida do paciente.

Além disso, os estudos mostram que a interferência eletromagnética ocorre em tecnologias obsoletas ou modernas, em equipamentos sofisticados ou simples, sem ou com certificação de compatibilidade eletromagnética (com menor acometimento nesses últimos) [13][14][18].

Entretanto, a administração deste problema é possível, partindo da investigação de suas causas e conseqüências, bem como, com a implantação de uma política de gerenciamento de risco que leve em consideração o ambiente eletromagnético e suas interferências. Outro ponto a ser observado é em relação à instalação elétrica do local, que deve ser projetada de forma a minimizar problemas de acoplamento [13].

Como solução para os efeitos indesejáveis das interferências eletromagnéticas conduzidas por bisturis, devem ser adotadas medidas de controle de fuga de radiofrequência e da emissão de energias por parte das unidades eletrocirúrgicas, além do aumento do grau de susceptibilidade dos equipamentos de monitorização às correntes de radiofrequência geradas por essas unidades e o seguimento das normas específicas [10][11][13][17]. Ou seja, os desenvolvedores de equipamentos eletromédicos devem se basear nas normas referentes a estes problemas, construindo equipamentos com isolamento, blindagem e aterramento [13].

## IV. CONCLUSÕES

As interferências eletromagnéticas são fatores presentes nos ambientes hospitalares, principalmente, nos centros cirúrgicos devido ao uso de bisturis elétricos. Levando-se em consideração aos efeitos nocivos que podem ser causados por este fator, esses ambientes mais susceptíveis merecem um maior cuidado na investigação e nas ações de combate, como a projeção de infraestrutura adequada no que diz respeito à instalação elétrica e o posicionamento dos equipamentos e a aquisição de equipamentos certificados.

## REFERÊNCIAS

- [1] HOLMES, William D, MD; ELSTON, Dirk M, MD. Electrosurgery (on-line). Disponível na Internet. Url: < <http://emedicine.medscape.com/article/1997619-overview#showall> >. Acessado em: 10 de abril de 2016.
- [2] Principles of Electrosurgery. Covidien, 2008.
- [3] RIBEIRO, G. H. F. P. Utilização do bisturi harmônico em mastectomias radicas para câncer de mama com comparação com o bisturi elétrico convencional. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Faculdade de Medicina, 2009.
- [4] GRANDE, Karin Cristine. Análise da energia utilizada por bisturi elétrico na ablação de tecido orgânico (Dissertação de Mestrado em Engenharia Biomédica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba – PR, 2014.
- [5] Brito, 2006 apud CABRAL, L. A. L. Avaliação de acidentes com bisturi elétrico no centro cirúrgico de um estabelecimento assistencial de saúde pública no município de Fortaleza (Monografia de Graduação). Escola de saúde pública do Ceará. Ceará, Fortaleza, 2008.
- [6] TRINDADE, Manoel Roberto Maciel; GRAZZIOTIN, Rodrigo Ughini; GRAZZIOTIN, Rossano Ughini. Eletrocirurgia: sistemas mono e bipolar em cirurgia videolaparoscópica. Acta Cir. Bras. [on-line]. 1998, vol.13, n.3, pp.-. ISSN 0102-8650. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-86501998000300010>.
- [7] CALIL, Saide Jorge. Equipamentos médico-hospitalares e o gerenciamento de manutenção: capacitação a distância. Ministério da Saúde. Secretaria de Gestão de Investimentos em Saúde Pública. Projeto REFORSUS. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2002.
- [8] Vantagens, desvantagens e indicações do eletrobisturi (on-line). Outubro de 2009. Disponível na Internet. Url: < <http://www.oocities.org/hotsprings/villa/2181/Eletrobistuript.htm> >. Acessado em 05 de julho de 2016.
- [9] EMAI. Manual do usuário – Bisturi eletrônico Emai modelo BP-400 digital. Mauro Tonucci. São Paulo: Transmai Equipamentos Médicos Hospitalares Ltda. 2003.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR IEC 60601-2-2:2013: Equipamento eletromédico, Parte 2-2: Requisitos particulares para a segurança básica e desempenho essencial de equipamentos cirúrgicos de alta frequência e acessórios cirúrgicos de alta frequência. Rio de Janeiro, 2013.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR IEC 60601-1-2:2010 Versão Corrigida:2013: Equipamento Eletromédico, parte 1-2: Requisitos gerais para segurança básica e desempenho essencial - Norma colateral: Compatibilidade eletromagnética - Requisitos e ensaio. Rio de Janeiro, 2013.
- [12] DE MORAES, Fábio Brignol. Avaliação das emissões conduzidas e radiadas geradas por unidade eletrocirúrgica e sistema de iluminação com lâmpadas fluorescente em equipamentos médicos. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba – PR, 2013.
- [13] ZEVZIKOVAS, Marcos. Efeitos da interferência eletromagnética conduzida em equipamentos eletromédicos no ambiente hospitalar. 2004. 0 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2004.
- [14] VALENTE JUNIOR, Wilson. Avaliação do ambiente eletromagnético em estabelecimentos assistenciais de saúde. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC – 2006.
- [15] DAFINESEU, Vlad. DAVID, Valeriu. TUTUIANU, Alexandru. Electromagnetic emissions due to electrosurgery. Internacional Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering. [on-line]. 2012, (EPE 2012). p. 25-27.
- [16] HERMINI, Alexandre Henrique. Metodologia para avaliação da interferência eletromagnética em equipamentos eletromédicos de apoio a procedimentos cirúrgicos. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP – 1999.
- [17] NELSON, Robert; JI, Hualiang. Electric field strengths created by electrosurgical units. IEEE International Symposium on Compatibility in the Loop, Chicago, IL. p. 366-370, 1994.
- [18] MAGNUS, Elio Freitas. Desenvolvimento de uma ferramenta para ensaios de EMI conduzida de baixo custo. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS – 2001.

# Traceability and Control in Biomedical Devices

Wesley Silva Magalhães  
Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel  
wesleyem@gea.inatel.br

Francisco Eduardo de Carvalho Costa  
Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel  
costafec@inatel.br

**Abstract—** The Traceability and Control project seeks practicality in the hospital environment seeking greater efficiency and loss-reducing time to find equipment that are used in fun areas of the institution.

**Resumo—** O projeto Traceability and Control busca a praticidade no ambiente hospitalar buscando uma maior eficiência e a diminuição de perda tempo para encontrar equipamentos que são utilizados em diversão áreas da instituição e até mesmo evitando roubos de equipamentos.

**Palavras chave—**Rastreabilidade e controle de equipamentos

## I. INTRODUÇÃO

A tecnologia de Identificação por Rádio Frequência (RFID) vem se tornando cada vez mais presente na vida das pessoas, como por exemplo identificação de pessoas por pulseiras com TAGs implantadas, também é utilizado em bibliotecas para segurança dos livros. [1]

Atualmente hospitais buscam credenciações por meio de selos de qualidade, e o primeiro selo aborda a segurança do paciente, o qual a rastreabilidade de equipamentos o controle de manutenção preventiva e corretiva é de extrema importância na efetividade do processo. [2].

Esse projeto visa reduzir recursos financeiros através de extravios, perdas ou roubos de materiais, equipamentos e enxoval cirúrgico. Com o este projeto será possível otimizando e melhorando o processo de controle e rastreabilidade, uma vez que um Software será interligado em um banco de dados permitindo localizar os matérias no interior da instituição mais rapidamente, sendo assim dispensando o uso de planilhas preenchidas manualmente.

## II. DESENVOLVIMENTO

### A. Desenvolvimento

O projeto T&C tem como objetivo apresentar uma melhoria no processo de rastreabilidade de equipamentos hospitalares como: monitores multiparamétricos, bombas de infusão (BIC), ventiladores mecânicos, bombas de seringas, máquinas de hemodiálise, e demais equipamentos utilizados na Instituição.

Suas principais características são a otimização do tempo hora/homem de buscar o equipamento no interior da Instituição, dificultando roubos pois em cada saída terá um leitor para identificar as TAGs implantadas no equipamento

para identificar se o local que o equipamento está é permitido se não for o sinal de alerta identifica para o sistema de controle.

Cada equipamento terá uma TAG RFID, um Arduino e um leitor de RFID. A TAG foi encapsulada por uma resina Epóxi como mostra a figura 1, está resina é capaz de suportar altas temperaturas e produtos químicos que são utilizados para realizar limpeza, desinfecção e esterilização dos equipamentos. Para realizar o encapsulamento desenvolveu-se um molde na impressora 3 D e sendo possível chegar a um contramolde que foi realizado com uma borracha de silicone como mostra a figura 2, sendo assim possível encapsular as TAGS de uma forma mais uniforme e um padrão tanto em espessura como em tamanho.

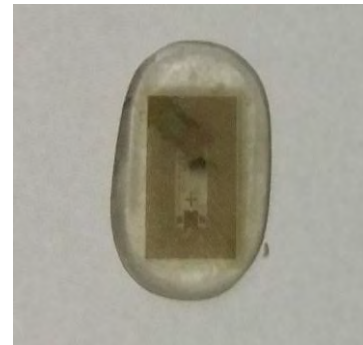


Figura 1. TAG encapsulada com a resina epóxi



Figura 2. Conta molde de silicone

A TAG utilizada por datasheet suportaria até 140° C porem quando foi submetida a um ciclo de autoclavagem perdeu-se o sinal de comunicação ou seja o campo magnético foi afetada fazendo então que perdesse a comunicação com o Hardware, com isso teve-se a necessidade de encapsula-la com

uma resina Epóxi resistente a altas temperatura e também que não fosse isolante do campo magnético da TAG.

### B. Características do Software utilizado

O projeto Traceability and Control (T&C) usa um Arduino UNO e um leitor de TAG RFID-RC522 para a leitura. Cada leitura de uma TAG é enviada para uma porta serial, no caso um computador e ao mesmo tempo salvando as informações de entrada como apresentado na figura 3.



Figura 3. Hardware – Arduino com leitor de RFID.

Utiliza-se para desenvolvimento do Software a linguagem de programação Python [3], o sistema tem um frame work que faz a interface gráfica com o usuário através da web page, chamado de Flash, também há um frame work que salva os ID das TAGS recebidas pela porta serial em um banco de dados SQLite. Nesse projeto pode-se fazer o controle das TAGs buscando pelas informações como nome e descrição dos equipamentos previamente cadastrados no sistema T&C que podem ser alteradas através do portal Web, afim de manter o controle e a agilidade em buscar quando necessário.

No Software é possível verificar os equipamentos que estão próximos da data de manutenção preventiva, também é possível verificar quais equipamentos já foram e quais os seus estados, sendo em uso, manutenção ou livre para ser utilizado como mostra a figura 4 No Software é possível localizar equipamentos através de buscas pelo nome ou IDs das TAGs.

TAG Information!	
ID	4
Name	04225240348283129
Status	LIVRE
Description *	Bomba (Esterilizada e pronta para uso)
SAVE	

Figura 4. Verificação dos status do equipamento.

## III. RESULTADOS.

Para verificar a resistência da TAG encapsulada foi-se então realizado alguns testes variando a temperatura e verificando a existência de comunicação com o Hardware e testando as massas ao final de cada teste, foi utilizado uma balança de precisão de 4 casas decimais.

### A. 1º teste banho Maria

Variou-se a temperatura de 70°C até 96°C em banho maria como mostra a figura 5, foi possível verificar que as TAGS continuavam funcionando normalmente, para ter uma boa estatística nos testes sempre foram utilizados no mínimo 5 TAGS. Como mostram as tabelas 1,2,3,4 abaixo.



Figura 5. Testes em Banho Maria.

Tabela 1

Teste realizado com temperatura de 70°C por 20 Minutos em banho Maria

TAGS	Peso (g)	Comunicação
Tag 1	1,2329	Houve comunicação normalmente
Tag 2	1,1585	Houve comunicação normalmente
Tag 3	1,1622	Houve comunicação normalmente
Tag 4	1,1877	Houve comunicação normalmente
Tag 5	0,9257	Houve comunicação normalmente

Tabela 2

Teste realizado com temperatura de 80°C por 20 Minutos em banho Maria

TAGS	Peso (g)	Comunicação
Tag 1	1,2329	Houve comunicação normalmente
Tag 2	1,1585	Houve comunicação normalmente
Tag 3	1,1622	Houve comunicação normalmente
Tag 4	1,1877	Houve comunicação normalmente
Tag 5	0,9257	Houve comunicação normalmente

Tabela 3

Teste realizado com temperatura de 90°C por 20 Minutos em banho Maria

TAGS	Peso (g)	Comunicação
Tag 1	1,2329	Houve comunicação normalmente
Tag 2	1,1585	Houve comunicação normalmente
Tag 3	1,1622	Houve comunicação normalmente
Tag 4	1,1877	Houve comunicação normalmente
Tag 5	0,9257	Houve comunicação normalmente

Tabela 4

Teste realizado com temperatura de 96°C por 20 Minutos em banho Maria

TAGS	Peso (g)	Comunicação
Tag 1	1,2329	Houve comunicação normalmente
Tag 2	1,1585	Houve comunicação

Tag 3	1,1622	normalmente Houve comunicação normalmente
Tag 4	1,1877	Houve comunicação normalmente
Tag 5	0,9257	Houve comunicação normalmente

Após o final do primeiro teste observou-se que não houve variação nas TAGS até 96°C, tanto em comunicação com Hardware quando em perda de massa do encapsulamento, mostrando confiabilidade até 96° C.

#### B. 2° teste banho ultrassônico

A tecnologia de limpeza ultrassônica é um fenômeno induzido por uma onda acústica com alta intensidade chegando a uma frequência de 18 kHz portando foi testado as Tags para ver se a alta frequência poderia afetar o campo magnético. [4]

Mantendo a temperatura no banho ultrassônico constante em 40°C como mostra a figura 6, realizando 5 banhos consecutivos foi possível verificar que as TAGS continuavam funcionando normalmente, para ter uma boa estatística manteve-se no mínimo 5 TAGS. Como mostram as tabelas 5,6,7,8 e 9 abaixo.

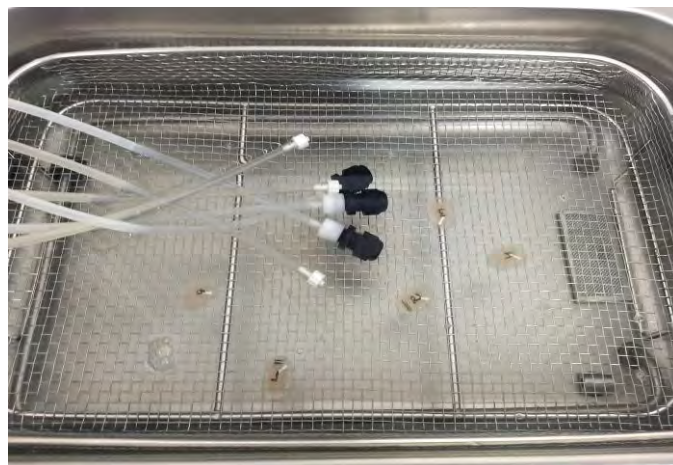


Figura 6. Banho Ultrassônico

Tabela 5

Teste realizado com temperatura de 40°C por 10 Minutos em Banho Ultrassônico 1a repetição.

TAGS	Peso (g)	Comunicação
Tag 1	1,2327	Houve comunicação normalmente
Tag 2	1,1585	Houve comunicação normalmente
Tag 3	1,1622	Houve comunicação normalmente
Tag 4	1,1877	Houve comunicação normalmente
Tag 5	0,9257	Houve comunicação normalmente



Tabela 6

Teste realizado com temperatura de 40°C por 10 Minutos em *Banho Ultrassônico* 2a repetição.

TAGS	Peso (g)	Comunicação
Tag 1	1,2327	Houve comunicação normalmente
Tag 2	1,1585	Houve comunicação normalmente
Tag 3	1,1622	Houve comunicação normalmente
Tag 4	1,1876	Houve comunicação normalmente
Tag 5	0,9256	Houve comunicação normalmente

Tabela 7

Teste realizado com temperatura de 40°C por 10 Minutos em *Banho Ultrassônico* 3a repetição.

TAGS	Peso (g)	Comunicação
Tag 1	1,2323	Houve comunicação normalmente
Tag 2	1,1582	Houve comunicação normalmente
Tag 3	1,1622	Houve comunicação normalmente
Tag 4	1,1876	Houve comunicação normalmente
Tag 5	0,9253	Houve comunicação normalmente

Tabela 8

Teste realizado com temperatura de 40°C por 10 Minutos em *Banho Ultrassônico* 4a repetição.

TAGS	Peso (g)	Comunicação
Tag 1	1,2328	Houve comunicação normalmente
Tag 2	1,1585	Houve comunicação normalmente
Tag 3	1,1622	Houve comunicação normalmente
Tag 4	1,1876	Houve comunicação normalmente
Tag 5	0,9256	Houve comunicação normalmente

Tabela 9

Teste realizado com temperatura de 40°C por 10 Minutos em *Banho Ultrassônico* 5a repetição.

TAGS	Peso (g)	Comunicação
Tag 1	1,2325	Houve comunicação normalmente
Tag 2	1,1582	Houve comunicação normalmente
Tag 3	1,1624	Houve comunicação normalmente
Tag 4	1,1877	Houve comunicação normalmente
Tag 5	0,9253	Houve comunicação normalmente

Após a realização dos testes em banho ultrassônico pode-se notar uma leve alteração na 3ª e 4ª casa decimal em relação a massa a resina começou-se a se hidratar, porém não interferiu no funcionamento.

### C. 3º teste autoclave

Após os testes variando a temperatura de 70°C até 96°C em banho Maria e no banho ultrassônico, passamos a realizar em temperaturas que são utilizadas no setor hospitalar para esterilização de equipamentos na autoclave como mostra a figura 7. Utilizando uma autoclave foi-se então realizado os testes em alta temperatura e além disso em alta pressão. Como mostra as tabelas abaixo (Tabela 10, 11, 12, 13 e 14)., observando que foram realizadas 5 repetições com 5 TAGS.



Figura 7. Autoclave



Tabela 10

Teste realizado com temperatura de 120°C por 20 Minutos, na *Autoclave* 1ª repetição.

TAGS	Peso (g)	Comunicação
Tag 1	1,2410	Houve comunicação normalmente
Tag 2	1,1662	Houve comunicação normalmente
Tag 3	1,1711	Houve comunicação normalmente
Tag 4	1,1973	Houve comunicação normalmente
Tag 5	0,9328	Houve comunicação normalmente

Tabela 11

Teste realizado com temperatura de 120°C por 20 Minutos, na *Autoclave* 2ª repetição.

TAGS	Peso (g)	Comunicação
Tag 1	1,2446	Houve comunicação normalmente
Tag 2	1,1699	Houve comunicação normalmente
Tag 3	1,1748	Houve comunicação normalmente
Tag 4	1,2020	Houve comunicação normalmente
Tag 5	0,9362	Houve comunicação normalmente

Tabela 12

Teste realizado com temperatura de 120°C por 20 Minutos, na *Autoclave* 3ª repetição.

TAGS	Peso (g)	Comunicação
Tag 1	1,2472	Houve comunicação normalmente
Tag 2	1,1727	Houve comunicação normalmente
Tag 3	1,1773	Houve comunicação normalmente
Tag 4	1,2063	Houve comunicação normalmente
Tag 5	0,9388	Houve comunicação normalmente

Tabela 13

Teste realizado com temperatura de 120°C por 20 Minutos, na *Autoclave* 4ª repetição.

TAGS	Peso (g)	Comunicação
------	----------	-------------

Tag 1	1,2485	Houve comunicação normalmente
Tag 2	1,1737	Houve comunicação normalmente
Tag 3	1,1789	Houve comunicação normalmente
Tag 4	1,2089	Houve comunicação normalmente
Tag 5	0,9403	Houve comunicação normalmente

Tabela 14

Teste realizado com temperatura de 120°C por 20 Minutos, na *Autoclave* 5ª repetição.

TAGS	Peso (g)	Comunicação
Tag 1	1,2500	Houve comunicação normalmente
Tag 2	1,1748	Houve comunicação normalmente
Tag 3	1,1805	Houve comunicação normalmente
Tag 4	1,2115	Houve comunicação normalmente
Tag 5	0,9417	Houve comunicação normalmente

Após a realização dos testes na autoclave pode-se notar uma alteração na massa da resina, pode-se observar que continuava a se hidratar, porém não afetando a leitura das TAGS com Hardware.

#### IV. DISCUSSÃO

Após ter levantado todos os possíveis pontos críticos do projeto, pode-se observar que os 3 diferentes testes foram satisfatórios. No setor hospitalar há diversos tipos de desinfecção ou esterilização sendo através de produtos químicos ou por esterilização em banho maria, ultrassônico e em autoclaves, os testes não afetou as TAGs. Em relação a variação de massa da resina pode-se ver que em todas as espessuras testadas desde 0,9257 até 1,2329 não se interferiu no funcionamento das TAGs, ao final de todos os testes as Tags foram colocadas na estufa com uma temperatura de 40° C por 24 horas para se desidratar ou seja perder o peso que avia ganhado no decorrer dos testes.

No mercado há diversas soluções para melhoria deste setor em hospitais como a utilização de códigos de barras, Software de gestão, porém ainda com custos muito elevado para ser implantado muito deles caro para se manter, o projeto T&C vem para diminuir este valor tornando viável a implantação no setor hospitalar públicos onde os recursos financeiros são precários.

#### V. CONCLUSÕES

O projeto T&C visa buscar melhorias no setor hospitalar sendo em perda de tempo que são gastos pelos funcionários buscando equipamentos que são extraviados ou perdidos na

instituição, por não ter um controle adequado, também no controle de roubos de pequenos equipamentos. Com a implementação do projeto T&C pode-se ganhar algumas vantagens como, a acreditação pela ONA (Organização nacional de acreditação) pois um dos primeiros requisitos é a segurança do paciente, tendo estas creditações pode-se gerar mais dinheiro para a instituição e uma melhor referência.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Zamith, Franca Neto - Aplicação da tecnologia RFID para gestão acadêmica de pessoas operacionais de patrimônio e biblioteca  
Disponível em:  
<[https://www.marinha.mil.br/spolm/sites/www.marinha.mil.br/spolm/files/081\\_1.pdf](https://www.marinha.mil.br/spolm/sites/www.marinha.mil.br/spolm/files/081_1.pdf)>Acessado em 10/05/2018
- [2] Acreditação – um processo que visa segurança do paciente e redução de erros médicos. Disponível em:  
<https://www.ona.org.br/Noticia/118/Acreditacao-um-processo-que-visa-seguranca-do-paciente-e-reducao-de-erros-medicos>, Acessado em 13/08/2017
- [3] Web desenvolvedor pagina livre. Disponível em:  
<https://wiki.python.org/moin/WebFrameworks>, Acessado em 20/06/2017.
- [4] Pereira A.H.A – Limpeza Ultrassônica Overview e estado da arte  
Disponível em:  
<<http://www.atcp.com.br/imagens/produtos/ceramicas/artigos/RT-ATCP-02.pdf>>Acessado em 10/05/2018.

# Válvula solenoide proporcional aplicada no equipamento de sedação consciente

Maria Aparecida Braga Floriano   Monalisa Conceição Silva   Paulo Vlady Mendes   Rani de Souza Alves  
 Inatel   Inatel   Biotron   Inatel  
 mariabraga@geb.inatel.br   monalisas@get.inatel.br   paulo@biotron.com.br   rani@inatel.br

**Abstract**— Conscious sedation is a minimal depression of the level of consciousness, that is, spontaneous breathing, protective reflexes, and responsiveness to physical and verbal stimuli are maintained. This technique is based on the safe administration of the mixture of gases, nitrous oxide and oxygen to help those patients who feel anxiety and fear when performing treatments. This type of sedation is widely used in dentistry and has been gaining ground in recent years, with a common misconception in gas management. Therefore, this project addresses the study of the control of the proportional solenoid valve MD PRO that is intended to maintain the constant flow of the gas mixture supplied to the patient during the analgesia session.

**Index Terms**— Nitrous oxide, conscious sedation, proportional solenoid valve, dentistry.

**Resumo**— A sedação consciente é uma depressão mínima do nível de consciência, ou seja, são mantidos a respiração espontânea, os reflexos protetores e capacidade de resposta a estímulos físicos e verbais. Esta técnica se baseia na administração segura da mistura dos gases, óxido nitroso e oxigênio para auxiliar aqueles pacientes que sentem ansiedade e medo na hora de realizar tratamentos. Este tipo de sedação é amplamente utilizada na odontologia e vem ganhando espaço nesses últimos anos, sendo comum o erro na administração dos gases. Portanto, este projeto aborda o estudo do controle da válvula solenoide proporcional MD PRO que tem como intuito manter o fluxo constante da mistura dos gases fornecido para o paciente durante a sessão de analgesia.

**Palavras chave**— Óxido nitroso, sedação consciente, válvula solenoide proporcional, odontologia.

## I. INTRODUÇÃO

A sedação consciente é um procedimento em que o paciente fica consciente, mantendo os reflexos intactos, com respiração espontânea, respondendo a comandos verbais e a estímulos físicos. Possui dois tipos: oral ou inalatória. Na inalatória, o paciente é submetido aos gases óxido nitroso ( $N_2O$ ) e oxigênio ( $O_2$ ). Na oral, o paciente ingere fármacos, como por exemplo, dormonid que possui o princípio ativo maleato de midazolam [1].

Os primeiros relatos de sedação consciente foram realizados por Humphrey Davy, o primeiro a inalar o óxido nitroso puro e a descrever uma sensação de alegria extremamente prazerosa, de acordo com o exemplar publicado em 1800 [1], [2]. Em 1844, Horace Wells contribuiu para as pesquisas de Humphrey Davy. Ele realizou vários testes com pacientes obtendo resultados satisfatórios, porém, em um dos testes, o paciente se mexeu muito durante a inalação do gás e a platéia interpretou de maneira negativa. Logo depois, Edmund

Andrew após várias pesquisas percebeu que a adição de 20% de oxigênio misturado ao óxido nitroso permitia o maior controle dos reflexos físicos dos pacientes durante a sedação [2], [3].

As contraindicações consideradas nessa técnica são para pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica, por exemplo, enfisema e bronquite severa.

A técnica de sedação funciona, inicialmente, com o paciente recebendo 100% de oxigênio (3 a 5 minutos), o que eleva a saturação de oxigênio sanguíneo e só depois, de forma gradativa, administra-se o óxido nitroso, até a concentração ideal. Victor De Miranda [5] mostra que o óxido nitroso pode ser administrado juntamente com o oxigênio para evitar reações alérgicas. Nassar Junior [6] descreve que o óxido nitroso puro não causa prejuízo à saúde da pessoa que está sendo submetida a sedação. O limite máximo que cada paciente possui para inalar o óxido nitroso puro ou misturado com o oxigênio é de 70% da sua massa corporal. Essa concentração pode variar de acordo com índice de massa corporal (IMC) e o nível de ansiedade da pessoa. O nível de ansiedade é mensurado por meio de um teste psicológico aplicado antes da sessão de sedação, chamado de anamnese.

No final da sessão, a técnica preconiza o mesmo procedimento de administração de oxigênio, no período de 5 a 10 minutos, para realizar a eliminação do óxido nitroso do organismo, via máscara nasal. Assim evita que o gás óxido nitroso cause a hipóxia na pessoa e que também vaze no ambiente. A regulamentação dessa técnica no Brasil foi feita em maio de 2004 [6], [7].

O equipamento de sedação consciente já existente, mostrado na Figura 1, é constituído por elementos mecânicos e manuais. Ou seja, os gases são controlados e liberados por registros para cada cilindro.

A administração dos gases que o paciente inala é realizada manualmente pelo profissional com a abertura dos registros de cada cilindro. O fluxômetro mede o fluxo com que os gases saem dos cilindros. O profissional deve ser habilitado para que não coloque em risco a saúde do paciente como, por exemplo, liberar além do necessário de oxigênio e menos óxido nitroso não ocorrendo a sedação correta, induzindo o paciente a sentir dor. Caso o gás óxido nitroso liberado ultrapasse o limite pode vir a ocorrer o óbito do paciente [8], [9].

Diante disso, o objetivo desta pesquisa é controlar o fluxo dos gases utilizando a válvula solenoide proporcional para que

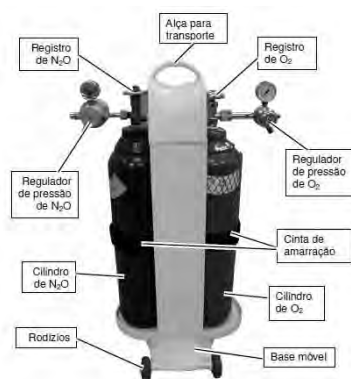


Fig. 1. Exemplo de equipamento de sedação consciente, Rotamix Automático MORIYA [10].

a liberação dos gases seja automatizada eliminando falhas dos profissionais. Além do controle da válvula utiliza-se um sensor de fluxo com a função de monitorar a vazão dos gases durante a sessão.

## II. METODOLOGIA

A leitura do sensor de fluxo AWM700 e os comandos do controle da válvula solenoide proporcional MD PRO serão realizados pelo microcontrolador MSP430F5529, programado pela *IDE IAR Embedded Workbench*.

A escolha deste microcontrolador foi realizada de acordo com a relação custo benefício entre o preço, quantidades de entrada e saída do equipamento e baixo consumo de energia.

O MSP430F5529 possui 63 pinos, conversor AD de 12 bits, *Timers* de 16 bits e frequência de 25MHz. A tensão mínima necessária para seu funcionamento é de 1.8V e a máxima é de 3,6V [11].

### A. Sensor de fluxo

O sensor de fluxo, mostrado na Figura 2, tem o intuito de medir o fluxo dos gases que estão sendo fornecidos para a pessoa que está realizando a sedação. Os sensores de fluxo da série AWM700 operam através de transferência de calor devido ao fluxo de massa de gás que passa pela superfície do elemento sensível. O elemento de detecção consiste em um circuito do aquecedor de ponte de resistência e em duas pontas de resistência de detecção de temperatura. Esta configuração detecta as taxas de fluxo de massa e a direção do fluxo. Os AWM700 medem o fluxo até de 300 litros por minuto (l/min). A capacidade de alcance de fluxo é elevado e o tempo de resposta é de 6 milissegundos. O sensor de fluxo necessita de uma tensão de 10V e consome apenas 60mW de energia [14].



Fig. 2. Sensor de fluxo da série AWM700, Honeywell [14]. Utilizado para medir o fluxo dos gases que saem dos cilindros de óxido nitroso e oxigênio.

### B. Válvula solenoide proporcional

A válvula proporcional MD PRO operada por solenoide em miniatura controla com precisão o fluxo de gás em proporção à corrente de entrada e proporcionam o melhor desempenho do sistema ao usar *feedback em loop fechado*. A válvula possui portas de pressão que permitem conexões diretas da tubulação e montagem do colector. As aplicações típicas incluem dispositivos médicos, equipamentos analíticos e máquinas industriais [12].



Fig. 3. Válvula solenoide proporcional miniatura MD PRO, Parker [12]. Utilizada no estudo para o controle dos gases de um equipamento de sedação consciente.

### C. Funcionamento

O fluxo dos gases fornecidos para a pessoa terá que ser fixo em 13 l/min [13], [14] durante a sessão de analgesia, pois é a vazão que uma pessoa respira normalmente. Este fluxo é medido pelo sensor AWM700, que coleta dos dados em variações de tensão de acordo com a tabela I, retirada do *datasheet* [14]. Esses dados são enviados e processados na entrada analógica do MSP430F5529. Na programação do microcontrolador é realizado vários testes destes valores coletados. A programação encontra-se em linguagem C++, utilizando a *IDE IAR Embedded Workbench*.

TABELA I

TABELA DE ESPECIFICAÇÃO DE FLUXO DO SENSOR AWM700 [14]

FLUXO (l/min)	TENSÃO (Vdc)	TOLERÂNCIA
0	1.00	±0.05
25	2.99	-
50	3.82	±0.18
75	4.30	-
100	4.58	-
150	4.86	-
200	5.00	±0.36

Quando o fluxo for maior ou menor que 13 l/min é enviado um determinado pulso de tensão utilizando o controle do Pulse-Width Modulation (PWM). O PWM é responsável em mandar um determinado pulso de tensão no pino ligado a válvula. Este pulso varia de 50% a 100% de *Duble cycle*, ou seja, será limitado entre 1,65V a 3,6V.

Ao enviar este pulso será feito a conversão de tensão em corrente através de circuito com Amplificador operacional (Amp-op) mostrado na Figura 4. A válvula trabalha de maneira proporcional à corrente aplicada sobre ela. De acordo com o *datasheet* da válvula proporcional MD PRO, para um fluxo controlado de 13 l/min é necessário que haja uma corrente de aproximadamente 67 mA seja aplicada a sua entrada.

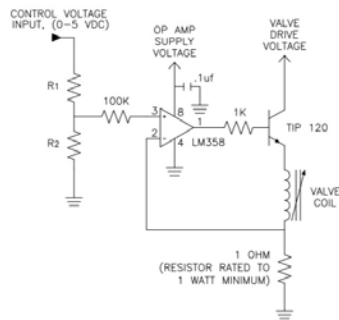


Fig. 4. Circuito da válvula MDPRO que realiza a conversão de tensão em corrente[12]

Para realizar os testes do controle do fluxo é necessário ter um adaptador na entrada da válvula MD PRO e na mangueira que fornece os gases à máscara do paciente.

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para facilitar a lógica da programação realizou-se uma máquina de estado finita (do inglês, *Finite State Machine-FSM*) (Figura 5). A FSM é usada para representar o programa de circuito lógico a fim de controlar o fluxo dos gases. A máquina está em apenas um estado por vez, chamado de estado atual. Um estado armazena informações sobre o passado, isto é, ele reflete as mudanças desde a entrada num estado, no início do sistema, até o momento presente. Quando houver transição isso indica uma mudança de estado e é descrita por uma condição que precisa ser realizada para que a transição ocorra. A ação é a descrição de uma atividade que deve ser realizada num determinado momento.

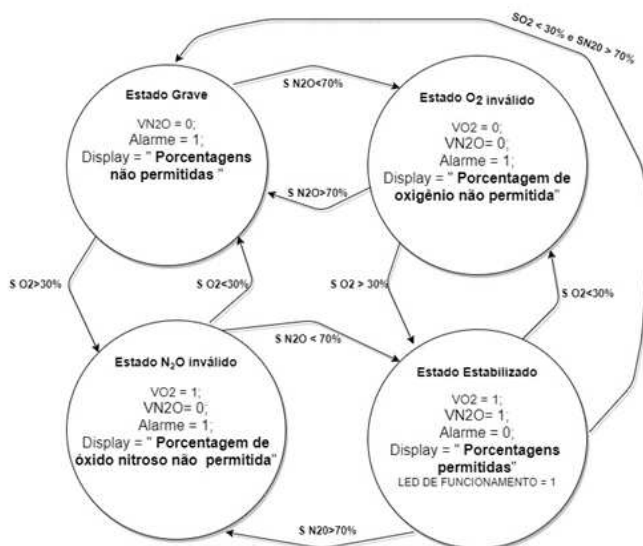


Fig. 5. Representação da FSM da programação. Fonte: Autor

Os estados possíveis do sistema são:

- Estado “Grave”: os fluxos dos gases não atendem as especificações de menos de 70% de óxido nitroso e mais

de 30% de oxigênio;

- Estado “O<sub>2</sub> inválido”: o fluxo de oxigênio não atende a especificação;
- Estado “N<sub>2</sub>O inválido”: o fluxo de óxido nitroso não atende a especificação;
- Estado “Estabilizado”: os fluxos de oxigênio e óxido nitroso estão dentro das especificações, ou seja, dentro da faixa de 0% a 70% de óxido nitroso e 30% a 100% de oxigênio.

As mudanças de estados ocorrem de acordo com as variações das entradas. Considera-se “0” como desativado/fechada e “1” como ativado/aberta. Caso o estado iniciasse como Grave: a válvula de N<sub>2</sub>O deve ser fechada, o sistema de alarme acionado e, no display, deve aparecer uma mensagem avisando sobre o problema, “Porcentagens não permitidas”. Se dentro deste estado, o sensor de fluxo de N<sub>2</sub>O detectar um fluxo que atenda a especificação de 0 a 70% de N<sub>2</sub>O, o novo estado deve ser o O<sub>2</sub> inválido. Senão, ou seja, o sensor de fluxo de O<sub>2</sub> detectar um fluxo que atenda a especificação de 30% a 100%, o novo estado deve ser o N<sub>2</sub>O inválido.

Caso o estado seja o O<sub>2</sub> inválido: as válvulas de O<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O devem ser fechadas, o sistema de alarme acionado e, no display, deve aparecer uma mensagem “Porcentagem de oxigênio não permitida”. Se dentro deste estado, o sensor de fluxo de O<sub>2</sub> detectar um fluxo que atenda a especificação de mais de 30% de O<sub>2</sub>, o novo estado deve ser o Estabilizado. Senão, ou seja, o sensor de fluxo detectar um fluxo de menos de 70 % de N<sub>2</sub>O, o estado deve ser Grave.

Caso o estado seja o N<sub>2</sub>O inválido: a válvula de N<sub>2</sub>O deve ser fechada e a de O<sub>2</sub> deve ser aberta, o sistema de alarme ativado e no display aparecer uma mensagem “Porcentagem de óxido nitroso não permitida”. Se dentro deste estado, o sensor de fluxo de N<sub>2</sub>O detectar um fluxo que atenda a menos de 70% de N<sub>2</sub>O, o estado deve ser o Estabilizado. Senão, ou seja, o sensor de fluxo de O<sub>2</sub> detectar um fluxo de menos de 30% de O<sub>2</sub>, o estado deve der o Grave.

Caso o estado seja o Estabilizado: as válvulas de N<sub>2</sub>O e O<sub>2</sub> devem ser abertas, o sistema de alarme desativado, no display, mostrar uma mensagem “Porcentagens permitidas” e o led de funcionamento deve ser ligado. Se dentro deste estado, o sensor de fluxo de O<sub>2</sub> detectar um fluxo inferior a 30% e o sensor de N<sub>2</sub>O detectar um fluxo superior a 70%, o estado deve ser o Grave. Se ainda, dentro deste estado, for detectado pelo sensor de fluxo de O<sub>2</sub> um fluxo inferior a 30%, o estado deve ser o O<sub>2</sub> inválido. Senão, ou seja, o sensor de fluxo de N<sub>2</sub>O apresentar um fluxo maior que 70%, o estado deve ser o N<sub>2</sub>O inválido.

A máquina de estados foi de grande importância para elaboração da lógica de programação compilada no MSP430F5529.

Para a montagem do circuito responsável por converter a tensão em corrente foi necessário entender que a válvula MD PRO opera de maneira proporcional à corrente aplicada sobre ela. Foram realizadas medidas utilizando um multímetro digital AC/DC 2000KOhms Minipa ET-1002 para a obtenção



do valor de tensão que a válvula precisa para garantir um fluxo de 13 l/min, o valor de tensão encontrado foi de aproximadamente 1,6 V. Este valor de tensão foi utilizado no PWM, para o acionamento gradual da válvula.

Não foram possíveis realizar testes do controle do fluxo da válvula devido a falta do adaptador para conectar na entrada da MD PRO e a mangueira que passa os gases do cilindro.

#### IV. CONCLUSÃO

O trabalho encontra-se em desenvolvimento e ainda possui etapas inexploradas, tais como: a calibração dos fluxômetros, desenvolvimento da câmara de misturas dos gases, desenvolvimento do sistema das válvulas reguladoras e integração de todo o sistema.

Neste trabalho apenas foi explorado o acionamento da válvula, o próximo passo seria a criação de um adaptador na entrada da válvula para conectar na mangueira ligada aos cilindros e assim, analisar se realmente está sendo realizado o controle dos gases.

#### REFERÊNCIAS

- [1] J. C. Ramacciato, J. Ranali, R. H. L. Motta, “Sedação Consciente Inalatória em Odontologia”, Revista da APCD, São Paulo, v. 58, n. 5, p. 343, 2006.
- [2] F. A. Mendes, “Análise qualitativa da sedação consciente em pacientes odontofóbicos” Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2012.
- [3] A. C. B. Oliveira, I. A. Pordeus, S. M. Paiva, “O uso do óxido nitroso como uma opção no controle de comportamento em Odontopediatria”, Revista Ibero-americana de Odontopediatria & Odontologia de Bebê, v. 6, n. 32, 2010.
- [4] D. Becker, M. Rosenberg, “Nitrous oxide and the inhalation anesthetics”, Anesthesia progress, v. 55, n. 4, p. 124-131, 2008.
- [5] V. De Miranda Ladewing, “Sedação consciente com óxido nitroso a clínica odontopediátrica,”Scientific-Clinical Odontology, 2016.
- [6] A. P. Nassar Junior, “Protocolos de sedação versus interrupção diária de sedação: uma revisão sistemática e metanálise,” Revista Brasileira de Terapia Intensiva, v. 28, n. 4, p. 444-451, 2016.
- [7] J. J. Hernández Calzada, “Sedación consciente para la colonoscopia ambulatoria,” Revista Cubana de Anestesiología y Reanimación, v. 14, n. 1, p. 13-28, 2015.
- [8] J. Cabete, S. Campos, S. Lestre, “Conscious sedation with inhaled 50% nitrous oxide/oxygen premix in photodynamic therapy sessions for vulvar lichen sclerosus treatment,” Anais brasileiros de dermatologia, v. 90, n. 1, p. 120-122, 2015.
- [9] C. C. Silva, “Conscious sedation vs general anesthesia in pediatric dentistry-a review,” MedicalExpress, v. 2, n. 1, 2015.
- [10] J. G. M. Moriya, “Rotamix Automático: Misturador de Gases para Analgesia Inalatória,” Manual do usuário, p.16-50, 2018.
- [11] MSP430F5529 LaunchPad Development Kit(MSP-EXP430F5529LP) Use’s Guide, Texas Instruments Incorporated. Dallas, Texas, 2017.
- [12] Miniature Proportional Valve MD PRO-Catalog PND-MPV-001. Parker Hannifin Corporation Pneutronics Division. Canadá, 2007
- [13] M. A. Gillman, “Nitrous oxide/oxygen conscious sedation: Clinical safety and usefulness,” South African Dental Journal, v. 70, n. 7, p. 306-307, 2015.
- [14] Airflow Sensors: AWM700Series, Compensated/Amplified, Honeywell International Inc. Minnesota, 2015.
- [15] J. R. Moll, “Oxygen concentrators performance with nitrous oxide at 50:50 volume,” Revista Brasileira de Anestesiologia, v. 64, n. 3, p. 164-168, 2014.

# Estudo de Técnicas para Detecção e Classificação de Falhas em Redes Industriais

Roger William Ribeiro Carneiro  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
rogerwilliam@gea.inatel.br

Egidio Raimundo Neto  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
egidio.neto@inatel.br

**Abstract**—This article approaches a study of several bibliographies on techniques for the detection and classification of failures in industrial networks, using concepts of Artificial Intelligence.

**Index Terms**—Classification, Detection, Artificial Intelligence, Industrial Networks.

**Resumo**—Este artigo aborda um estudo de várias bibliografias sobre técnicas para a detecção e classificação de falhas em redes industriais, empregando conceitos de Inteligência Artificial.

**Palavras chave**—Classificação, Detecção, Inteligência Artificial, Redes Industriais.

## I. INTRODUÇÃO

O propósito deste documento é fornecer informações sobre o estudo realizado para detecção e classificação das principais falhas que ocorrem em um rede industrial. O processo de automação na indústria, em especial a Indústria 4.0, gera um tráfego intenso de dados advindos da monitoração de inúmeras variáveis no processo. Com isso, a troca de dados entre os dispositivos se dá através das redes industriais, em seus vários protocolos existentes. Nessa troca de dados, falhas podem ocorrer e a detecção e classificação destas falhas podem ser realizadas aplicando técnicas de Inteligência Artificial. Este artigo parte de uma revisão bibliográfica de artigos e livros e se estrutura da seguinte forma: Técnicas de Inteligência Artificial, abordando as técnicas de Lógica Fuzzy, Redes Neurais Artificiais e os Algoritmos Genéticos; Padrões de Redes Industriais, aborda as principais características dos padrões ASI, Profibus e Profinet; Aplicações, abordando dois estudos de casos aplicando as técnicas de inteligência artificial; Conclusão, aborda os resultados e conclusões do estudo realizado; Referência Bibliográfica, aborda a referência dos artigos e livros utilizados no estudo.

## II. TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A inteligência poderia ser definida como a capacidade de atingir objetivos diante de obstáculos por meio de decisões baseadas em regras racionais. Esta inteligência não provém da matéria ou da energia, mas da manipulação ou do processamento de informações.

A teoria computacional da mente modela o processo de tomada de decisão do cérebro através de um sistema de produção. A partir de um certo objetivo e considerando os fatos atuais (informações vindas dos sentidos), a mente busca nas suas regras inatas (crenças) ou aprendidas (bom senso

cultural), que estão na memória de longo prazo, uma solução ou uma boa ação (procedimento), já aprendida anteriormente.

A Inteligência Artificial (IA) se inspirou em muitos desses modelos para construir programas de computador "inteligentes". Portanto, pode-se definir IA como: [1]

"É a parte da ciência da computação envolvida no projeto de sistemas que exibem características que associamos com inteligência no comportamento humano." (Barr e Feigenbaum, 1981)

### A. Lógica Fuzzy

A teoria de subconjuntos "fuzzy" nasceu da constatação de que quando a complexidade de um sistema aumenta, nossa habilidade para concluir fatos e tomar decisões que sejam ao mesmo tempo precisos e significativos, tende a diminuir até um limite a partir do qual precisão e relevância passam a ser características quase excludentes [1].

Desta forma, esta teoria de subconjuntos "fuzzy" teve como objetivo criar um sistema que permitisse representar conhecimentos complexos, incertos, contraditórios e incompletos de uma maneira matemática e lógica.

A observação, a aquisição e a representação dos conhecimentos irão conduzir inevitavelmente a uma perda de informações em relação ao sistema real, que será tanto maior quanto mais complexo for este sistema. Estes sistemas "fuzzy" para controle de processos nasceram da observação de que o operador humano é capaz de controlar sistemas complexos, de uma maneira satisfatória e respeitando objetivos muitas vezes contraditórios, com apenas uma imagem mental do processo. Esta imagem é um modelo qualitativo, experimental e adaptativo do sistema que ele cria, de forma a gerar ações de controle adequadas a uma situação particular de operação.

O controle "fuzzy" é na realidade uma função não-linear entre as variáveis de entrada e saída, que reflete os conhecimentos que os operadores e/ou engenheiros possuem da operação deste processo. Portanto, esta tecnologia pode tirar proveito e valorizar a experiência de uma companhia na operação de um determinado processo, automatizando estas informações.

Uma arquitetura geral para um controlador baseado na lógica "fuzzy" é apresentada na figura, evidenciando como componentes importantes, a codificação, a base de conhecimento, o módulo de raciocínio "fuzzy" e a decodificação.

O primeiro passo é definir as variáveis controladas e manipuladas do sistema. Em seguida, para cada variável deve-se definir o seu universo de referência e o número de valores linguísticos necessários. A base de conhecimento possui as informações a respeito dos universos de referência, dos valores linguísticos e das funções de pertinência de todas as variáveis do sistema. Ela também associa as variáveis linguísticas de entrada com as de saída, sendo a base de conhecimento o "cérebro" do sistema.

As variáveis de entrada de um controlador PID são geralmente o erro ("E"), que é o desvio entre a variável de processo e o seu "set-point", ou valor desejado, a derivada no tempo deste sinal de erro e a integral deste erro. A variável de saída ("U") é a variável manipulada que poderá abrir ou fechar uma válvula de processo. Se for utilizado um algoritmo de velocidade, que é mais eficiente do ponto de vista de implementação nos computadores digitais, as variáveis do controlador PID são as seguintes:  $E$ ,  $\Delta E$ ,  $\Delta^2 E$ ,  $\Delta U$ .

Desta forma, considera-se o controlador "fuzzy" como sendo uma função não-linear do produto cartesiano das variáveis de entrada ( $E \times \Delta E \times \Delta^2 E$ ) no espaço de saída ( $\Delta U$ ). A saída do controlador (ou mais precisamente o valor de ativação das funções de pertinência de saída) é calculada através do raciocínio "fuzzy", que utiliza um "modus ponens generalizado" para cada regra e um processo de decodificação.

Uma vez que todos os valores das variáveis de entrada tenham sido convertidos nos respectivos valores linguísticos, o processo de inferência "fuzzy" avalia o conjunto de regras que definem o comportamento do controlador. O resultado deste processo é novamente um valor linguístico associado a uma variável linguística de saída. Um novo processo chamado de defuzzificação ou decodificação converte este resultado linguístico em um valor real que representa o valor físico real da variável de saída.

### B. Redes Neurais Artificiais - RNA's

Redes Neurais podem ser caracterizadas como modelos computacionais com capacidades de adaptar, aprender, generalizar, agrupar ou organizar dados, nos quais a estrutura operacional é baseada em processamento paralelo[2].

Uma Rede Neural é formada por um conjunto de unidades básicas de processamento que se comunicam enviando informações uma para a outra por meio de determinadas conexões. O componente elementar desse modelo são as unidades de processamento, também chamadas nós, neurônios ou células. Essa unidade de processamento é um modelo matemático que possui inspiração no modelo biológico de um neurônio.

O papel da função de ativação é determinar a forma e a intensidade de alteração dos valores transmitidos de um neurônio a outro. É preciso quantificar a influência de cada entrada na ativação da unidade. Para isso se define uma função de ativação, na qual uma determinada informação produz um valor para a ativação da unidade da rede em questão.

### C. Algoritmos Genéticos

Os algoritmos genéticos são métodos de busca inspirados nos mecanismos de seleção natural e da genética. Eles combinam um mecanismo de valorização dos "melhores" indivíduos, ou dos mais adaptados ao objetivo em questão, com uma estrutura para combinar e "reproduzir" aleatoriamente estes indivíduos, criando uma nova população. Assim, a cada geração, um conjunto de novos indivíduos é criado utilizando-se das informações contidas na geração passada [1].

## III. PADRÕES DE REDES INDUSTRIAIS

### A. AS-I

A rede AS-I tem como característica principal trafegar informações de natureza discreta, ou seja, dados provenientes de sensores discretos e de atuadores ON/OFF. É a de menor custo para ser instalada e uma das mais simples de ser operada e programada pelo usuário.

Como a maioria das redes industriais disponíveis no mercado, o mestre faz a varredura das informações de entrada, executa o software de aplicação do usuário e atualiza as informações de saída [3].

### B. PROFIBUS

O PROFIBUS é um padrão aberto de rede de comunicação industrial, utilizado em um amplo espectro de aplicações em automação da manufatura e de processos. Sua total independência de fabricantes e sua padronização são garantidas pelas normas EN50170 e EN 50254. Portanto, com o padrão PROFIBUS dispositivos de diferentes fabricantes conseguem se comunicar normalmente sem a necessidade de adaptação na interface. Este padrão pode ser utilizado tanto em aplicações com transmissão de informações em alta velocidade como em tarefas complexas e extensas de comunicação.

O PROFIBUS especifica as características técnicas e funcionais de um sistema de comunicação industrial, por meio das quais dispositivos digitais podem se interconectar, desde o nível de campo até o nível de células. O PROFIBUS pode ser configurado como um sistema multimestre e permite a operação conjunta de diversos sistemas de automação, engenharia ou visualização, com seus respectivos dispositivos periféricos[3].

### C. PROFINET

PROFINET é um padrão de automação normalizado pela associação PROFIBUS internacional para implementação e integração de soluções baseadas em Ethernet industrial. Este padrão suporta a integração de um simples dispositivos de campo a aplicações de tempo crítico (real time), bem como a integração de automação de sistemas distribuídos baseados em componentes[3].

#### IV. APLICAÇÕES

##### A. A - Diagnóstico Automático de Redes Profibus

Nos últimos anos, pesquisas têm sido feitas na área de supervisão de processos, detecção de falhas e diagnósticos com o intuito de melhorar a confiabilidade e a disponibilidade dos sistemas de controle (HUANG et al., 2006). Com isso, o projeto descrito no trabalho de Eduardo André Mossin realiza a coleta de dados de redes Profibus e a partir disso, faz uma análise fornecendo como saída um diagnóstico de algum tipo de problema. A coleta dos dados da rede acontece de forma passiva, em que a coleta não interfere na comunicação. Uma vez constatada a viabilidade da utilização de RNA's para a classificação de sinais da camada física de redes Profibus, propõe-se outros tipos de sinais a serem analisados e classificados. Os sinais são: Utilizando cabeamento de 1m a 200m sem nenhum problema de instalação; Utilizando terminador sem alimentação de energia com cabeamento de 200m; Falta de terminador, cabeamento quebrado ou conector desconectado com medição realizada a 200m da origem do problema; Cabeamento de 1000m (maior do que permitido pela norma); Curto circuito entre as linhas de dados A e B; Excesso de terminadores de linha.

Todos estes sinais foram utilizados para treinamento e teste de uma RNA que não apresentando bons resultados, porém quando retirou o sinal o EMI a RNA funcionou adequadamente.

Após realizar uma pré-análise onde os grupos de amostras de sinais são criados, tem-se o sistema dividido em 3 partes, tendo a variância como parâmetro para a divisão:

1ª - composta por uma única RNA responsável apenas por diferenciar o sinal entre EMI ou cabeamento longo; 2ª - composta por 3 RNA's, cada uma responsável por classificar um dos tipos de sinais apresentados nos marcadores a seguir:

Terminador sem alimentação de energia; Sinal de IDLE com rede configurada corretamente com cabeamento de 1m e 200m; Curto circuito em linhas de dados A e B.

3ª - composta por 4 RNA's, cada uma responsável por classificar um dos tipos de sinais restantes:

Sinal com rede configurada corretamente com cabeamento de 1m a 200m; Falta de terminador, cabeamento quebrado ou conector desconectado com cabeamento de 200m; Rede utilizando cabeamento longo de 1000m; Excesso de terminadores de linha.

Quanto aos níveis de tensão, o cálculo do nível de tensão positivo e negativo de uma rede é feito através da média aritmética das amostras do sinal de cada um dos bits. O nível ideal é de 4 a 7 V.

O mestre mantém intensa comunicação com o escravo a fim de que se consiga detectar algum problema na comunicação. A comunicação se dá seguindo a lógica:

No trabalho propôs-se a criação de um sistema fuzzy para o cálculo de parâmetros de análise de tempo da rede. No sistema fuzzy o tempo gasto para a transmissão de mensagens cíclicas e acíclicas é obtido pela ProfiDoctor a partir da análise da rede Profibus em regime de operação. Estes valores são inseridos

nas entradas do sistema fuzzy que os transforma em variáveis linguísticas como: MUITO BAIXO, BAIXO, BOM, ALTO e MUITO ALTO. Estas classificações são feitas sempre em relação ao valor do TTR configurado pelo usuário.

Sendo que o MAU é responsável por interpretar os sinais da linha RS485 e transformá-los em valores lógicos (bits), o ADS6128 é um conversor analógico-digital que recebe o sinal RS485 e amostra cada bit em vinte amostras e o FGPA + Nios II é responsável pela sincronização dos dados oriundos do MAU e do ADC. Logo após a sincronização armazena-se os dados em uma memória RAM.

Por fim, a utilização das RNA's para a classificação dos sinais mostrou-se bastante versátil e robusta e alcançou-se o objetivo do trabalho desenvolvido.

##### B. B - Diagnóstico da Camada Física de Redes PROFIBUS DP Baseado em Redes Neurais Artificiais

No trabalho desenvolvido por Rafaela Castelhana de Souza o objetivo é um estudo de técnicas baseadas em Redes Neurais Artificiais (RNA) para se fazer um diagnóstico rápido de uma rede PROFIBUS em caso de falha, permitindo através dos conceitos básicos apresentados, uma análise criteriosa do seu desempenho. Para tal, foram realizados 3 ensaios:

Ensaio 1 – Dados com sinais sinteticamente produzidos: Simulação de quatro classes de sinais hipoteticamente provenientes de redes PROFIBUS DP: Rede sem problema de comunicação; Rede com problema devido ao cabeamento longo; Rede com problema devido a falta de terminadores habilitados; Rede com problema devido a excesso de terminadores habilitados;

Um sinal PROFIBUS tem as seguintes características: Nominal: 5 Vpp; Mínimo: 4 Vpp; Máximo: 7 Vpp; Ruído máximo: 0,5 Vpp;

Um sinal com problema devido a cabo longo, observa-se que devido ao efeito capacitivo na linha, ocorre o abaulamento do sinal. Um sinal com a falta de terminadores ocorre o aumento na amplitude do sinal, pois o terminador tem a função de impedir a reflexão do sinal quando ele chega ao fim do barramento. Já um sinal com o excesso de terminadores ocorre a atenuação na amplitude do sinal. Maior o número de terminadores, menor a impedância da linha e menor a tensão.

No simulador utilizado foram gerados 50 bits para cada classe de problema. Cada bit foi amostrado em 30 pontos e portanto, armazenado em arquivo ".dat". Com os quatro de tipos de sinais, treinou-se uma RNA do tipo PMC (30 entradas, 1 camada escondida e 1 camada de saída com 4 saídas). Para treinar utilizou o método do gradiente descendente (função de ativação tem que ser contíua, diferenciável e, de preferência, não-decrescente). Para o teste utilizou o toolbox de redes neurais do Matlab, inicializando através do comando nprtool.

Ensaio 2 – Dados reais: Os dados foram coletados pelo osciloscópio e baseados nos seguintes problemas: Rede funcionando normalmente (cabo de 1 [m] e 200 [m]); Rede com cabo rompido (cabo de 200[m]); Rede com curto circuito entre linhas de dados A e B (cabo de 200 [m]); Rede com inversão

das linhas de dados A e B (cabo de 200 [m]); Rede com cabo longo (cabo de 400 [m]);

A rede foi configurada para trabalhar a 1,5 [Mbps]. Os dados do osciloscópio foram para uma planilha Excel e determina a quantidade de pontos que cada bit tem. As amostras colhidas foram separadas através de um software desenvolvido em Matlab.

Para o sinal que representa a rede funcionando normalmente as características são as mesmas do ensaio 1. Para o caso de curto-circuito a comunicação é interrompida nos equipamentos próximos ao curto. Para o problema de cabo rompido há um aumento na amplitude do sinal. Para cabo longo observa-se o efeito capacitivo. Já para inversão nas linhas de dados o sinal fica extremamente deformado, de forma que a rede não consegue garantir comunicação.

Com os testes e validações na RNA houve uma baixa margem de acerto devido às semelhanças existentes entre os sinais colhidos.

Ensaio 3 – Dados reais pré-processados: Realiza-se a eliminação manual dos dados indesejados em cada conjunto de amostras, formando os conjuntos de treinamento. Utilizou uma rede RNA para cada tipo de problema. Como conclusão, percebeu-se que a RNA do tipo PMC é eficiente para reconhecimento de sinais PROFIBUS.

#### V. CONCLUSÕES

Portanto, o uso de redes de comunicação no cenário industrial é fundamental para a criação de uma planta inteligente,

em que monitora-se as grandezas, processa em controladores e toma-se uma decisão para os atuadores desenvolverem uma ação específica. Para que essa comunicação ocorra é necessário combater as falhas e com este estudo, conclui-se que é possível realizar utilizando técnicas de Inteligência Artificial.

Por fim, com todo este embasamento teórico propõe-se desenvolver em laboratório um sistema para detectar e classificar as falhas nos principais padrões de redes industriais.

#### VI. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

##### REFERÊNCIAS

- [1] Campos, Mario Massa de; Saito, Kaku, "Sistemas inteligentes em controle e automação de processos (livro)", 1.ed, Ed.Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2004.
- [2] Lopes. Isaia Lima; Santos. Flávia Aparecida Oliveira; Pinheiro. Carlos Alberto Murari, "Inteligência Artificial (livro)".1.ed, Ed.Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.
- [3] Lugli. Alexandre Baratella; Santos. Max Mauro Dias, "Redes industriais para automação industrial:AS-I, PROFIBUS e PROFINET (livro)", 1.ed, Ed.São Paulo: Érica,2010.
- [4] Mossin. Eduardo André. *Diagnóstico automático de redes Profibus*. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2012.
- [5] Souza. Rafaela Castelhana de. *Diagnóstico da Camada Física de Redes Profibus DP Baseado em Redes Neurais Artificiais*. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2012.



# Redes industriais, vantagens e versatilidades do padrão PROFINET

Egidio Raimundo Neto

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

egidio.neto@inatel.br

Marcelo Augusto Vilas Boas

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

marceloaugusto@gea.inatel.br

Luiz Felipe Pereira Duarte

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

luiz.duarte@gea.inatel.br

**Abstract**—The present work shows in a simplified way three industrial networks, being AS-I, PROFIBUS and PROFINET, besides presenting some practical applications that show the advantages and versatilities of the use of the PROFINET network in the industrial sectors.

**Index Terms**—AS-I, PROFIBUS, PROFINET and industrial networks.

**Resumo**—O presente trabalho demonstra de maneira simplificada três redes industriais sendo elas AS-I, PROFIBUS e PROFINET, além de apresentar algumas aplicações práticas que evidenciam as vantagens e versatilidades da utilização da rede PROFINET nos setores industriais.

**Palavras chave**—AS-I, PROFIBUS, PROFINET e Redes Industriais.

## I. INTRODUÇÃO

Os primeiros experimentos testando a união e troca de dados entre computadores foi realizado em 1965 por dois cientistas americanos Lawrence Roberts e Thomas Merrill, originando as primeiras redes, que passaram por diversas inovações tecnológicas até chegarem as redes atuais. Com os aprimoramentos tecnológicos as redes passaram a serem aplicadas nas mais distintas áreas, sendo uma delas o setor industrial, onde receberam a denominação de Redes Industriais.

O princípio de funcionamento das Redes Industriais, parte de uma metodologia chamadas em algumas literaturas de Mestre-Escravo, onde o mestre e o escravo podem ser, por exemplo, CLP1 e CLP2 respectivamente. O CLP1 fica responsável pela parte de controle e ordem de ação do CLP2, e este retorna com as informações para o mestre, ou seja, basicamente o mestre pede uma ação ao escravo e esse retorna com a informação se a ordem foi cumprida.

Atualmente encontra-se diversas tecnologias das Redes Industriais no mercado, que variam de acordo com aplicação e fabricante. Portanto, podem ser organizadas em diferentes topologias e atuarem em alguns diferentes meios físicos. Sendo assim, este presente trabalho irá abordar três tipos de redes: AS-I, PROFIBUS e PROFINET, cuja a última terá uma exemplificação da aplicação prática.

## II. REDES INDUSTRIAIS

### A. REDE AS-I (Atuador sensor-interface)

A rede AS-I é uma rede bem simples que geralmente vem conectada a outras de ordem superior como PROFIBUS, por exemplo. Essa conexão é feita por gateways de rede. Os gateways de rede são equipamentos que fazem a conversão de uma rede para outra, para que as mesmas possam trocar informações entre si independentemente do tipo de arquitetura que elas utilizam.

A AS-I também é constituída de Controladores contendo o software de programação e configuração da rede, que fazem o papel do mestre. Como escravo, essa rede apresenta sensores, atuadores e módulos de I/O, além conter cabos e fonte AS-I, sendo possível também o implemento de repetidores e terminadores de rede.

A comunicação nesta rede é realizada através dos cabos AS-I, que por sua vez, são cabos não blindados que possuem dois fios, nos quais trafegam as informações e alimentação para os escravos. A transmissão dos dados digitais dessa arquitetura passa por três etapas, sendo elas a montagem de telegrama, codificação de Manchester e modulação APM (Alternating Pulse Modulation).

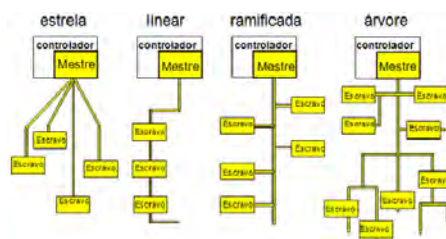


Fig. 1. Topologias da rede AS-I

Com o passar do tempo veio a necessidade em aumentar os números de escravos da rede o que ocasionou no surgimento de mais duas versões da AS-I, fazendo que essa possa ser encontrada então em três tipos 2.0, 2.1 e 3.0.

### B. PROFIBUS (Process fieldbus)

A PROFIBUS é uma das redes mais empregadas mundialmente pois, é um padrão aberto de rede, além de aceitar

equipamentos de outros fabricantes sem haver a necessidade de adaptação de dispositivos. Essa rede também é utilizada para comunicações em alta velocidade, e apresenta três versões PA, DP e FMS. PROFIBUS DP é a versão mais utilizada, principalmente na transferência rápida de dados cíclicos, que permite a alimentação de dispositivos pelo próprio barramento, ou seja, faz uso da topologia em barramento (árvore). A versão PA é um perfil menos utilizado, esse perfil atende apenas a sistemas de transmissão de sinais de 4 a 20mA ou HART, além de possuir custo maior se comparada a versão DP.

PROFIBUS FMS é utilizada na resolução de problemas complexos. Esse perfil possui comunicação a nível de célula, neste nível os controladores programáveis com PCs e CLPs comunicam apenas com eles, e pelo fato de sua comunicação ser primária, ou seja, mestre-mestre vem sendo substituída por aplicações Ethernet.

A PROFIBUS tem como base para sua arquitetura de rede o modelo OSI (Open System Interconnection), embora suas versões não façam uso de todas as 7 camadas (Física, Enlace, Rede, Transporte, Sessão, Apresentação e aplicação) a rede PROFIBUS utiliza uma adaptação desse modelo, por exemplo a DP utiliza a camada 1,2,3 e 7 enquanto a PA utiliza 1,2 e 7.

A rede PROFIBUS pode ser encontrada atuando em dois tipos de meios físicos sendo eles RS485 e/ou fibra óptica. Na versão DP pode ser vista a utilização de dois diferentes tipos de cabos, mas ambos na cor roxa. Essa arquitetura ainda é altamente flexível podendo trabalhar com múltiplo mestre e também ser integrada a outras redes como por exemplo, a rede AS-I ou PROFINET, demonstradas nas figuras [2] e [3].

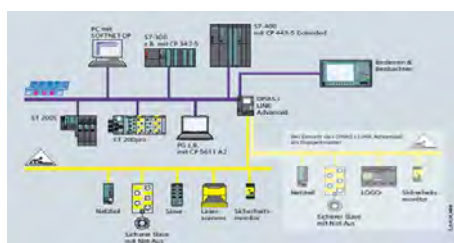


Fig. 2. PROFIBUS acoplada a rede AS-I.

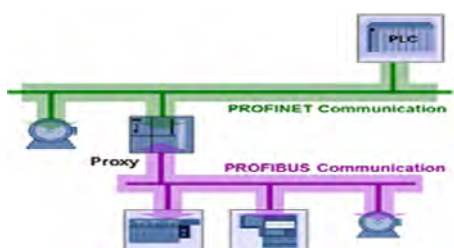


Fig. 3. PROFINET acoplada a rede PROFIBUS.

### C. PROFINET

PROFINET é um protocolo de padrão aberto baseado na rede ethernet industrial, capaz de cobrir todos requisitos de

aplicação da automação. Suas principais vantagens em relação as demais redes são:

- Uma estrutura de rede uniformizada e vertical;
- Sistema de comunicação composto por barramento único;
- não há necessidade de adicionar gateway de comunicação;
- Fácil instalação;
- Protocolo aberto;
- Menor custo de propriedades;
- Manutenção inteligente;
- Economia de energia;
- Alta disponibilidade e segurança;
- Permite integração com outras redes de campos;
- Permite vários tipos de topologia e utilização de switches;
- Acesso a dispositivos de campo online direto;
- Baixo custo para monitorar os dados de qualidade de produção;
- Sincronismo, trocas de informações entre equipamentos e supervisão pode ser atingido dentro desse padrão;

1) *Meio físico*: O padrão PROFINET utiliza como meio físico o par trançado blindado e fibra óptica. Em algumas aplicações onde os cabos e as fibras caracterizam um obstáculo é possível utilizar o wireless (Rede sem fio), como por exemplo, controle de ambientes explosivos.

2) *Classes de dispositivos*: O PROFINET possui três tipos de dispositivos sendo eles: controlador (IO Controller), módulos de campo (IO Device) e sistemas de supervisão (Supervisor) apresentando as seguintes características:

- *Controlador (IO Controller)*: Sistema central, onde as informações são controladas.
- *Módulos de campo (IO Device)*: Dispositivos de campo remoto que mantém comunicação com um controlador.
- *Sistemas de supervisão (Supervisor)*: Dispositivos gráfico, programável, que comissiona e tem função de diagnóstico na rede.

3) *Meios de comunicação*: A PROFINET pode operar de três formas distintas sendo duas delas para acesso em tempo real e uma para não tempo real, essas operam da seguinte maneira:

- *TCP/IP*: : Essa arquitetura é chamada de Non-real time pois o tempo de processamento é igual a 100ms. Utilizada principalmente em parametrização, configuração e diagnóstico.
- *Real-time RT*: É uma arquitetura que interliga diretamente a camada de ethernet à aplicação. Com a eliminação de vários níveis de protocolo há uma redução no comprimento das mensagens transmitidas, necessitando de menos tempo para transmitir as informações na rede. Seu principal objetivo é a transmissão cíclica de dados, como por exemplo sinalizações de alarmes e eventos.
- *Isochronous real-time (IRT)*: : Essa configuração é utilizada em aplicações onde o tempo de processamento é muito importante, tempo este com variações menores que 1μs como por exemplo o controle de robôs (braços mecânicos).

4) **PROFIENERGY**: O **PROFIENERGY** é umas das funções da **PROFINET** capaz de eliminar o consumo excessivo de energia das máquinas na indústrias. Durante intervalos longos como o período noturno e finais de semanas em produções não continuas.

Seu funcionamento consiste na análise do consumo de energia, não havendo o mesmo, a energia elétrica é reduzida de forma que os dispositivos fiquem ativos, mas consumindo o mínimo possível, reduzindo a média dos gastos com energia.

Estima-se uma economia de até 80% em longas pausas, uma outra vantagem é que a planta industrial fica disponível imediatamente para reiniciar o processo. É possível também usar uma função para pequenas pausas que chegam a reduzir o consumo em até 40%.

### III. APLICAÇÃO PRÁTICA

A aplicação prática tem como função demonstrar umas das vantagens citadas anteriormente sobre a **PROFINET**, onde a mesma permite vários tipos de topologia e utilização de switches. As montagens em seguida, serão divididas em três fases sendo elas Mestre-Escravo, Múltiplos Mestres e Escravos, e Duas redes múltiplos escravos independentes compartilhando a mesma infraestrutura.

#### A. Mestre-Escravo

Nesta etapa será abordada a montagem, configuração e entendimento de uma rede **PROFINET** Mestre-Escravo e também uma análise de funcionamento e comando de seus elementos de rede. Os dispositivos implementados a rede foram a CPU da Siemens S7-1500 1516-3 PN/DP como mestre e o módulo IO **PROFINET** X20BC00E3 da B&R como escravo.

A CPU Siemens possui três interfaces sendo elas X1 e X2 **PROFINET** e X3 **PROFIBUS**, para a montagem foi somente utilizada a X1. Dessa forma foi ligada a CPU um cabo de rede **ETHERNET** que conectava a mesma a um computador onde foram feitas as configurações da rede e outro cabo que ligava a CPU ao módulo IO.



Fig. 4. CPU da Siemens S7-1500 1516-3 PN/DP.



Fig. 5. CPU S7-1500 utilizada na montagem.

O módulo da B&R é responsável pela comunicação entre mestre e escravo, mas o mesmo ainda necessita de dois cartões sendo eles X20PS9400 e X20CM8281 que por sua vez são uma fonte de alimentação e um módulo universal IO respectivamente.

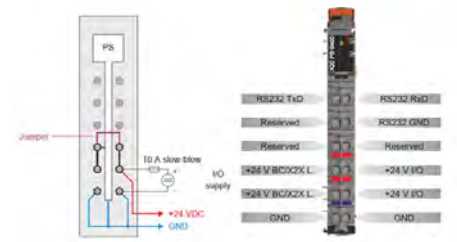


Fig. 6. Módulo X20PS9400.

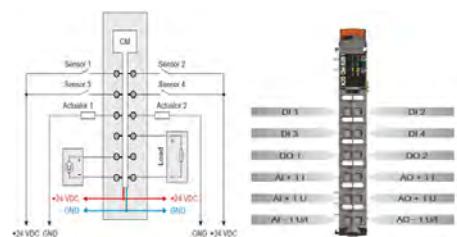


Fig. 7. Módulo X20CM8281.

Todas as configurações feitas foram realizadas utilizando o **TIA PORTAL V13**, como a **PROFINET** se trata de uma rede ethernet, é imprescindível configurar os endereços IP dos dispositivos para que não haja conflito entre eles. Vale lembrar que esse perfil de rede aceita qualquer tipo de topologia, basta que os mesmos estejam conectados entre si. Dessa forma, à fim de exemplificar todo o processo são apresentadas as imagens abaixo retiradas das montagens.

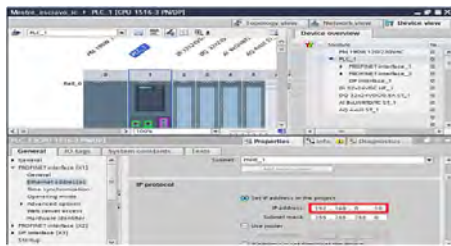


Fig. 8. Configuração do IP do CLP S7-1500.

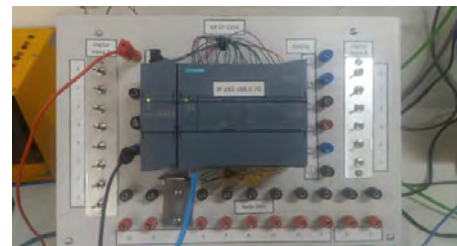


Fig. 11. CLP CPU 1214C-DC/DC/DC.

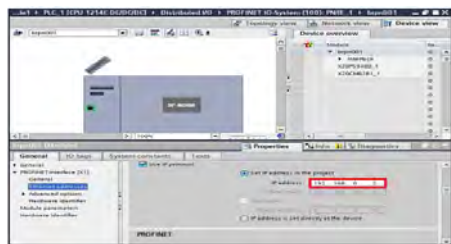


Fig. 9. Configuração do IP módulo B&amp;R.

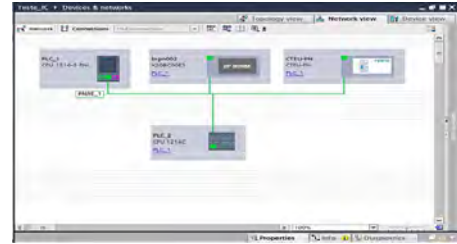


Fig. 12. Montagem da rede no TIA PORTAL.

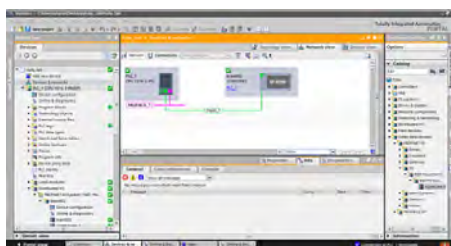


Fig. 10. Validação da rede.

### B. Múltiplos Mestres e Escravos

Para essa aplicação será utilizado o CLP S7-1500 e o módulo da B&R já empregados anteriormente. Os novos elementos da rede serão a válvula da festo CTEU-DN e o CLP CPU 1214C-DC/DC/DC também da fabricante Siemens, embora essa CPU esteja sendo controlada pela S7-1500, ela também pode cumprir o papel de um segundo mestre, por exemplo, para uma segunda rede como PROFIBUS ou para outros módulos, evidenciando a facilidade que a PROFINET tem de se adaptar aos vários tipos de redes e topologias.

Dessa maneira foi-se montada a rede a seguir e executado alguns comandos para demonstração dessa aplicação. Para essa montagem é importante ressaltar que se foi utilizado um switch não gerenciável pois o CLP S7-1500 não dispunhas de saídas suficientes para se conectar a todos elementos da rede.

A figura 14 mostra as linhas de comando iniciais com o intuito de testar a interação de todos elementos da rede de forma simples. Na primeira linha uma das entradas digitais do módulo B&R aciona uma válvula (I21.0) do módulo festo (Q12.0), que pode ser observado na figura 15 pelo monitor em tempo real do TIA PORTAL e pela figura 16 mostrando o funcionamento prático observados pelos seus respectivos LEDs.

Na segunda linha uma das entradas digitais (I0.7) do CLP (mestre) aciona uma segunda válvula do módulo festo (Q12.1) quando a entrada digital (Q21.1) do módulo B&R também se encontra ativada, ambos casos estão demonstrados na pratica pelas figuras 17 e 18 respectivamente. Já na terceira linha a estrada digital do CLP (Q20.0), teste pratico comprovado pela figura 19. Os endereçamentos das portas são definidos automaticamente conforme a adição dos módulos na rede.

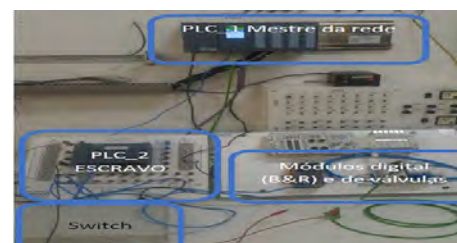


Fig. 13. Montagem Prática da rede.



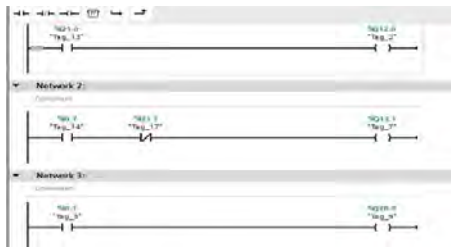


Fig. 14. Lader para os testes iniciais



Fig. 15. Entrada digital 1 do módulo B&amp;R aciona a válvula da Festo.



Fig. 16. Funcionamento na pratica.



Fig. 17. Porta do CLP ativando válvula da Festo, sendo travada por uma entrada digital do módulo B&amp;R.



Fig. 18. Porta do CLP ativando válvula da Festo.



Fig. 19. Porta do CLP ativando saída digital do módulo B&amp;R.

### C. Duas redes múltiplos escravos independentes compartilhando a mesma infraestrutura.

Para essa implementação foi-se usado um switch gerenciável, modelo SG-1002-MR da fabricante Intelbras, afim de configurar duas redes simultâneas. Também foram adicionados, mas dois CLP CPU 1214C-DC/DC/DC. Dessa forma a primeira rede ficou composta por um CLP CPU 1214C-DC/DC/DC como mestre e fazendo o papel dos escravos o módulo B&R e a válvula da Festo.

Como segunda rede implementada, usou-se o CLP S7-1500 como mestre e duas CPU 1214C-DC/DC/DC como escravos. A separação das redes é feita através das configurações das portas do switch através de diferentes V pns como é demonstrado nas imagens 21 e 22.



Fig. 20. Switch SG-1002-MR Intelbras.

VLAN ID:	1024	(2-4094)
Descrição:	rede 1	(16 caracteres no máximo)

Membros da VLAN				
Selecionar	Porta	Modo da Porta	Regra de Saída	Link
<input type="checkbox"/>	1	Acesso	UNTAG	---
<input type="checkbox"/>	2	Acesso	UNTAG	---
<input type="checkbox"/>	3	Acesso	UNTAG	---
<input type="checkbox"/>	4	Acesso	UNTAG	---
<input type="checkbox"/>	5	Acesso	UNTAG	---
<input type="checkbox"/>	6	Acesso	UNTAG	---
<input type="checkbox"/>	7	Acesso	UNTAG	---
<input type="checkbox"/>	8	Acesso	UNTAG	---
<input type="checkbox"/>	9	Acesso	UNTAG	---
<input type="checkbox"/>	10	Acesso	UNTAG	---

Fig. 21. Configuração da rede 1 no switch gerenciável.

VLAN ID:	1025	(2-4094)
Descrição:	rede 2	(16 caracteres no máximo)

Membros da VLAN				
Selecionar	Porta	Modo da Porta	Regra de Saída	Link
<input type="checkbox"/>	1	Acesso	UNTAG	---
<input type="checkbox"/>	2	Acesso	UNTAG	---
<input type="checkbox"/>	3	Acesso	UNTAG	---
<input type="checkbox"/>	4	Acesso	UNTAG	---
<input type="checkbox"/>	5	Acesso	UNTAG	---
<input type="checkbox"/>	6	Acesso	UNTAG	---
<input type="checkbox"/>	7	Acesso	UNTAG	---
<input type="checkbox"/>	8	Acesso	UNTAG	---
<input type="checkbox"/>	9	Acesso	UNTAG	---
<input type="checkbox"/>	10	Acesso	UNTAG	---

Fig. 22. Configuração da rede 2 no switch gerenciável.

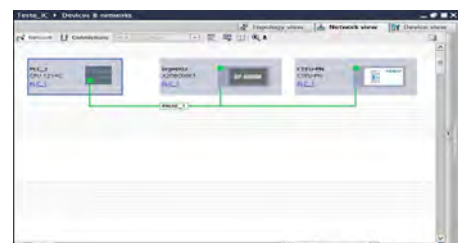


Fig. 23. Montagem da rede 1 no TIA PORTAL.



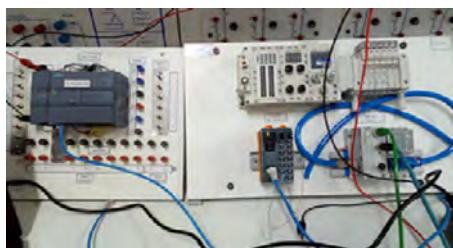


Fig. 24. Montagem da rede 1 na Prática.

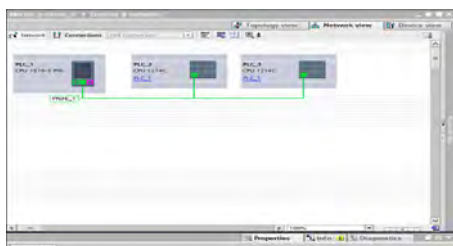


Fig. 25. Montagem rede 2 no TIA PORTAL.

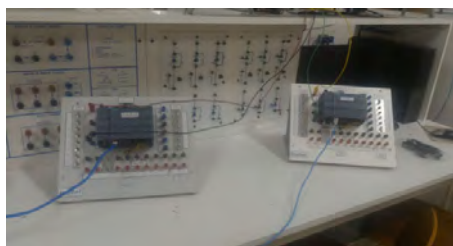


Fig. 26. Montagem da rede 2 na prática.

Como a rede PROFINET, é uma rede baseada no padrão de rede ethernet, ela possui a versatilidade de usar software analisadores de rede ao invés de equipamentos de alto valor financeiro, a seguir segue um exemplo utilizando o Wireshark, software este que faz a fragmentação dos pacotes da rede em nível de bits. No exemplo, pode-se notar o envio de pacotes de um dispositivo a outro quando se é executado um comando.

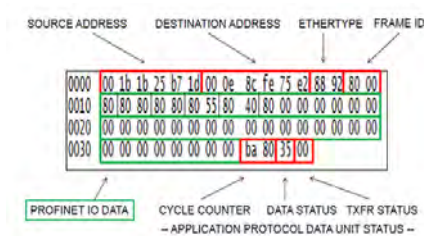


Fig. 27. Descrição do quadro PROFINET.

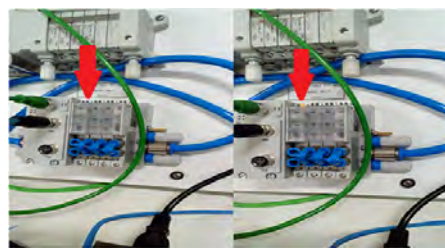


Fig. 28. Comando para ativação da válvula da Festo.

130 8 80300	Siemens_cp07-06	Bernecke_36-00-0a	PROFI	08 871210000, 20-00-00, Lant: 40, Cycle:34070 (Initial,Primary,20,Run)
131 8 80300	Bernecke_36-00-0a	Siemens_cp07-06	PROFI	08 871210000, 20-00-00, Lant: 40, Cycle:34070 (Initial,Primary,20,Run)
132 8 80307	Bernecke_36-00-0a	Siemens_cp07-06	PROFI	08 871210000, 20-00-00, Lant: 40, Cycle:34070 (Initial,Primary,20,Run)
133 8 80306	Siemens_cp07-06	Festo_40-00-00	PROFI	08 871210000, 20-00-00, Lant: 40, Cycle:34070 (Initial,Primary,20,Run)

Fig. 29. Quadro de bits enviado do CLP S7 1500 a válvula da Festo para realização do comando.

#### IV. CONCLUSÕES

Com todos os dados levantados pelo presente trabalho realizado fica evidente o porquê do uso da rede PROFINET nos ambientes industriais pois, além da versatilidade da rede em permitir diversas topologias e se unir a diferentes redes, esta pode promover uma maior eficiência e menores recursos financeiros após a instalação da mesma.

Vale ressaltar que por ser uma rede baseada no protocolo TCP/IP a PROFINET, pode oferecer vários endereços, atingindo dessa forma um alto número de equipamentos, além de poder criar diversas sub-redes e também fazer uso de VLANs para compartilhar uma mesma Infraestrutura, o que é de suma importância para indústria, pois diminui o espaço gasto pelos equipamentos.

Embora este artigo tenha chegado as várias informações, este ainda poderia conter mais teste como o uso de roteadores junto ao switch e também aplicações de PROFIENERGY e outras funcionalidades da PROFINET, se os experimentos fossem realizados dentro de um ambiente industrial.

#### REFERÊNCIAS

- [1] LUGLUI BARATELLA, Alexandre; DIAS SANTOS, Max Mauro. Redes Industriais para Automação Industrial AS-I, PROFIBUS e PROFINET. 1ª Edição. São Paulo: Editora Erica Ltda. 2012. 174p., vol. 1, no. 8, pp. 1-22. August 2002.
- [2] Rede PROFINET. Disponível em <http://www.profinet.org.br/profinet/>.
- [3] Uma visão do protocolo industrial. Disponível em: [http://www.profinet.org.br/artigos\\_tecnicos/uma-visao-do-protocolo-industrial-profinet-e-suas-aplicacoes](http://www.profinet.org.br/artigos_tecnicos/uma-visao-do-protocolo-industrial-profinet-e-suas-aplicacoes).
- [4] Redes sem fio em profibus e profinet. Disponível em: <http://www.profinet.org.br/noticia/redes-sem-fio-em-profinet>.
- [5] Siemens. Disponível em: <https://support.industry.siemens.com/dl/files/imagepool/products/372/6372/v1/P.ST70-XX-06248i.jpg>.
- [6] Profinet. Disponível em: <http://www.profinet.org.br/downloads/pdfs/Profinet%20set%202010.pdf>.

# Sistema de Monitoramento da Irrigação de Cana-de-Açúcar Utilizando Ethernet e Banco de Dados

Caio Castro Rodrigues

Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA  
caiocastro.eng@gmail.com

Daniel Felipe Cardoso Pereira de Almeida

Faculdade Estácio de Belém – IESAM  
danielfelipe.eng@gmail.com

João Vitor Natal Silva Quincó Maciel

Faculdade Estácio de Belém – IESAM  
joaquinco.eng@gmail.com

Nilcilene Branquinho da Silva

Faculdade Estácio de Belém – IESAM  
nilci\_branquinha@hotmail.com

Paulo Henrique Lisboa Pinheiro

Faculdade Estácio de Belém – IESAM  
paulo.mecanica2010@hotmail.com

**Abstract**— The article is dedicated to the development and validation of a data storage and monitoring system, related to the management of the sugarcane crop in order to optimize the irrigation process. For a system configuration, using the Arduino microcontroller as a main processing unit, an ethernet shield interfaces between the router and the microcontroller, this is a feature that allows the installation of a local ethernet network, the data was obtained through sensors and transducers are processed and sent to the database, which, in turn, provides an HTML-based computer language for interaction with the user.

**Index Terms**— Database, sugar cane, ethernet, irrigation, microcontroller.

**Resumo**— Neste artigo é proposto o desenvolvimento e validação de um sistema de monitoramento e armazenamento de dados, relacionados ao manejo da cultura de cana-de-açúcar, com o intuito de otimizar o processo de irrigação. Para a confecção do sistema, utilizou-se o microcontrolador Arduino Uno como principal unidade de processamento, a ethernet shield realiza a interface entre o roteador e o microcontrolador, esta funcionalidade possibilita integrar os dispositivos à rede ethernet local, os dados foram obtidos através de sensores e transdutores os mesmos são processados e enviados ao banco de dados, que por sua vez, disponibiliza em uma interface desenvolvida na linguagem computacional HTML para interação com o usuário.

**Palavras chave**— Banco de dados, cana de açúcar, ethernet, irrigação, microcontrolador.

## I. INTRODUÇÃO

Introduzida no período colonial, a cana-de-açúcar se transformou em uma das principais culturas da economia brasileira. O Brasil é o maior produtor de cana e a cada ano

vem aumentando sua produção. É também o primeiro do mundo na produção de açúcar e etanol, e conquista o mercado externo com o uso do biocombustível como alternativa energética [1]. O aumento na produtividade de cana-de-açúcar verificado nos últimos anos se deve, entre outros fatores, às melhorias no uso de tecnologias voltadas para o manejo agrícola e através disso a procura da incorporação de novas áreas [2]. A incorporação dessas áreas facilita o plantio de cana de açúcar em locais antes considerados impróprios ao cultivo devido a deficiência hídrica [3].

A disponibilidade de água é um fator significativo que deve ser destacado visto que influencia na produtividade das culturas. Entretanto, nem sempre as chuvas atendem à real necessidade hídrica das plantas. Nestas situações, há exigência de se fornecer água através da irrigação. A irrigação pode reduzir ou eliminar os danos causados pelos períodos de déficit hídrico. O uso de irrigação apresenta aumentos de 13% a 16 % na produtividade de cana planta [4].

A mensuração da umidade do solo tem sido adotada como uma ferramenta importante nos trabalhos relacionados ao manejo da irrigação. Os métodos indiretos, estimam a umidade do solo mediante a aferição de propriedades do solo, são rápidos, práticos e permitem a repetitividade no espaço e no tempo, também permitem automação, embora exijam calibração para aumentar a precisão das medições. Dentre os métodos indiretos utilizados para aferir a umidade do solo os mais usados são os quais baseiam-se na constante dielétrica do solo.

A constante dielétrica é a capacidade de um material não condutor em transmitir ondas ou pulsos eletromagnéticos de certas frequências. Pequenas mudanças no conteúdo de água do solo podem ter grande influência na capacitância.

Neste cenário é primordial um sistema que faça o controle da irrigação através do sensoramento da constante dielétrica do solo, guardando as informações coletadas em um banco de dados com conexão ethernet, e que funcione de forma automática visando o gerenciamento do recurso hídrico junto

a planta, para que o crescimento da cana seja da melhor forma dentro do que compete a irrigação.

## II. SISTEMA AUTOMÁTICO DE IRRIGAÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR POR GOTEJAMENTO

A cana-de-açúcar é uma cultura semi-perene, pois após o plantio, ela é cortada várias vezes antes de ser replantada. Seu ciclo produtivo é, em média, de seis anos com cinco cortes. As principais tecnologias com potencial de contribuição para a produtividade e sustentabilidade da cana-de-açúcar estão associadas a vários fatores, entre eles o melhoramento genético, o gerenciamento agrícola, técnicas de plantio, os tratamentos culturais e a colheita.

Para a implantação de um canavial, atualmente busca-se obter talhões planos mantendo linhas de cana com grande comprimento para evitar manobras das máquinas, otimizando operações mecanizadas, dessa forma possibilitando que a irrigação seja realizada de forma eficiente. O método de irrigação mais utilizado quando se trata de cana de açúcar é o gotejamento. Desde que a tecnologia do gotejamento foi inventada em 1965, ela provou por si só ser tecnicamente e economicamente viável em vários tipos de climas e cultivos, que incluem a cana-de-açúcar. A tecnologia do gotejamento ainda proporciona grande economia de água, fertilizantes, mão de obra e energia necessária para o bombeamento da água. No longo prazo, cálculos econômicos mostram que o gotejamento é o sistema que mais se adapta ao produtor de cana que quer aumentar seu retorno financeiro [5].

O controle da irrigação é primordial para que se possa obter resultados satisfatórios após a colheita, o gerenciamento dos recursos hídricos é feito através de dispositivos eletrônicos programáveis, por meio de sensores de umidade do solo podemos obter dados referentes a constante dielétrica do solo analisado, possibilitando calcular os níveis adequados de umidade para a plantação.

## III. METODOLOGIA

O desenvolvimento experimental do trabalho proposto foi executado nas seguintes orientações: A – Escolha dos sensores e montagem do circuito eletroeletrônico; B – Implementação do algoritmo do sistema embarcado; C – Estruturação do sistema supervisor e banco de dados.

### A. Escolha dos sensores e montagem do circuito eletroeletrônico

O sensoriamento da constante dielétrica foi possibilitado através do sensor de umidade do solo, mostrado na figura 1.

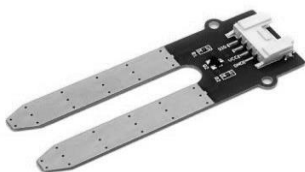


Figura 1. Sensor Grove de Umidade do Solo  
(Fonte: Seed Studio)

Este sensor possui três pinos, sendo um de saída com sinal analógico, um de alimentação 5V e outro GND (ground). Os elementos sensíveis do sensor são as hastes metálicas paralelas, para a determinação da umidade do solo, onde é aplicada uma tensão em uma das hastes, que por sua vez se propaga pelo solo até a outra haste que é sensível a variação de tensão, esse fenômeno ocorre pelo fato de a água não pura conduzir corrente elétrica, dessa forma quanto maior a quantidade de água presente no solo maior será a tensão percebida pelo sensor, este dado está intimamente ligado com temperatura e umidade relativa do ar, pois a temperatura ambiente influencia na absorção da água pelo solo.

A obtenção dos dados de temperatura e umidade relativa do ar foram obtidos através do sensor DHT22, o sensor de umidade e temperatura modelo AM2302 presente no circuito do DHT22 (Figura 2) é um sensor de baixo consumo de corrente, e internamente possui um sensor de umidade capacitivo e um termistor, além de um conversor analógico/digital para comunicação com o microcontrolador.

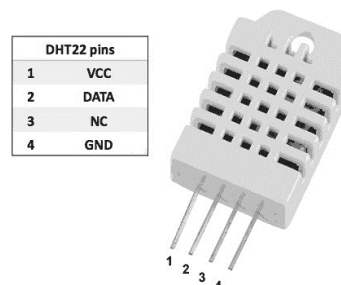


Figura 2. Sensor de temperatura e umidade relativa do ar modelo DHT22  
(Fonte: Electro Schematics)

Com os dados obtidos pelos sensores de umidade do solo e temperatura e umidade relativa do ar, foi possível obter os dados e estabelecer os padrões necessários para realizar a irrigação de forma eficiente. Outra função empregada ao sistema foi a medição do consumo de água durante a irrigação, para tal feito foram necessários dois sensores.

Dentre os sensores necessários para a determinação de nível utilizou-se o sensor ultrassônico HC-SR04 (Figura 3), possui função de medição sem contato de 2 a 400cm, com precisão de aproximadamente 3mm, sua alimentação é de 5V DC com corrente de operação de 2mA e o ângulo de efeito de 15°.

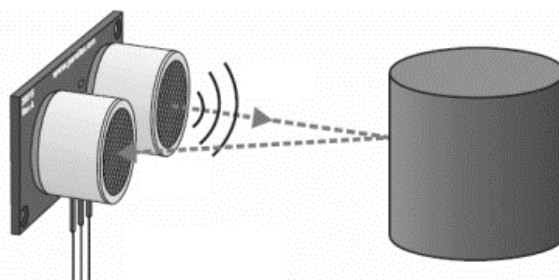


Figura 3. Sensor Ultrassônico HC-SR04  
(Fonte: (Arduino e Cia, 2014).

O princípio de funcionamento desse módulo leva em consideração o tempo em que uma onda de som emitida leva para refletir e voltar a fonte de geração da mesma, esta funcionalidade permite calcular o nível do reservatório de água.

A obtenção da vazão por minuto foi realizada através do sensor de fluxo de fluido modelo YF-S201 com diâmetro de 1/2", tornando possível calcular a quantidade de água consumida. Este equipamento funciona a partir do efeito hall, onde ao ser aplicado um campo magnético de certa intensidade será provocada uma tensão na sua saída. Inter-relacionando as medidas dos sensores ultrassônico e de fluxo foi possível determinar o consumo. Estes equipamentos foram ligados através de fios jumpers a protoboard e ao microcontrolador, a placa microcontroladora Arduino UNO (Figura 4) apresenta o esquemático do circuito elétrico e todos os componentes mencionados nessa seção.

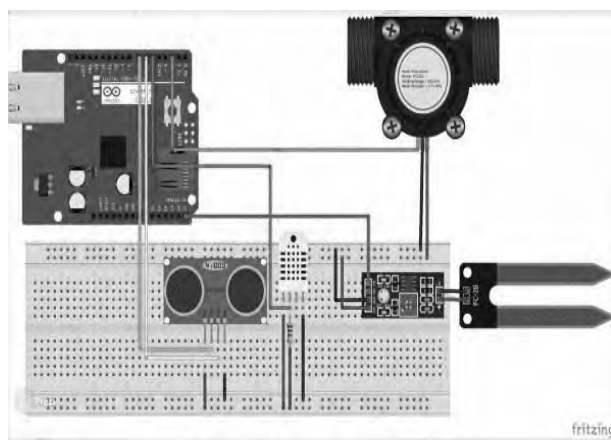


Figura 4. Esquemático do circuito feito no programa fritzing.

Optou-se pela escolha da placa microcontroladora Arduino UNO, devido sua facilidade de programação, interação com sensores e atuadores e capacidade de processamento de dados. Nesta placa é possível enviar e receber informações através de qualquer sistema eletrônico conectado a ela. Basicamente, o Arduino UNO é constituído por um controlador Atmel AVR de 8 bits, pinos digitais e analógicos de entrada e saída, entrada/saída serial, além de possuir um código aberto que permite criar variações da placa. Desse modo é possível programar o microcontrolador de forma com que os dados dos sensores sejam processados, e de acordo com a lógica implementada ative algum atuador.

#### B. Implementação do algoritmo do sistema embarcado

O sistema foi programado através de três linguagens básicas, são elas: C Arduino (C/ C++), PHP e HTML. No código foram utilizados alguns processos, de forma que seguisse dentro dos parâmetros desejados. O esboço da programação se dividiu em duas rotinas, uma apresenta a programação principal que fica responsável pela parte de atuação e leituras do sistema, no qual foram executadas através das portas analógicas e digitais. É importante frisar que alguns dispositivos como a shield ethernet e o sensor de fluxo destacaram particularidades na questão de software

apresentando bibliotecas fornecidas pelo fabricante que não se compatibilizam com a arquitetura proposta pelo código do sistema.

No código do microcontrolador foi incluído bibliotecas específicas com as parametrizações e condições iniciais para o funcionamento dos dispositivos conectados ao Arduino, a conexão à rede foi realizada com o auxílio do Ethernet Shield, no qual este dispositivo necessita que se desenvolva a programação baseada na interface SPI (Serial Peripheral Interface).

A segunda rotina ficou responsável pela criação da página HTML (Sistema Demeter), com a declaração do endereço IP e MAC do Arduino, a conexão com o banco de dados foi realizada em local host. Para a feitura das tabelas do banco de dados, foi necessário um programa em PHP contendo toda a estruturação de colunas, tamanho, espessura de linhas, declaração de variáveis para incremento das informações lidas pelos sensores e principalmente a conexão com o servidor local, que será detalhado mais a fundo na subseção abaixo. As figuras 5 e 6 apresentam a ilustração do sistema de comunicação e o hardware montado, respectivamente.

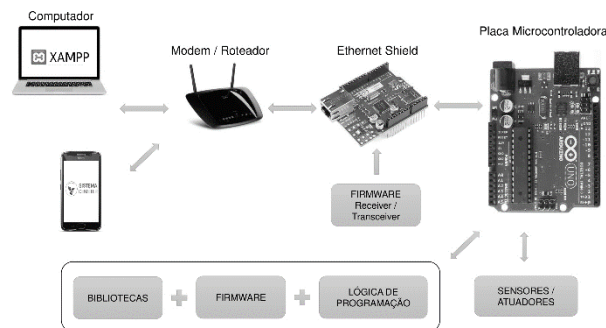


Figura 5. Ilustração do sistema.

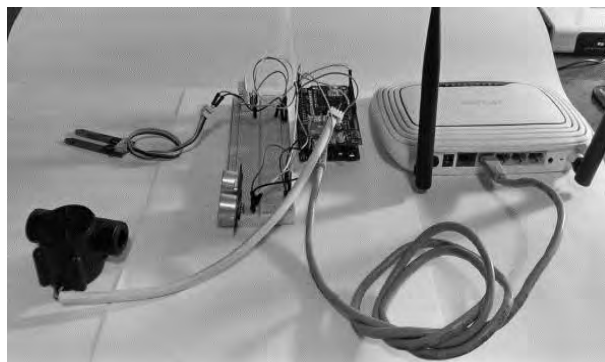


Figura 6. Hardware montado do sistema proposto.

#### C. Estruturação do sistema supervisor e Banco de Dados

A grande adversidade do projeto esteve relacionada à vinculação do banco de dados com o Arduino, onde as informações obtidas pelos sensores e o salvamento da mesma aconteceram de forma simultânea. Com isso, foi feito a inclusão do software Xampp, que é uma plataforma livre no qual proporciona a criação de um servidor web local para fins



de teste. A comunicação do arduino e o Xampp foi realizada através de uma porta, onde foi necessário desabilitar manualmente o firewall do Windows e definir a porta 80 para executar a comunicação e tornar esse link um server local host.

Através do phpMyadmin foi montado uma tabela com a declaração das variáveis que foram salvas, vale ressaltar que foi adotado os mesmos elementos do Arduino nas tabelas do banco de dados, estabelecendo assim um padrão em que facilitou o desenvolvimento do código na linguagem PHP de conexão entre o arduino e o servidor local. Essa ligação foi feita através da plataforma MySQL, no qual permitiu o salvar as informações entregues pelos sensores.

Por fim, foi implementada uma página HTML (Figura 7) com todas as informações de umidade, temperatura, fluxo de água, nível, data, hora e o auto incremento da medida lida. Um ponto importante a se destacar é que a página acessa as últimas 30 medidas, com a intenção de apresentar para o usuário as variações observadas pelos sensores.



Figura 7. Página Montada em HTML utilizada como sistema supervisorio e gerenciamento de dados.

#### IV. RESULTADOS

Para a obtenção dos resultados, o sistema proposto foi testado em um canal que possui área de estudo com cana-de-açúcar experimental, no município de Santarém no estado do Pará. Essa área possui 2 fileiras de 18m de comprimento de cana plantada, com espaçamento de 1m entre as fileiras, possuindo sistema de irrigação por gotejamento e gotejadores distribuídos uniformemente.

Utilizou-se dois pontos de referência para as medições, então colocou-se os sensores de umidade do solo enterrados a uma distância de 30cm da superfície, dessa forma a irrigação foi ligada de forma usual como de costume até atingir a umidade necessária observada pelos cuidadores do local. A tabela 1 apresenta os dados de 500 medições discretizadas em dois segundos com o solo considerado úmido para esse tipo de cultura.

TABELA 1  
DADOS PARA SOLO ÚMIDO

	Valor analógico lido pelo microcontrolador
Média	680
Máximo	697

Mínimo	613
Mediana	676

Após a determinação do valor do solo úmido, a irrigação foi ligada novamente para determinar quanto mede o solo em condições de água acima do necessário ou solo muito úmido, as 500 medições nessa ocasião apresentaram os seguintes aspectos mostrados na tabela 2.

TABELA 2  
DADOS PARA SOLO MUITO ÚMIDO

	Valor analógico lido pelo microcontrolador
Média	850
Máximo	923
Mínimo	730
Mediana	838

Mais tarde quando os cuidadores observaram que o solo estava seco, o sistema registrou 500 medições apresentadas na tabela 3.

TABELA 3  
DADOS PARA SOLO SECO

	Valor analógico lido pelo microcontrolador
Média	400
Máximo	458
Mínimo	352
Mediana	396

Dessa forma obtivemos os seguintes dados a partir de 1500 medições mostrados na tabela 4.

TABELA 4  
DADOS DE REFERÊNCIA PARA O SOLO

Estado do solo em relação a umidade	Valores lidos (convertidos de analógicos para digitais)	Tensão da saída do sensor em volts
Seco	0 a 400	0 a 2v
Ideal	400 a 680	2,1 a 3,5v
Muito úmido	680 a 1023	3,5 a 5v

Após a determinação dos níveis de operação da irrigação o sensor de nível foi instalado na tampa do reservatório de água, o sensor de fluxo de fluidos foi colocado como junta entre o cano de onde a água é provida e o cano que contém os gotejadores, dessa forma calculou-se o volume de água utilizada e a vazão em litros por minuto.

Vale ressaltar o fato constatado que se o sensor de umidade marcar 350, são necessários 70 litros de água para que o valor medido chegue a 680, esses dados foram obtidos a partir do sistema supervisorio (Sistema Demeter).

Outro fato importante de ser mencionado é que o software apresentou estabilidade e robustez, salvando no banco de dados e mostrando no sistema supervisorio os mesmos dados processados pelo microcontrolador, não havendo perdas no sistema de comunicação. O tempo entre o processamento e a exibição dos dados ficou por volta de 120ms.

#### V. CONCLUSÃO



Os resultados da aplicação do sistema em campo foram satisfatórios para as medições realizadas. Diante a isto, pode-se afirmar que o sistema gera benefícios aos produtores e que pode ser uma ferramenta muito interessante se incorporada a culturas não só de cana de açúcar. Visto que seja um sistema de baixo custo, percebemos que não apresenta alta precisão, sendo necessário fazer médias para a determinação da condição de umidade do solo a partir de várias medições.

Estudos sobre a precisão e calibragem do sensor mostraram-se viáveis no cenário apresentado, assim como a introdução da conexão à internet, não se limitando apenas a intranet.

#### REFERÊNCIAS

- [1] MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2105), “Cana-de-Açúcar”, disponível em: <http://agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-deacucar> (Acesso em: 18 de dezembro de 2015).
- [2] Barbosa, E. A. A.; Arruda, F. B.; Pires, R.C. M.; Silva, T. J. A. and Sakai, E. (2012), “*Cana-de- açúcar fertirrigada com vinhaça e adubos minerais via irrigação por gotejamento subsuperficial: Ciclo da canaplanta*”, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Vol. 16, No. 9, pp. 952-953.
- [3] Manzatto, C. V.; Assad, E. D.; Bacca, J. F. M.; Zaroni, M. J. and Pereira, S. E. M. “*Zoneamento agroecológico da cana-deaçúcar: Expandir a produção, preservar a vida, garantir futuro*”. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009, 55p. 13
- [4] Rosenfeld, U. and Leme, R. J. A. “*Produtividade da cana-de- açúcar irrigada por aspersão – estudo de épocas de irrigação*”. In: Congresso Nacional Da Stab, 3, 1984, São Paulo. Anais...p. 77-84.
- [5] Braz, Antônio A. “*Hidráulica e Irrigação*”. Revista Produtor Rural. Cuiabá, v.14, p.28, out.2008.

# Estudo do uso da conexão por HTTPS para fazer a transmissão do streaming

Leonardo Borges Faria de Oliveira

Vinícius Pereira Silva

Carlos Augusto Rocha

Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL

Av. João de Camargo, 510-Centro

Santa Rita do Sapucaí, Brasil, 37540-000

**Abstract** - With the popularization of digital media increasing, streaming appears as one of the main ways of transferring audio and video without the need to download them. However, it was necessary to add tools so that these transmissions are carried out safely. This work presents a theoretical study on Streaming, in addition to how the security tools were implemented.

**Key words** – HTTPS, streaming, security and transmission.

**Resumo** – Com a popularização das mídias digitais cada vez maiores, o streaming surge como uma das principais formas de transferência de áudio e vídeo sem a necessidade de realizar o download dos mesmos. Porém, foi necessário acrescentar ferramentas para que estas transmissões sejam realizadas de forma segura. Este trabalho apresenta um estudo teórico sobre Streaming, além de como as ferramentas de segurança foram implementadas.

**Palavras chave** – HTTPS, streaming, segurança e transmissão.

## I. INTRODUÇÃO

Streaming é uma forma de transmissão de som e imagem (áudio e vídeo) através de uma rede qualquer de computadores sem a necessidade de efetuar downloads do que está se vendo e/ou ouvindo, pois neste método a máquina recebe as informações ao mesmo tempo em que as repassa ao usuário.

O nome Streaming deriva da palavra stream que significa pacotes, pois a máquina recebe as informações em forma de pacotes para serem remontados e transmitidos aos ouvintes. Este armazenamento é denominado buferização, que é um mini armazenamento do que será enviado logo em seguida, este armazenamento em buffer ocorre sempre que a transmissão é iniciada ou sua volta quando a mesma é interrompida.

Com a chegada da banda larga, a tecnologia ganhou mais espaço. A popularização do streaming traz um número incalculável de possibilidades. Porém com essa globalização, os chamados “hackers” também aparecem, diante disso é necessário a implementação de ferramentas que protejam os clientes. Recentemente o Netflix, um dos principais serviços online de filmes e séries de TV incluiu em seus mecanismos de segurança o HTTP seguro (HTTP sobre TLS ou HTTPS), que é uma camada de proteção na transmissão de dados entre seu computador e o servidor. Em sites com endereço HTTPS, a comunicação é criptografada, o que aumenta a segurança de dados transmitidos. É como se cliente e servidor conversassem uma língua que só as

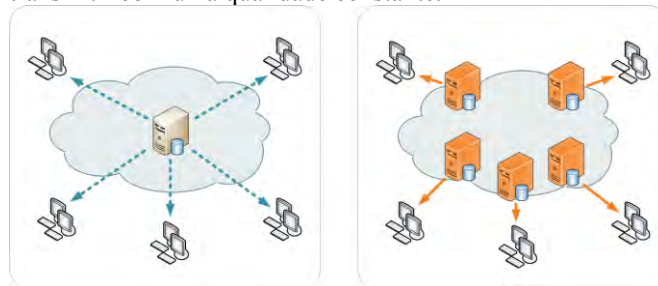
duas entendessem, dificultando a interceptação das informações.

A demora para adesão a esse serviço pela empresa se dava pelo fato de que a carga que essa porção maior de segurança exigiria dos sistemas, já que, no início dos testes, foi verificada uma queda de mais de 50% no desempenho das conexões, além do custo elevado. Para um sistema que se apoia na qualidade como um de seus principais pilares, é algo inaceitável, mas a importância desse tipo de implementação fez com que se continuasse trabalhando nela.

A tecnologia permite tanto que se acompanhe um evento ao vivo – como a cerimônia de entrega do Oscar, uma twitcam ou um show que seja transmitido diretamente pela internet – quanto que se faça uso dos serviços on-demand. Um exemplo do uso do streaming com funções on-demand é o Netflix.

## II. REDES UTILIZADAS PARA STREAMING

As redes de streaming são baseadas em CDN e oferecem um serviço do tipo adaptative streaming. Este serviço possibilita que um único vídeo possa ser transmitido em várias qualidades a partir do servidor, e o reprodutor de vídeo escolhe qual a qualidade que melhor se adapta às suas condições. Porém, uma CDN necessita de um grande número de servidores, o que torna esta arquitetura muito cara, pois cada serviço de streaming pode consumir muita largura de banda e durar muito tempo, o que significa que os recursos do lado do servidor, como a largura de banda e a capacidade podem ficar bastante limitados, dando uma má experiência ao usuário. Para resolver este problema foi proposto uma arquitetura de rede para o sistema de streaming baseada em P2P. porém um dos grandes problemas de usar uma rede P2P é a dificuldade de se transmitir com uma qualidade constante.



## III. TRANSMISSÃO DE STREAMING

### 1. A captura do conteúdo em um formato digital:

A primeira opção a realizar é capturar a mídia. Assim torna-se necessário um dispositivo de entrada. Para áudio utiliza-se um dispositivo para captura do som, como o microfone. Para vídeo é necessário equipamentos como câmeras digitais ou filmadoras.

## 2. Codificação

A estação de codificação pode ser um computador desde que o mesmo execute o software de codificação (o “encoder” como o Adobe Flash Media Live Encoder) que converte a mídia capturada em um formato de streaming, como Codec’s, Bitrate (qualidade do Streaming).

## 3. Transmissão do serviço via internet para os servidores:

Após o conteúdo ser capturado e devidamente codificado, o mesmo será transmitido via internet para nossos servidores. Seja através de FTP para Streaming On Demand ou através de programas ou equipamentos no caso do Streaming ao vivo, a internet neste ponto é muito importante, sendo necessário que a mesma tenha os pré-requisitos mínimos recomendados.

## 4. Servidores:

Estes por sua vez recebem o conteúdo transmitido ou armazenado e codifica o mesmo através de um Player Personalizado, possibilitando assim que a sua aplicação seja visualizada no formato correto, com qualidade e com a velocidade correta para seu serviço.

## 5. Acesso ao conteúdo:

Através de um Player Personalizado em um site ou no caso do Player para Facebook, os usuários terão acesso ao conteúdo transmitido, seja através de Notebook, PC ou através de dispositivos móveis como Smartphone Android, Iphone, iPad, Tablet, BlackBerry e SmartTV’s.

# IV. TIPOS DE STREAMING

## A. Streaming de Áudio:

É uma forma de distribuir o áudio pela internet através de pacotes, de forma que o áudio é salvo no computador do usuário que está recebendo, somente temporariamente até sua execução, na forma de cache, assim o áudio é constantemente reproduzido a medida que os pacotes chegam ao usuário, se a velocidade da internet for suficiente para reproduzir o áudio em tempo real. Isso permite que um usuário ouça músicas protegidas por direitos autorais na Internet sem a violação dos direitos, porque usando streaming de áudio ele não pode baixar o áudio para seu computador.

A ANATEL não regulamenta a transmissão de áudio pela internet, o que significa ela não exige nenhuma licença especial para fazer o Stream para Rádio, seja AM ou FM, para transmissão da sua rádio na web ou montar sua web rádio.



## B. Streaming de vídeo:

O sistema de streaming de vídeo, utiliza os protocolos de saída, Flash Media, Rtmp, Rtsp, HTTP e HLS, isto garante transmissões estáveis, para atender desde quem utiliza internet 3g em um dispositivo móvel, até transmissões em altíssima qualidade Full HD, fazendo com que uma Emissora de Tv, Rádio, Evento, Cultos, Palestras, vídeo cursos, possa transmitir 24 horas por dia, ampliando a audiência e oferecendo a melhor experiência possível para o usuário.

A Internet deve ter o Upload 20% acima da qualidade desejada na transmissão, e proporcional a transmissão, por exemplo, caso a transmissão seja de 160 kbps, será necessário link de 200KBPS de Upload, se for de 384 kbps, é necessário 450 kbps de Upload, e assim sucessivamente, ou seja, 20% acima do bit rate contratado.

O link recomendado é a cabo, Adsl ou Fibra, para transmissões de streaming de vídeo ao vivo normais, links 3G, WiFi (A Rádio), WiMax, 4G, ou qualquer outra tecnologia sem fio, não são recomendados, primeiro porque infelizmente no Brasil, estes serviços não são estáveis, comprometendo assim a transmissão, e segundo por aumentar consideravelmente o delay (atraso) na transmissão, entre a origem e o player do usuário.



## V. PROTOCOLOS PARA STREAMING

### 1. HTTPS

É uma camada de proteção na transmissão de dados entre seu computador e o servidor. Em sites com endereço HTTPS, a comunicação é criptografada, o que aumenta a segurança de dados transmitidos. É como se cliente e servidor conversassem uma língua que só as duas entendessem, dificultando a interceptação das informações.

### 2. HTTP PROGRESSIVO

Também conhecido como pseudostreaming, este esquema utiliza o próprio protocolo HTTP para entrega dos dados, mas não espera o final da transmissão para decodificar o conteúdo, essa decodificação é feita e o material é exibido assim que possível.

Este tipo de transmissão possui como vantagens a simplicidade, e como se utiliza um protocolo HTTP padrão é praticamente garantido que não será bloqueado pelo firewall.

Porém não é usual fazer uma transmissão ao vivo usando apenas o pseudostreaming, pois não oferece flexibilidade e não possui todas as funcionalidades do streaming, assim trata a transmissão como uma transferência de arquivo ocupando grande parte da largura de banda disponível, gerando problemas para o servidor e deixando a rede congestionada por um período de tempo, provocando atrasos para outros clientes.

Por esses e outros motivos que o HTTP progressivo não é considerado streaming real. Ele é visto como uma adaptação rudimentar do HTTP para um uso que ele não foi projetado.

### 3. HTTP ADAPTATIVO

É um protocolo adaptativo baseado em HTTP. Este tipo mecanismo serve tanto para o streaming como para o download progressivo, assim somando vantagens das duas tecnologias.

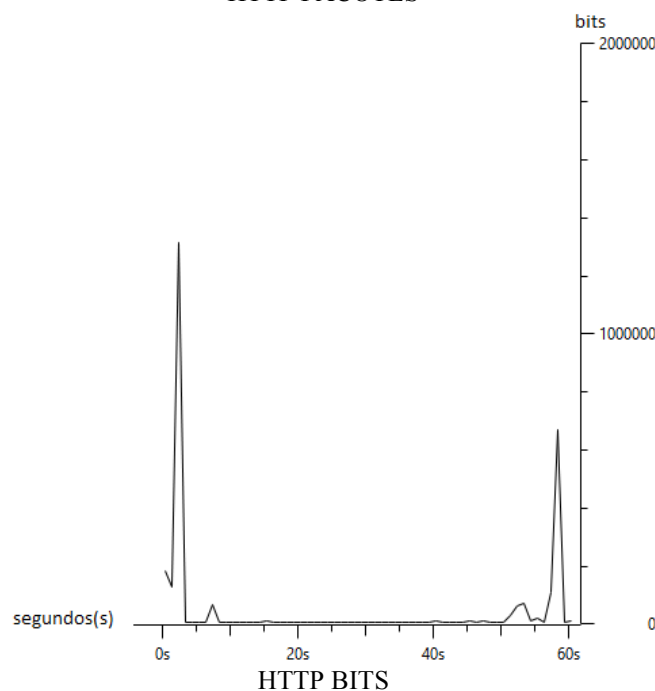
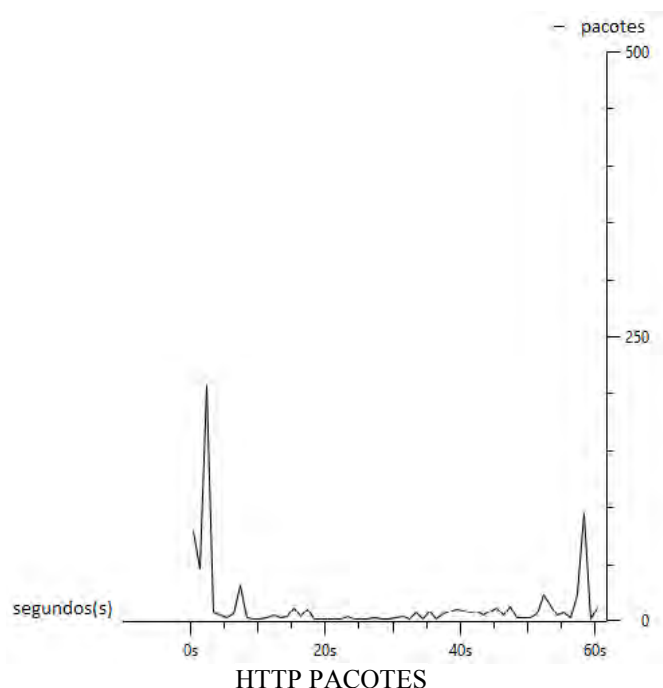
No HTTP adaptativo o cliente solicita primeiramente um arquivo de texto com a descrição do conteúdo a ser exibido. Este conteúdo encontra-se dividido em fragmentos de curta duração no servidor, podendo existir em mais de uma representação. Cada representação é uma versão da mesma mídia, mas com diferentes resoluções, taxas de codificação ou níveis de qualidade, assim o cliente pode solicitar os fragmentos via pedidos HTTP normais. Cada fragmento deste é uma unidade independente, podendo ser exibido assim que a transmissão for finalizada.

Normalmente o cliente solicita mais de um fragmento para construir um bufer local, e compensar os efeitos do jitter (variação do atraso). Além disso, o cliente tem também a possibilidade de escolher sempre o melhor nível de qualidade dependendo de vários parâmetros da rede como latência, medições de banda disponíveis, assim como também da resolução disponível e do uso da CPU.

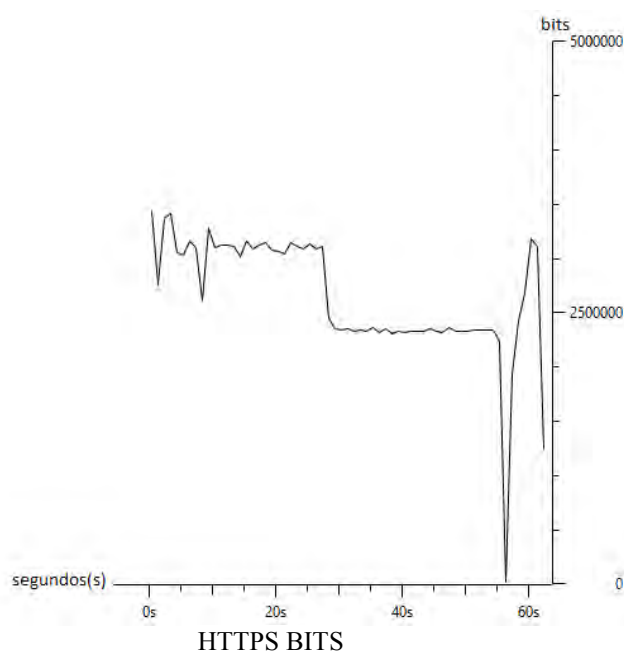
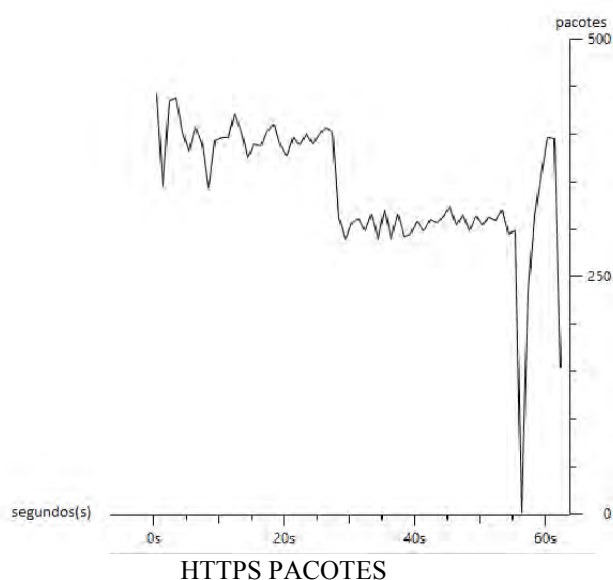
## VI. ESTUDO DE UMA TRANSMISSÃO DE STREAMING

Utilizando o software Wireshark, foi analisado um site que utiliza o protocolo HTTP. Nestas condições houve um pico no consumo de pacotes para estabelecer a conexão, depois da conexão estabelecida o consumo de pacotes se

manteve constante durante quase todo período de tempo. Este fato também pode ser visto na quantidade de bits utilizados.



Analisando uma transmissão de streaming utilizando o protocolo HTTPS obteve-se uma demanda muito maior de pacotes, devido à alta qualidade do vídeo transmitido, exigindo uma quantidade de emissão de pacotes, provocando um congestionamento temporário na rede.



Para reproduzir o conteúdo, o cliente DASH primeiro obtém o MPD. O MPD pode ser entregue usando HTTP, email, pen drive, transmissão ou outros transportes. Analisando o MPD, o cliente DASH aprende sobre o tempo do programa, disponibilidade de conteúdo de mídia, tipos de mídia, resoluções, larguras de banda mínimas e máximas e a existência de várias alternativas codificadas de componentes multimídia, recursos de acessibilidade e gerenciamento obrigatório de direitos digitais (DRM), locais de componentes de mídia na rede e outras características de conteúdo. Usando essas informações, o cliente DASH seleciona a alternativa codificada apropriada e inicia o streaming do conteúdo, buscando os segmentos usando solicitações HTTP GET.

Após o buffer apropriado para permitir variações de taxa de transferência de rede, o cliente continua buscando os segmentos subsequentes e também monitora as flutuações de largura de banda da rede. Dependendo de suas medições, o cliente decide como se adaptar à largura de banda disponível buscando segmentos de diferentes alternativas (com taxas de bits menores ou mais altas) para manter um buffer adequado.

A especificação MPEG-DASH define apenas os formatos MPD e de segmento. A entrega do MPD e os formatos de codificação de mídia contendo os segmentos, bem como o comportamento do cliente para busca, adaptação heurística e reprodução de conteúdo, estão fora do escopo do MPEG-DASH.

#### Benefícios:

O novo protocolo eliminará problemas técnicos de entrega e compactação. Essencialmente, o objetivo é combinar todas as tecnologias e padrões em um só, tornando o suporte à transmissão contínuo em todos os dispositivos. Por sua vez, visa reduzir problemas técnicos e os custos de transcodificação. Os editores de conteúdo podem gerar um único conjunto de arquivos para codificação e streaming que devem ser compatíveis com o maior número possível de dispositivos, de dispositivos móveis a OTT, bem como à área de trabalho por meio de plug-ins ou HTML5. Os consumidores não terão que se preocupar se seus dispositivos poderão reproduzir o conteúdo que desejam assistir.

## VII. PROTOCOLO DASH

A necessidade de alcançar um maior número de usuários para consumo tem sido um desafio constante para os criadores de conteúdo. O Moving Picture Expert Group (MPEG) desenvolveu vários padrões multimídia amplamente utilizados, incluindo MPEG-2, MPEG-4, MPEG-7, MPEG-21. O último padrão a ser introduzido, o Dynamic Adaptive Streaming sobre HTTP, ou MPEG-DASH, é uma tentativa de resolver as complexidades da entrega de mídia para vários dispositivos com um padrão comum unificado. O primeiro grande ensaio utilizando o MPEG-DASH ocorreu em 2012 para as Olimpíadas de Londres. Vlaamse Radio-en Televisieomroeporganisatie (VRT) ofereceu ao seu público a chance de experimentar a transmissão dos Jogos Olímpicos em seus dispositivos pessoais através do MPEG-DASH para demonstrar os benefícios do padrão para streaming adaptável.

## VIII. CONCLUSÃO

O trabalho apresentou e demonstrou transmissões de streaming tanto no protocolo HTTP como no HTTPS, evidenciando que no HTTPS a transmissão é mais segura, porém mais pesada forçando assim o uso da rede. No protocolo HTTP a transmissão ocorre de maneira mais rápida, pois este não possui a camada extra de segurança, mas ainda que o HTTP seja mais rápido, o mais usado na prática é o protocolo HTTPS, devido a sua segurança.



## IX. REFERÊNCIAS

- [1] Portal Interrogação Digital. Disponível em: <http://www.interrogacaodigital.com/central/o-que-e-streaming/>. Acesso em 4 de março de 2017.
- [2] Portal Sitehosting. Disponível em: <http://www.sitehosting.com.br/como-funciona-o-streaming/>. Acesso em 10 de março de 2017.
- [3] Portal Sitehosting. Disponível em: <http://www.sitehosting.com.br/streaming-de-audio/>. Acesso em 10 de abril de 2017.
- [4] Portal Sitehosting. Disponível em: <http://www.sitehosting.com.br/streaming-de-video-ao-vivo/>. Acesso em 26 de maio de 2017.
- [5] Wesley Porfirio, (Quase) Tudo sobre streaming. Disponível em: <http://www.administradores.com.br/artigos/tecnologia/quase-tudo-sobre-streaming/65504/>. Acesso em 1 de junho de 2018.
- [6] Mariana Coutinho, Saiba mais sobre streaming, a tecnologia se popularizou na web 2.0. Disponível em: <http://www.techtudo.com.br/artigos/noticia/2013/05/conheca-o-streaming-tecnologia-que-se-popularizou-na-web.html>. Acesso em 19 de 2017.
- [7] Portal Sitehosting. Disponível em: <http://www.sitehosting.com.br/streaming/>. Acesso em 7 de junho 2017.
- [8] Thomas De Araújo Buck, Streaming de vídeo em dispositivos móveis. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Thomas\\_Buck2/publication/242226971\\_Streaming\\_de\\_video\\_em\\_dispositivos\\_moveis/links/572e7c0308aeb1c73d129746.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Thomas_Buck2/publication/242226971_Streaming_de_video_em_dispositivos_moveis/links/572e7c0308aeb1c73d129746.pdf). Acesso em 15 de setembro de 2017.
- [9] Portal Link nacional, o que é streaming? Como posso transmitir e hospedar meu streaming de áudio e vídeo. Disponível em: <https://www.linknacional.com.br/cliente/knowledgebase/1/O-que-e-streaming-Como-posso-transmitir-e-hospedar-meu-streaming-de-audio-e-orou-video.html>
- [10] MPEG-DASH . Disponível em: <https://www.encoding.com/mpeg-dash/>. Acesso em 10 de Maio de 2018.

# Implementação de Sensoriamento Espectral para Sinais ISDBTb

Ana Carolina Vivian dos Reis  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
anareis@get.inatel.br

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

Rafaela R. Santos  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
rafaelasantos@get.inatel.br

Guilherme Pedro Aquino  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
guilhermeaquino@inatel.br

**Abstract**—This article presents a implementation of spectrum sensing techniques of ISDBTb signals applying the techniques of cooperative spectrum sensing based on the eigenvalues of the received signal covariance matrix, applying the approximate estimation techniques for the eigenvalues for the Cholesky iterations. Commonly used eigenvalue-based test statistic is assessed: the generalized likelihood ratio test. Simulation results show that the chosen eigenvalue estimation technique can produce comparable performance to that provided by the conventional method, and this technique operates satisfactorily only in situations of high signal-to-noise ratio. A computational complexity evaluation complements the analysis.

**Index Terms**—Eigenvalue Detection, Cognitive Radio, Cooperative Spectrum Sensing, Cholesky.

**Resumo**—Neste artigo é apresentada a implementação de sensoriamento espectral para sinais ISDBTb utilizando a técnica do sensoriamento espectral cooperativo com base nos autovalores da matriz de covariância de sinal recebido, aplicando a técnica de estimação aproximada dos autovalores pelo algoritmo das iterações de Cholesky. A estatística de teste comumente usada para sensoriamento baseado em autovalores também é avaliada: o teste da razão de verossimilhança generalizada. Os resultados das simulações mostram que a técnica de estimativa de autovalores escolhida pode produzir desempenho comparável ao proporcionado pelo método convencional, e que esta técnica opera de forma satisfatória apenas em situações de alta relação sinal-ruído. Uma avaliação de complexidade computacional complementa a análise.

**Palavras chave**—Detecção por Autovalores, Rádio Cognitivo, Sensoriamento Espectral Cooperativo, Cholesky.

## I. INTRODUÇÃO

A atual política de alocação fixa de radiofrequências para comunicações sem fio, combinada com o elevado crescimento do número de diferentes sistemas e da demanda por novos serviços de telecomunicações civis e militares levou ao inevitável congestionamento do espectro. No entanto, um estudo feito pela FCC (*Federal Communications Commission*) dos Estados Unidos da América demonstrou que na realidade há grande subutilização das bandas de frequência alocadas aos sistemas primários (aqueles que possuem licença de operação) [1]. Neste contexto, a tecnologia de rádios cognitivos (CR, *cognitive radio*) [2] vem sendo considerada como uma promissora solução para o problema de escassez espectral, permitindo

o uso compartilhado do espectro de radiofrequências entre usuários primários e secundários (aqueles que não detêm o direito de uso exclusivo do espectro).

Dentre as várias funções de um CR, é o sensoriamento espectral [3], [4] que permite que sejam detectadas as bandas de frequência não utilizadas, também denominadas de lacunas espectrais (*spectrum holes*). O sensoriamento espectral pode ser realizado de forma independente por cada CR, ou de forma cooperativa por mais de um CR. O sensoriamento cooperativo tem a vantagem de proporcionar maior confiabilidade na detecção do sinal primário devido ao inerente ganho de diversidade espacial produzido por CRs em diferentes posições geográficas. O sensoriamento cooperativo pode ser centralizado ou distribuído. No primeiro caso as decisões tomadas pelos CRs ou amostras dos sinais por eles recebidos são enviadas a um elemento central da rede secundária denominado centro de fusão (FC, *fusion center*), onde tais decisões ou amostras são processadas para que se tome a decisão global sobre o estado de ocupação da banda sensorizada. No sensoriamento distribuído as informações sobre a ocupação da banda sensorizada são trocadas entre os CRs e a decisão global é tomada com a participação de todos, por meio de consenso por exemplo.

Existem várias técnicas de sensoriamento espectral, dentre elas destacando-se a detecção de energia, a detecção por filtro casado, a detecção por propriedades cicloestacionárias do sinal primário e a detecção por autovalores [3]. Dentre estas, grande interesse tem sido demonstrado em pesquisas sobre o sensoriamento por autovalores, o qual tem suas estatísticas de teste baseadas nos autovalores da matriz de covariância do sinal recebido. Suas principais vantagens são a elevada confiabilidade de detecção e a não necessidade de conhecimento das características do sinal sensorizado. Em algumas técnicas de sensoriamento por autovalor também não é necessário conhecer a potência de ruído térmico no receptor, casos em que são consideradas completamente cegas.

As principais estatísticas de teste no sensoriamento por autovalores são o teste da razão de verossimilhança generalizada (GLRT, *generalized likelihood ratio test*), a detecção pela razão entre o máximo e o mínimo autovalores (MMED, *maximum-minimum eigenvalue detection*), também conhecida

como detecção pela razão de autovalores (ERD, *eigenvalue ratio detection*), e a detecção pelo máximo autovalor (MED, *maximum eigenvalue detection*), também conhecida como teste de Roy de máxima raiz (RLRT, *Roy's largest root ratio test*) [5]. Os testes GLRT e MMED são considerados cegos, enquanto o teste MED é considerado semi-cego devido ao fato de necessitar conhecer a potência de ruído.

Em quaisquer das técnicas de sensoriamento por autovalores, o desempenho é influenciado pela precisão nas estimativas dos autovalores da matriz de covariância do sinal recebido. No entanto, ao apresentar resultados de desempenho de tais técnicas, a literatura sempre considera que a estimação dos autovalores é exata. Até onde é de conhecimento dos autores, nenhum trabalho teve como foco a proposta de métodos aproximados para cômputo dos autovalores no contexto de sensoriamento espectral, nem mesmo qualquer análise da influência de erros nas estimativas dos autovalores no desempenho do sensoriamento espectral, com diferentes estatísticas de teste.

Buscando preencher esta lacuna, neste artigo é apresentada a implementação de sensoriamento espectral para sinais (ISDBTb, *Padrão Sistema Brasileiro de Televisão Digital*) por autovalores, para as estatísticas de teste GLRT utilizando a técnica de estimação aproximada dos autovalores pelo algoritmo das iterações de Cholesky. Os resultados de desempenho com tais técnicas são comparados com aqueles proporcionados pela estimação exata (em termos da álgebra linear numérica) via função `eig` do Matlab. Realiza-se também a análise de complexidade computacional que proporciona melhor solução de compromisso entre desempenho e custo computacional.

O restante deste artigo está organizado da seguinte maneira: a Seção II apresenta o modelo do sistema que descreve o problema do sensoriamento como um teste de hipóteses, bem como a definição do problema. Na Seção III descrevem-se o método de Cholesky para estimação dos autovalores da matriz de covariância. Na Seção IV apresenta a implementação no simulink. Na Seção V são apresentados e interpretados os resultados de simulação computacional. Os comentários finais estão presentes na Seção VI.

## II. MODELO DO SISTEMA E DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O sensoriamento espectral pode ser visto como um teste binário de hipóteses para o qual definem-se a hipótese nula  $\mathcal{H}_0$  (transmissor primário desativado) e a hipótese alternativa  $\mathcal{H}_1$  (transmissor primário ativo). Seu desempenho é comumente medido por meio da probabilidade de detecção,  $P_d = \Pr\{T > \gamma | \mathcal{H}_1\}$  e da probabilidade de falso alarme,  $P_{fa} = \Pr\{T > \gamma | \mathcal{H}_0\}$ , em que  $\Pr\{\cdot\}$  denota a probabilidade de ocorrência do evento em questão,  $T$  é a estatística de teste proveniente de alguma técnica de detecção (GLRT neste artigo) e  $\gamma$  é o limiar de decisão. O desempenho global do sensoriamento é tipicamente avaliado a partir de curvas ROC (*receiver operating characteristic*), nas quais  $P_d$  é expressa em função de  $P_{fa}$ .

No modelo discreto sem memória de canal com desvanecimento e ruído AWGN (*additive white Gaussian noise*), admita que há  $m$  sensores (CRs) ou um sensor com  $m$  antenas, cada

um coletando  $n$  amostras do sinal recebido de  $p$  transmissores primários durante o intervalo de sensoriamento. Tais amostras são arranjadas em uma matriz  $\mathbf{Y} \in \mathbb{C}^{m \times n}$ , a qual, sob as hipóteses  $\mathcal{H}_0$  e  $\mathcal{H}_1$ , é dada por

$$\mathbf{Y} = \begin{cases} \mathbf{V} : \mathcal{H}_0 \\ \mathbf{H}\mathbf{X} + \mathbf{V} : \mathcal{H}_1. \end{cases} \quad (1)$$

em que as amostras dos sinais transmitidos são dispostas na matriz  $\mathbf{X} \in \mathbb{C}^{p \times n}$  e as amostras de ruído AWGN de média nula e variância  $\sigma^2$  são dispostas na matriz  $\mathbf{V} \in \mathbb{C}^{m \times n}$ . Por fim,  $\mathbf{H} \in \mathbb{C}^{m \times p}$  é a matriz de canal com elementos  $\{h_{ij}\}$  representando os ganhos dos canais entre o  $j$ -ésimo transmissor primário e o  $i$ -ésimo CR,  $j = 1, 2, \dots, p$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ .

No sensoriamento por autovalores, as lacunas espectrais são detectadas com base nos autovalores da matriz de covariância do sinal recebido, a qual é estimada por

$$\mathbf{R}_Y = \frac{1}{n} \mathbf{Y} \mathbf{Y}^\dagger, \quad (2)$$

em que  $\dagger$  denota a operação conjugado transposto (ou Hermitiano). Os autovalores  $\{\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \lambda_m\}$  são então computados e, considerando  $p = 1$  deste ponto em diante, a estatística de teste GLRT é calculada no FC de acordo com [5]:

$$T_{\text{GLRT}} = \frac{\lambda_1}{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \lambda_i}, \quad (3)$$

A implementação prática dos testes supralistados pressupõe a correta estimação dos autovalores da matriz de covariância  $\mathbf{R}_Y$  definida em (2). Tais autovalores são as raízes da equação característica [6]

$$\det(\mathbf{R}_Y - \lambda \mathbf{I}) = 0, \quad (4)$$

em que  $\det(\cdot)$  é o determinante da matriz em questão e  $\mathbf{I}$  é a matriz identidade de ordem  $m$ . Embora a Equação (4) tenha grande importância em análises teóricas, computacionalmente ela não é utilizada para se estimar os autovalores de uma matriz [7]. Eficientes cálculos numéricos são comumente utilizados, os quais são construídos a partir de algoritmos que consistem basicamente de três fases: (1) redução da matriz original em uma forma condensada via transformações ortogonais, (2) solução da forma condensada e (3) transformação reversa opcional da solução da forma condensada para a forma original. Todos esses algoritmos são iterativos, e o que se busca em suas implementações é uma alta taxa de convergência aliada a precisas estimativas [7].

Para matrizes Hermitianas, como é o caso de  $\mathbf{R}_Y$ , os algoritmos que parecem ser os mais utilizados são: o algoritmo QR (para matrizes de ordem  $m \leq 25$ ) [8] e o algoritmo de Lanczos (para valores moderados de  $m$ , menores que alguns milhares) [7], [9]. O algoritmo de Jacobi é outro bastante popular, já tendo sido considerado em implementações em chip [10], inclusive no contexto de sensoriamento por autovalores [11].

Em termos de ferramentas computacionais, merece destaque a rotina EISPACK e sua sucessora LAPACK [12], incorporadas na função `eig` e em outras funções do Matlab, nas quais o

algoritmo QR se faz presente juntamente com outros específicos a cada função e à estrutura das matrizes operadas. Essas e outras rotinas correlatas tem sido consideradas padrão quando se trata de métodos numéricos relacionados ao problema de estimação de autovalores [7]. Neste artigo, os autovalores estimados via função `eig` do Matlab são utilizados como referência para a avaliação do método aproximado, o qual é descrito na próxima seção.

### III. MÉTODO APROXIMADO ITERAÇÕES DE CHOLESKY PARA ESTIMAÇÃO DOS AUTOVALORES DA MATRIZ DE COVARIÂNCIA

É notório que a implementação de algum dos algoritmos amplamente discutidos na literatura para a estimação dos autovalores da matriz  $\mathbf{R}_Y$  irão produzir estimativas precisas o suficiente para que a degradação de desempenho advinda de eventuais erros de estimação do ponto de vista da álgebra linear numérica seja praticamente imperceptível. Nesta seção é descrita a forma de cômputo aproximado dos autovalores de  $\mathbf{R}_Y$  pelo método de iterações de Cholesky, para que posteriormente, na Seção V, se possa avaliar o desempenho da técnica de sensoriamento GLRT com o método de iterações de Cholesky para a estimação dos autovalores da matriz de covariância do sinal recebido em comparação ao método convencional. O método de iterações de Cholesky [13] para matrizes Hermitianas é apresentado no **Algoritmo 1**, onde  $\text{diag}(\mathbf{J})$  corresponde aos elementos da diagonal principal da matriz  $\mathbf{J}$  e  $\text{chol}(\mathbf{J})$  denota a decomposição ou fatorização de Cholesky [6] da mesma matriz. Na álgebra linear, a decomposição de Cholesky de uma matriz Hermitiana definida positiva é o produto entre uma matriz triangular inferior,  $\mathbf{L}$ , e sua conjugada transposta; no caso  $\mathbf{J} = \mathbf{L}\mathbf{L}^\dagger$ . A operação  $\text{chol}(\mathbf{J})$  retorna como resultado a matriz  $\mathbf{L}$  e neste artigo foi computada pela função `chol(J)` do Matlab. Tal função pressupõe que  $\mathbf{J}$  seja uma matriz positiva definida com diagonal principal real, como é o caso de  $\mathbf{R}_Y$ . No entanto, por problemas numéricos é possível que a diagonal principal de  $\mathbf{R}_Y$  tenha resíduos imaginários de valor quase nulo que impossibilitam o uso da função `chol(J)`. Como solução, sugere-se eliminar tais resíduos usando a sequência de comandos  $\mathbf{J} = \mathbf{J} - \text{diag}(\text{diag}(\mathbf{J})) + \text{real}(\text{diag}(\text{diag}(\mathbf{J})))$  após a criação da matriz  $\mathbf{J}$  no **Algoritmo 1**.

---

#### Algoritmo 1 Algoritmo das iterações de Cholesky.

---

```

Defina o número de iterações  $K$ 
Crie a matriz  $\mathbf{J} = \mathbf{R}_Y$ 
for  $k = 1 \dots K$  do
  Compute  $\mathbf{L} = \text{chol}(\mathbf{J})$ 
  Atualize  $\mathbf{J}$  de acordo com  $\mathbf{J} \leftarrow \mathbf{L}\mathbf{L}^\dagger$ 
end for
Os autovalores estimados são  $\hat{\lambda} = \text{diag}(\mathbf{J})$ 

```

---

### IV. IMPLEMENTAÇÃO NO SIMULINK

Primeiramente os CRs devem fazer o sensoriamento espectral para decidir sobre a atividade de um determinado

usuário primário. Para este trabalho adotou-se a técnica de sensoriamento por autovalores baseado na técnica de Cholesky, como mostrado na Fig. 1, construído através dos blocos do Simulink.

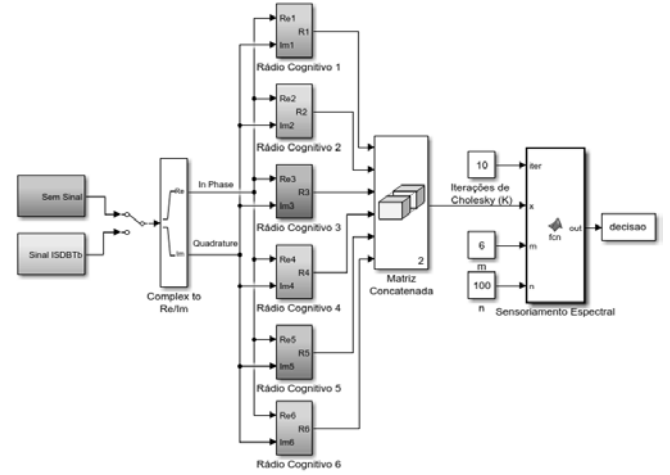


Fig. 1. Esquema montado em Simulink para compor o sensoriamento espectral baseado em autovalores.

O bloco denominado *Sem Sinal* é responsável pela inexistência do sinal no canal, ou seja, o canal está livre sem nenhuma transmissão do usuário primário. Já o bloco *Sinal ISDBTb* é composto pela parte real e a parte imaginária do sinal complexo ISDBTb. Este sinal foi configurado com modo de operação 2K, intervalo de guarda de 1/4, 13 segmentos e com modulação 64 QAM.

O bloco denominado *Complex to Re/Im* converte o sinal complexo composto pela parte real e a parte imaginária nos sinais em fase e em quadratura.

Cada bloco denominado *Rádio Cognitivo* é responsável por detectar o sinal ISDBTb e é ilustrado na Fig. 2. Os pontos A e B são os locais onde os CRs detectam o sinal. Enquanto que os pontos C e D são os locais onde os USRPs (que realizam o papel de CRs) detectam o sinal composto pelo sinal ISDBTb e o ruído AWGN. executam o sensoriamento espectral.

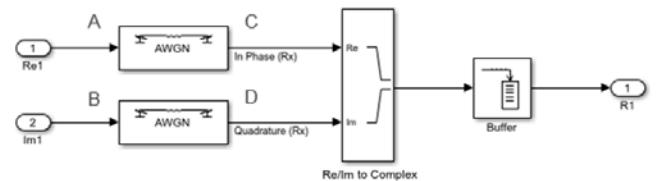


Fig. 2. Esquema montado em Simulink para compor o rádio cognitivo.

O bloco denominado *AWGN* é responsável por gerar o ruído Gaussiano presente no CR. Os parâmetros *Initial Seed*, *SNR* e *Input Signal Power* definem qual a semente inicial, relação sinal-ruído em dB e qual a potência de referência do sinal de entrada para ferar a SNR adequada, respectivamente. O bloco denominado *Re/Im to Complex*, por sua vez, converte

os sinais em fase e em quadratura no sinal complexo composto pela parte real e a parte imaginária.

Como o próprio nome sugere, o bloco denominado Buffer é responsável por reunir as informações em grupos de  $N$  símbolos 64QAM para serem transmitidos em quadros. O uso do Buffer diminui a sobrecarga no processamento dos USRPs.

O bloco denominado Matriz Concatenada concatena os  $M$  sinais de entrada, do qual cada um possui uma única dimensão, para 2 dimensões. Ou seja, agrupa todas as informações de cada CR em uma única matriz  $N \times M$ .

Os 3 blocos Iterações de Cholesky,  $M$  e  $N$  estabelecem a quantidade de iterações de Cholesky a ser executada, o número de CRs em funcionamento e a quantidade de amostras por CR, respectivamente.

O bloco denominado Sensoriamento Espectral é responsável pelo sensoriamento espectral utilizando detecção baseada em autovalores através do método de Cholesky. Neste bloco, é realizada a operação descrita pelo **Algoritmo 1**.

Por fim, o bloco denominado Decisão é responsável por armazenar a decisão do bloco Sensoriamento Espectral, se o canal realmente está ocupado pelo usuário primário ou não.

## V. RESULTADOS NÚMERICOS

Nesta seção é feita a análise do desempenho da técnica de sensoriamento GLRT com o método de iterações de Cholesky para a estimação dos autovalores da matriz de covariância do sinal recebido em comparação ao método convencional. Apresenta-se também uma análise de custo computacional para o método em avaliação, assim como uma associação entre o desempenho e a precisão na estimativa dos autovalores.

### A. Análise de Desempenho

As Figs. 3 e 4 apresentam as curvas ROC para a técnica de sensoriamento GLRT sob o método de estimação dos autovalores Iterações de Cholesky. Os parâmetros sistêmicos são  $m = 6$  CRs,  $n = 100$  amostras colhidas por cada CR e  $K = 16$  iterações. Esse valor de iterações foi selecionado por ser satisfatório para praticamente equiparar o desempenho do sensoriamento espectral com aquele alcançado quando os autovalores são estimados de forma exata pela função `eig` do Matlab, como mostrado na Fig. 4.

As amostras do sinal transmitido foram simulada por meio de uma variável cujo conteúdo possui 1.000.000 amostras do sinal ISDBTb. As amostras do ruído foram simuladas por meio de uma variável aleatória gaussiana complexa de média nula pelo bloco AWGN, com a SNR dada em dB.

Uma primeira análise da Fig. 3 revela o aumento evidente do desempenho na técnica de sensoriamento analisada a partir do aumento da relação sinal-ruído, ou seja, o desempenho da transmissão e recepção é diretamente proporcional ao aumento da SNR do canal. Na Fig. 4, comprova-se que o número de iterações  $K = 16$  é o suficiente para que o algoritmo de Cholesky se iguale a função direta e exata do Matlab.

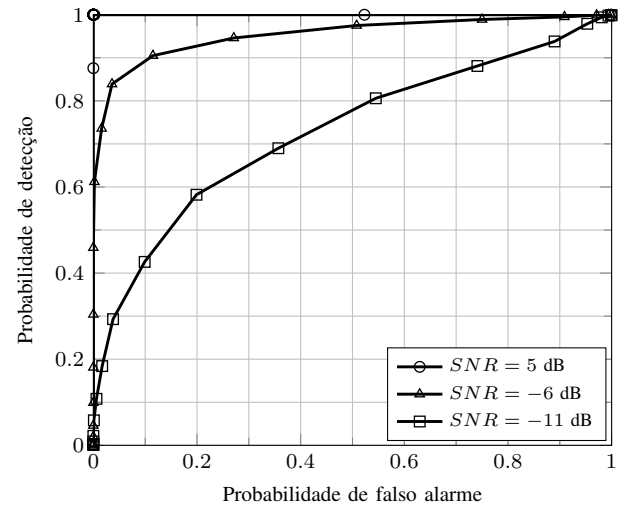


Fig. 3. Desempenho do teste GLRT para  $m = 6$ ,  $n = 50$  e  $K = 16$  iterações no algoritmo de Cholesky para SNR diferentes.

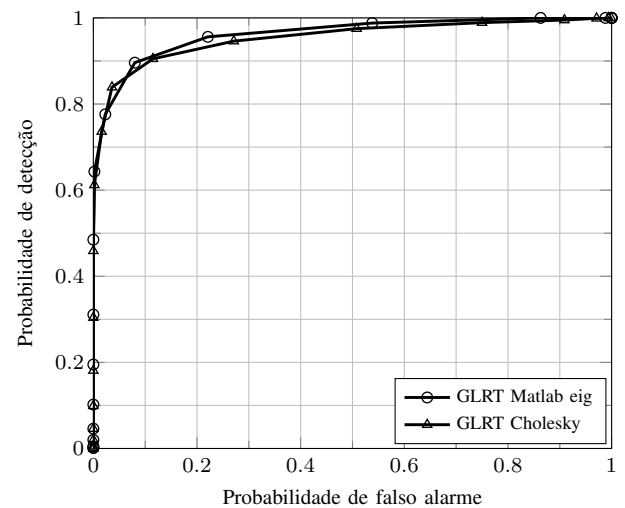


Fig. 4. Desempenho do teste GLRT para  $m = 6$ ,  $n = 50$ ,  $SNR = -6dB$  e  $K = 16$  iterações no algoritmo de Cholesky e no Matlab via função `eig`.

### B. Análise da Complexidade Computacional

A eficácia de um algoritmo é frequentemente medida pela complexidade computacional de sua solução, revelando o crescimento assintótico do tempo de processamento em função da dimensão das variáveis vetoriais ou matriciais operadas. Esse tempo de processamento depende do número de operações em ponto flutuante (FLOPs, *floating point operations*) que deve ser executado.

A análise teórica da complexidade computacional de um algoritmo é simples, como é no caso das decomposições QR e de Cholesky [8], mas o tempo real de processamento dependerá da definição da linguagem de programação, da plataforma de hardware ou software que operará o algoritmo, dos valores e particularidades dos parâmetros e variáveis, e da própria estrutura de implementação do algoritmo. Em vez de uma análise de complexidade teórica, nessa subseção são

apresentados os resultados de uma análise empírica por meio de medidas de tempo de execução dos algoritmos via Matlab. Os resultados desta análise não podem ser associados a tempos de processamento práticos em termos absolutos, mas revelam de forma aproximada o crescimento relativo desses tempos. O uso desse procedimento também é justificado pelo fato de que o Matlab tem sido considerado a ferramenta computacional padrão para testes de algoritmos [7].

Para calcular os tempos de processamento foram utilizadas as funções `tic` e `toc` do Matlab, as quais fornecem medições confiáveis de tempo decorrido. A fim de reduzir os efeitos da aleatoriedade, foi calculada a média de 100000 tempos de execução de cada método de estimação dos autovalores, um para cada realização aleatória da matriz de covariância  $\mathbf{R}_Y$ , sob as hipóteses  $\mathcal{H}_0$  e  $\mathcal{H}_1$ . Adotou-se nessa análise  $m = 6$  CRs,  $n = 100$  amostras colhidas por CR,  $SNR = -6$  dB e  $K = 16$  iterações no algoritmo de Cholesky. O custo computacional de referência foi tomado como sendo aquele proporcionado pela execução do algoritmo QR, o qual é um dos mais utilizados para estimação de autovalores. Para esse algoritmo, se atinge a mesma precisão numérica do método de Cholesky com metade das iterações [14], ou seja,  $K = 8$ .

As medidas de tempo foram realizadas em um computador Lenovo ideapad320 com processador Intel Core i5-7200U CPU @ 1,8 GHz, 8 MB de RAM, executando o sistema operacional Windows 8.1 Professional e o Matlab R2017b de 64 bits.

Os resultados são mostrados na Fig. 5, a qual apresenta os tempos de processamento medidos para cada algoritmo. Por meio da Fig. 5 pode-se observar que, para o problema do sensoriamento espectral em questão, o custo computacional do algoritmo QR é o mais alto, embora ele tenha sido configurado com a metade ( $K = 8$ ) do número de iterações do método de Cholesky ( $K = 16$ ). Esse resultado é condizente com o fato de que o custo computacional teórico da decomposição QR é maior que aquele referente à decomposição de Cholesky [8].

### C. Desempenho versus Erro Relativo

Neste ponto torna-se indispensável medir o quão aproximados são os autovalores estimados de forma aproximada em relação aos exatos, tomando como base o desempenho do sensoriamento espectral. Se  $\lambda_i$  é o  $i$ -ésimo autovalor exato computado pela função `eig` do Matlab e  $\hat{\lambda}_i$  é o correspondente autovalor estimado de forma aproximada, então o  $i$ -ésimo erro relativo é definido como

$$\varepsilon_i = \frac{|\lambda_i - \hat{\lambda}_i|}{|\lambda_i|}. \quad (5)$$

As Tabelas I e II apresentam os erros relativos médios  $\bar{\varepsilon}_i$  calculados a partir das estimativas dos autovalores de 5.000 realizações da matriz de covariância  $\mathbf{R}_Y$  sob as hipóteses  $\mathcal{H}_0$  e  $\mathcal{H}_1$ , respectivamente, bem como os correspondentes desvios padrão  $\sigma_{\bar{\varepsilon}_i}$ , para  $m = 6$  CRs,  $n = 100$  amostras,  $SNR = -6$  dB. No algoritmo das iterações de Cholesky

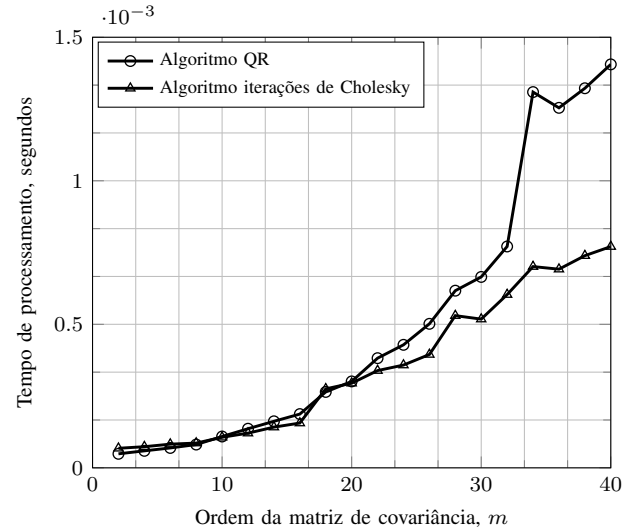


Fig. 5. Comparação entre as complexidades computacionais dos métodos de estimação dos autovalores.

foram utilizadas 16 iterações, assim como nos resultados de desempenho calculados pelas ROCs.

Por meio das Tabelas I e II percebe-se que os erros relativos médios pertencentes ao método das iterações de Cholesky estão em sua maioria por volta de  $\approx 0,02$ , ou  $\approx 2\%$ . Como tal método foi capaz de realizar praticamente o mesmo desempenho atingido com a estimação exata dos autovalores, conclui-se que erros de estimação de até 2% não são suficientes para afetar o desempenho do sensoriamento espectral por autovalores.

TABELA I

ERROS RELATIVOS MÉDIOS,  $\bar{\varepsilon}_i$ , E SEUS DESVIOS PADRÃO,  $\sigma_{\bar{\varepsilon}_i}$ , NA ESTIMATIVA DOS AUTOVALORES SOB A HIPÓTESE  $\mathcal{H}_0$

	Cholesky	
	$\bar{\varepsilon}_i$	$\sigma_{\bar{\varepsilon}_i}$
$\lambda_1$	0,0187	0,0214
$\lambda_2$	0,0244	0,0243
$\lambda_3$	0,0263	0,0258
$\lambda_4$	0,0269	0,0270
$\lambda_5$	0,0247	0,0267
$\lambda_6$	0,0178	0,0257

TABELA II

ERROS RELATIVOS MÉDIOS,  $\bar{\varepsilon}_i$ , E SEUS DESVIOS PADRÃO,  $\sigma_{\bar{\varepsilon}_i}$ , NA ESTIMATIVA DOS AUTOVALORES SOB A HIPÓTESE  $\mathcal{H}_1$

	Cholesky	
	$\bar{\varepsilon}_i$	$\sigma_{\bar{\varepsilon}_i}$
$\lambda_1$	0,0027	0,0102
$\lambda_2$	0,0185	0,0228
$\lambda_3$	0,0236	0,0245
$\lambda_4$	0,0251	0,0262
$\lambda_5$	0,0235	0,0264
$\lambda_6$	0,0171	0,0257



## VI. CONCLUSÕES

Neste artigo foi apresentada uma análise de desempenho do sensoriamento espectral cooperativo baseado na detecção por autovalores da matriz de covariância do sinal recebido, utilizando a técnica de estimação aproximada dos autovalores pelo método iterações de Cholesky para a técnica de sensoriamento GLRT.

Uma análise de complexidade foi também apresentada, utilizando o método das iterações de Cholesky, pois o seu custo computacional é menor que o tradicional algoritmo QR e sua precisão é suficiente para que, com poucas iterações, se atinja um desempenho do sensoriamento espectral praticamente idêntico àquele que seria obtido com a estimativa exata dos autovalores.

Verificou-se que o sensoriamento espectral por autovalores é bastante robusto com relação aos erros de estimativa dos autovalores, não tendo seu desempenho afetado para erros menores ou iguais a 2%. Pouca variação de desempenho é percebida com erros de estimação até  $\approx 5\%$ .

## REFERÊNCIAS

- [1] U. S. F. C. C. S. P. T. Force, "Spectrum Policy Task Force Report," Federal Communications Commission, Spectrum Policy Task Force, 2002.
- [2] Mitola, J., Maguire, G.Q., Jr., "Cognitive radio: making software radios more personal," *Personal Communications, IEEE*, vol. 6, no. 4, pp.13 – 18, Aug., 1999.
- [3] I. F. Akyildiz, B. F. Lo, R. Balakrishna, "Cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks: A survey," *Elsevier Physical Comm.*, vol. 4, pp. 40-62, Mar., 2011.
- [4] J. S. Neto, D. A. Guimaraes "Sensoriamento espectral cooperativo baseado em autovalores para rádios cognitivos," *Revista Telecomunicações*, vol. 14, pp. 4-6, 2012.
- [5] B. Nadler, F. P., R. Garelli, "Performance of Eigenvalue-Based Signal Detectors with Known and Unknown Noise Level," *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 2011.
- [6] Strang, G., "Introduction to Linear Algebra," Wellesley Cambridge Press, 2016, vol. 134, pp. A635-A646, Dec., 1965. Golub, Gene H. and van der Vorst, Henk A.
- [7] Golub, Gene H., van der Vorst, Henk A., "Eigenvalue computation in the 20th century," *J. Comput. Appl. Math.*, vol. 123, no. 1-2, pp. 35-65, Nov., 2000.
- [8] J. W. Demmel, "Applied Numerical Linear Algebra," USA: Society for Industrial and Applied Mathematics, 1997.
- [9] D. Kressner, "Numerical Methods for General and Structured Eigenvalue Problems," Springer Berlin Heidelberg, Jan., 2006.
- [10] I. Bravo, C. Vazquez, A. Gardel, J. L. Lazaro E. Palomar, "High level synthesis fpga implementation of the jacobi algorithm to solve the eigen problem," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2015, Jan., 2015.
- [11] A. López-Parrado, J. Velasco-Medina, "Efficient systolic architecture for hermitian eigenvalue problem," In: 2012 IEEE 4th Colombian Workshop on Circuits and Systems, p. 1-6, Nov., 2012.
- [12] J. H. Wilkinson, C. Reinsch, F. L. Bauer, "Handbook for Automatic Computation: Linear Algebra," SpringerVerlag, vol. 186, no. 4, pp.1325 – 1333, 1986.
- [13] A. Krishnamoorthy, K. Kocagoz, "Singular values using cholesky decomposition," *CoRR*, Feb., 2012.
- [14] K. V. Fernando, B. N. Parlett, "Implicit cholesky algorithms for singular values and vectors of triangular matrices," *Numerical Lin. Alg. with Applic.*, vol. 2, no. 6, pp. 507-531, Nov., 1995.

# Reforçador de RF para Drones Baseado em Arranjo de Antenas Monopolo

Letícia Duarte Bernardes

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

leticiabernardes@get.inatel.br

Arismar Cerqueira Sodré Júnior

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

arismar@inatel.br

**Abstract**—Drones have been applied to diverse areas, such as military, security, radar, agriculture and entertainment. They are basically divided in two main parts: the radio control and airplane. In general, their antennas are monopoles, which are responsible to exchange RF signals between the two main parts, with the purpose of controlling the aircraft, capturing images from the environment and registering photos and videos. This paper presents the design and development of a monopole array based on electromagnetic reflectors, aimed to increase the wireless communication range between the radio control and airplane. Numerical results demonstrate the viability of the proposed solution, which provides 8.27 dBi gain and 590 MHz bandwidth. Experimental results of the array reflection coefficient have been shown in excellent agreement with the numerical simulations.

**Index Terms**—Antenna array, drones, monopole antennas, radio control and reflectors.

**Resumo**—Atualmente os *drones* são utilizados em diversas áreas, tais como aplicações militares, segurança, radar, agricultura e entretenimento. Essa tecnologia baseia-se em duas partes principais: o rádio controle e a aeronave. Em geral, são utilizadas as antenas monopolos para viabilizar a comunicação entre as duas partes principais, com a finalidade de controlar a aeronave, capturar imagens do ambiente e registrar fotos e vídeos. O presente trabalho apresenta o projeto e o desenvolvimento de um arranjo de antenas monopolos baseado em refletores eletromagnéticos, capaz de melhorar a diretividade da antena e aumentar o alcance da comunicação sem fio entre rádio controle e aeronave. Os resultados numéricos demonstram a viabilidade da solução proposta, a qual provê ganho de 8,27dBi e banda de 590MHz. Resultados experimentais do coeficiente de reflexão apresentaram excelente concordância com as simulações numéricas.

**Palavras chave**—Antenas monopolos, arranjos de antenas, *drones*, rádio controle e refletores.

## I. INTRODUÇÃO

No início da segunda guerra mundial (1939) o Estados Unidos produziu o primeiro veículo não tripulado controlado remotamente (*drones*) para que pudessem reconhecer o território sem a necessidade de colocar vidas em riscos [1]. Atualmente, os *drones* e aparelhos controlados remotamente são vastamente utilizados em aplicações como entretenimento e segurança. Também são objetos de pesquisa e desenvolvimento devido às várias tecnologias empregadas em sua construção [2] [3]. Tal tecnologia possui duas partes principais, a aeronave e o rádio controle, que são equipados por sistemas eletrônicos embarcados que, por telecomandos, permitem que o aparelho realize manobras de voo [3].

O rádio controle é responsável por mandar os comandos para a aeronave, que determinam se o equipamento vai subir ou descer, girar ao redor do seu próprio eixo, se deslocar para frente, para trás ou para os lados. O aeromodelo, por sua vez, através do receptor recebe as informações processando-as pela placa controladora e executando os movimentos. Tais movimentos devem-se principalmente à versatilidade destes veículos e sua capacidade de realizar movimentos no ar. A comunicação entre rádio controle e o drone é bidirecional, uma vez que o aeromodelo também envia informações de geolocalização, nível de bateria, imagens e outras informações que podem variar do modelo utilizado.

Para que seja possível a troca de informações entre controle e aeronave são implementadas antenas no rádio controle e no aeromodelo. As antenas que geralmente são utilizadas no rádio controle, são as antenas do tipo monopolo por serem omnidirecionais no plano azimutal, ou seja, irradiam energia uniformemente para todos os lados neste plano, além de possuírem baixo custo e complexidade de fabricação. Esse tipo de antena assume o formato de uma torre metálica com a base isolada do solo, como apresentado na Fig. 1 [4].

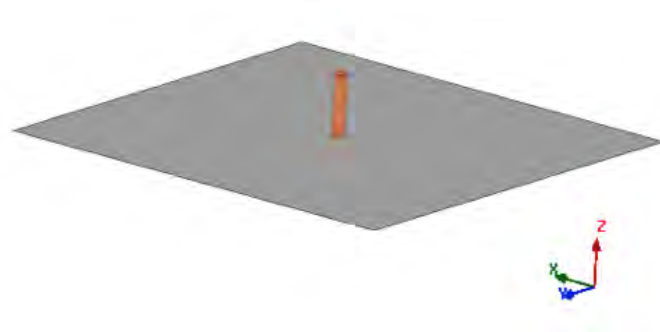


Fig. 1. Antena Monopolo convencional.

O presente trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de um arranjo de antenas a ser utilizado no rádio controle, a fim de aumentar o ganho da antena e, por consequência, aumentar o alcance de comunicação entre a aeronave e o rádio. O artigo está organizado da seguinte forma: a Seção II apresenta breves comentários sobre um arranjo de antenas monopolos e como foi desenvolvido. A Seção III apresenta as análises numéricas e experimentais e na Seção IV são apresentadas as conclusões e os trabalhos futuros.

## II. ARRANJO DE MONOPOLOS COM USO DE REFLETORES

As antenas monopolo podem ser entendidas como um dos braços de um dipolo. Os dipolos são constituídos por dois condutores irradiadores colocados no mesmo eixo, geralmente de tamanhos iguais, com uma pequena separação em suas extremidades adjacentes. O monopolo atua como um braço do dipolo posicionado sobre um plano condutor que age como o outro braço do dipolo. De modo geral, as antenas são projetadas com o tamanho de um quarto do comprimento de onda ( $\lambda$ ) da frequência de projeto, para que o campo irradiado permaneça sensivelmente constante nessa frequência. Sua excitação é feita com uma tensão entre seu terminal e o plano condutor, portanto com a mesma potência irradiada pelo dipolo, o monopolo concentra energia apenas na metade do espaço, aumentando sua diretividade [4].

Em algumas aplicações as antenas monopolos são associadas em conjuntos formando um arranjo de antenas [4]. Essa combinação permite que a irradiação promovida pelos elementos irradiadores seja somada em certas direções, de modo que seja possível concentrar energia irradiada em uma determinada região. Assim, o arranjo apresenta maior diretividade e, conseqüentemente, maior ganho que um único elemento operando de maneira isolada [5]. Desta forma, para que os elementos irradiadores se somem nos arranjos de monopolos de  $\lambda/4$ , são necessários que os elementos estejam espaçados de  $\lambda/2$  no plano condutor.

Outra técnica para aumento de ganho de antenas é a utilização de refletores eletromagnéticos, que podem ser entendidos como espelhos eletromagnéticos. Eles são posicionados atrás dos elementos irradiadores para que a energia irradiada seja direcionada para a parte frontal. Os refletores parabólicos têm forte concentração de energia nas proximidades do foco do paraboloide, ou seja, para que o uso do refletor seja apropriado, os elementos irradiadores devem estar posicionados em seu foco.

A estrutura proposta para o desenvolvimento do projeto é um arranjo de monopolos, deslocado do centro do plano condutor e com dois refletores parabólicos, de tal modo que o alcance de comunicação entre aeronave e rádio controle aumente. A frequência de operação adotada para o projeto foi a de 2,4 GHz com 30% de banda.

## III. RESULTADOS NUMÉRICOS E EXPERIMENTAIS

O modelo proposto foi simulado e testado através do software de simulações eletromagnéticas ANSYS HFSS. Foram considerados para a simulação os seguintes materiais: uma placa de dimensão  $12,5 \times 12,5$  cm de fibra de vidro FR4, com espessura de 1,52 mm para o plano terra, duas barras cilíndricas de cobre de 2,57 mm de raio para os monopolos e dois conectores SMA (*SubMiniature version A*) para alimentação da rede. Foram analisadas as características de coeficiente de reflexão em cada porta de alimentação do arranjo ( $S_{11}$  e  $S_{22}$ ), o padrão de irradiação e o ganho foram analisados alimentando as entradas, com objetivo de comparar as respostas do modelo proposto com e sem refletor. Os parâmetros  $S_{11}$  e  $S_{22}$  do modelo sem refletor são apresentados

na Fig. 2, enquanto os padrões de irradiação normalizados nos planos  $xy$  e  $xz$  em 2,4 GHz são apresentados na Fig. 3. A banda e ganho alcançado pelo modelo sem refletores no modelo numérico foi de 750 MHz e 5,22 dBi respectivamente.

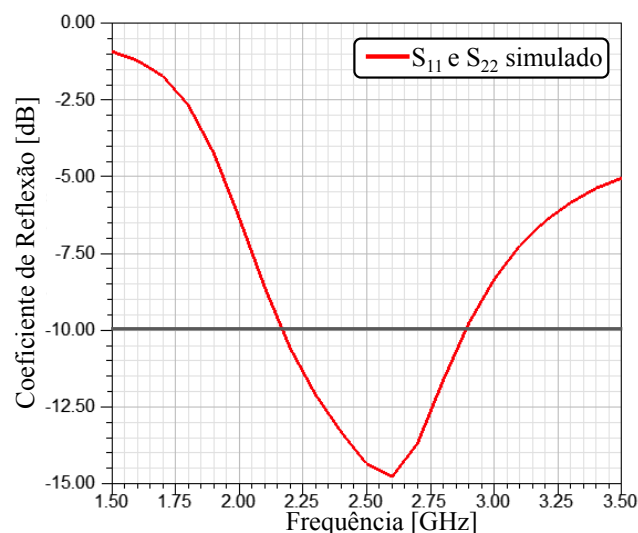


Fig. 2. Coeficiente de reflexão do arranjo de monopolos deslocado no plano de terra.

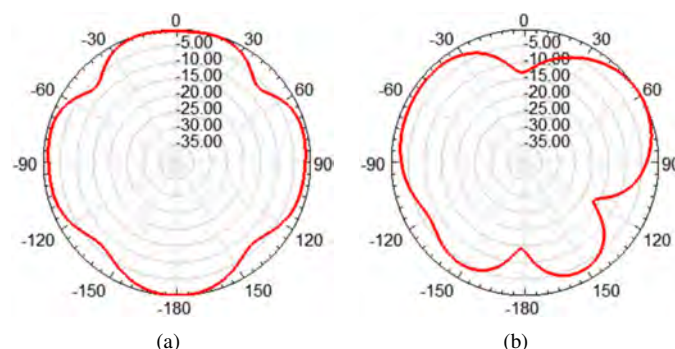


Fig. 3. Padrões de irradiação normalizados da rede de monopolos. (a) Plano  $xy$ ; (b) Plano  $xz$ .

Com o objetivo de aumentar o ganho da antena, fez-se o teste da utilização de refletores eletromagnéticos conforme apresentado na Fig. 4. A distância entre os elementos irradiadores e os refletores foi numericamente otimizada e o protótipo é apresentado na Fig. 5. Para realização dos testes experimentais foi utilizado o equipamento PNA (*Network Analyzer N5224A*). Os resultados em termos de coeficiente de reflexão simulado e medido são mostrados na Fig. 6 e é possível observar uma boa concordância entre os resultados em ambos os elementos irradiadores ( $S_{11}$  e  $S_{22}$ ), com aproximadamente 590 MHz de banda. A Fig. 7 apresenta o padrão de irradiação simulado normalizado nos planos  $xy$  e  $xz$  em 2,4 GHz. O ganho alcançado pelo modelo numérico com a inclusão de refletores foi de 8,27 dBi, ou seja, um aumento de 3 dB na potência efetivamente irradiada do controle.

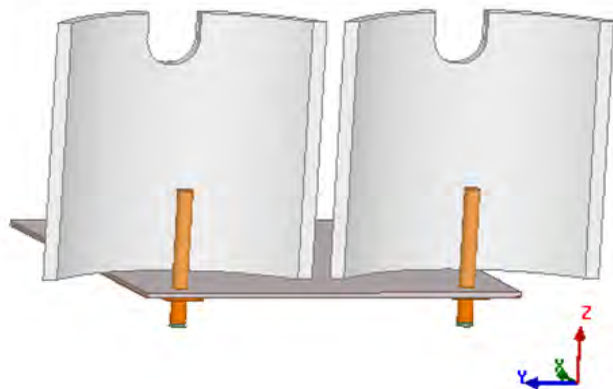


Fig. 4. Modelo numérico do arranjo de monopolos com refletor.

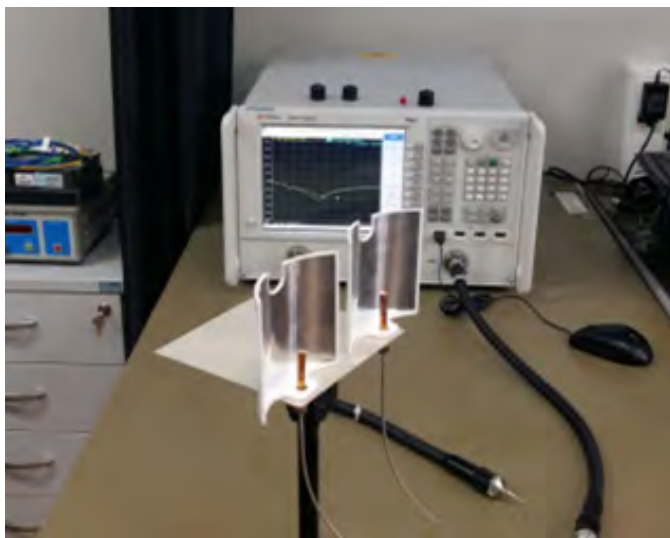


Fig. 5. Protótipo do arranjo de monopolos com refletor.

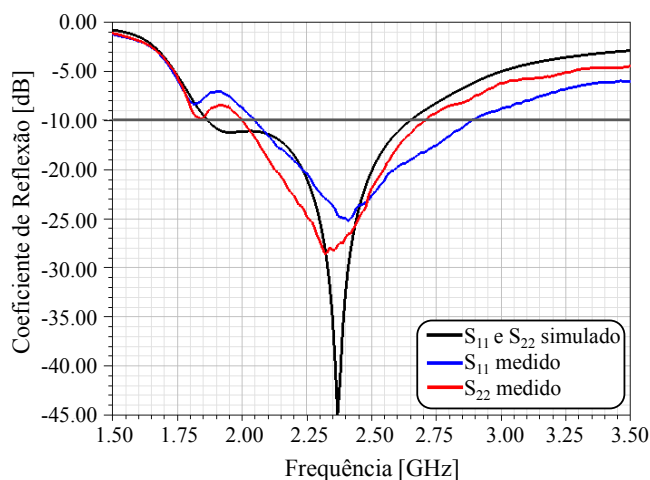
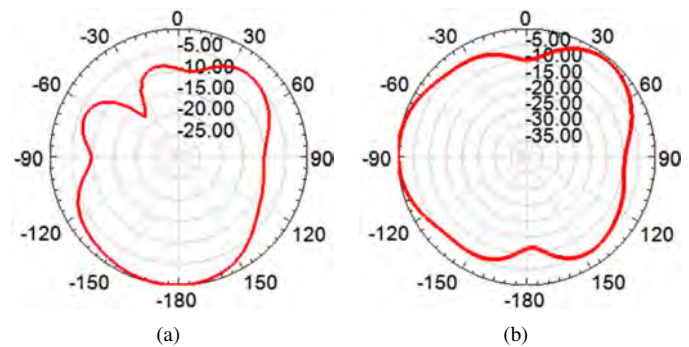


Fig. 6. Coeficiente de reflexão medido e simulado do arranjo.

Fig. 7. Padrões de irradiação normalizados da rede de monopolos com refletor. (a) Plano  $xy$ ; (b) Plano  $xz$ .

#### IV. CONCLUSÕES

O trabalho apresentou uma proposta de um arranjo de antenas monopolos para aplicações em drones de alto alcance, utilizando a faixa ISM de 2,4 GHz. O arranjo desenvolvido foi analisado numericamente, utilizando o software HFSS e experimentalmente, por meio do uso de um analisador de redes vetorial. A utilização de refletores eletromagnéticos acarretou em um aumento de ganho de aproximadamente 3 dBi, ou seja, dobrou-se a potência efetivamente irradiada do rádio controle. O arranjo proposto apresentou ganho de 8,27 dBi e uma banda de aproximadamente 590 MHz centrada em 2,3 GHz. Como trabalho futuro, propõe-se a utilização do protótipo em um cenário de controle de um drone real.

#### AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pela Finep/Funtel (Convênio 01.14.0231.00 - Centro de Referência em Radiocomunicações ou CRR), CNPq, CAPES, FAPEMIG, MCTI e FINATEL. Os autores também agradecem o apoio técnico do Dr. Igor Feliciano e do Eng. Hugo Rodrigues.

#### REFERÊNCIAS

- [1] B. R. Craesmeier, "Drone Boning: quando a sociedade do espetáculo dá asas à serpente do controle", *XXXVIII Congresso Brasileiro de Ciências da Comunicação*, Rio de Janeiro, 2015.
- [2] Philip J. Hiltner, "The drones are coming: Use of unmanned aerial vehicles for police surveillance and its fourth amendment implications", *Wake Forest JL & Pol'y*, vol. 3, no. 2, pp. 397, 2013.
- [3] R. R. de Faria e M. E. Costa, "A inserção dos veículos aéreos não tripuláveis (drones) como tecnologia de monitoramento no combate ao dano ambiental", *Revista Ordem Pública*, vol. 8, no. 1, pp. 81-103, 2015.
- [4] J. A. J. Ribeiro, "Engenharia de Antenas: Fundamentos, Projetos e Aplicações". São Paulo: Érica, 2012.
- [5] C. A. Balanis, "Antenna Theory: analysis and design". 4 ed. Hoboken: Wiley, 2016.

# Cálculo semi-analítico da dispersão cromática de uma fibra de cristal fotônico

Fabiana Oliveira Fagundes

Prof. Ph.D. Felipe Beltrán Mejía

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
fabianaoliveira@get.inatel.br

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
felipebm@inatel.br

**Resumo**— *A fibra óptica é muito utilizada no ramo das telecomunicações e o crescimento do seu uso é motivado pela sua grande capacidade de transmissão, se comparada aos demais meios de transmissão. Entretanto, também possui perdas em consequência da atenuação e dispersão do sinal. O foco deste documento é detalhar o cálculo da dispersão cromática em fibra de cristal fotônico (PCF) através da resolução da equação de onda e, por fim, utilizar o software COMSOL Multiphysics® e sua interface com o MatLab® para simular os cálculos.*

**Palavras chave** — *Fibra óptica, dispersão, fibra de cristal fotônico.*

**Abstract**—*Optical fiber is widely used in telecommunications sector and the growth of its use is motivated by the great transmission capability, if compared to many means of transmission. The focus of this document is to detail the calculation of chromatic dispersion in Photonic Crystal Fiber (PCF) by solving the wave equation and, finally, use COMSOL Multiphysics® and MatLab® interface to simulate the calculations.*

**Keywords** — *Optical fiber, dispersion, photonic crystal fiber.*

## I. INTRODUÇÃO

Com a saturação das tecnologias de transmissão já existentes, o mercado encaminhou-se para a ideia de utilizar a luz como onda portadora, ainda que não necessariamente na faixa visível.

As comunicações ópticas despertaram interesse na modernização das telecomunicações por suplantarem os sistemas mais tradicionais em dois aspectos fundamentais, sendo eles: o fator de atenuação, que é a distância máxima de transmissão sem necessidade sistemas capazes de recuperar o nível do sinal ou repetidores e a largura de faixa que, em sistemas analógicos, fixará a taxa máxima de modulação permitida dentro de um comprimento de enlace. Além disso, existem várias outras vantagens como pequena atenuação, maior capacidade de transmissão, grande redução nas dimensões e no peso dos cabos, condutividade elétrica nula, imunidade às interferências e pulsos eletromagnéticos, elevada qualidade e sigilo de transmissão e facilidade na obtenção da matéria prima.

Embora as vantagens superem as desvantagens, o efeito

indesejável da dispersão cromática de uma fibra de cristal fotônico é o enfoque deste estudo.

## II. FIBRAS ÓPTICAS

### A. Classificação de fibras e cabos ópticos

Há uma variedade de fibras ópticas, cada qual voltada para uma aplicação específica. Os tipos podem variar de acordo com os materiais, dimensões e os processos de fabricação.

As fibras ópticas estão subdivididas em dois tipos de acordo com o número de modos que se propagam pelo núcleo. Nestas categorias encontram-se as fibras monomodos (Single Mode – SM) e fibras multimodos (Multi Mode – MM).

Nas fibras monomodos, o núcleo possui um diâmetro bem grande comparado ao comprimento de onda da luz guiada e vários modos propagam-se em seu interior. Nas multimodos, apenas um único modo é transmitido e como exemplo temos a fibra de cristal fotônico (PCF).

### B. Dispersão nas fibras ópticas

A dispersão é o fato de que os diversos modos de propagação são transmitidos com velocidades diferentes através da fibra óptica, atingindo a extremidade de chegada em tempos também distintos. A consequência é que o sinal óptico sofre um alargamento temporal em relação ao sinal emitido no início da fibra.

Nas fibras monomodos é desejável conhecer o valor da dispersão cromática, demonstrando a modificação do retardo de grupo com o comprimento de onda de excitação.

Ao contrário do comportamento das fibras convencionais, a fibra de cristal fotônico permite uma supressão notavelmente melhorada da dispersão. Sua seção transversal consiste em uma disposição hexagonal regular de furos microscópicos em vidro de sílica que se estendem ao longo do comprimento de toda fibra e apresenta a ausência de um furo localizado no centro da estrutura regular.

O mecanismo de guia é fornecido pelo revestimento de cristal fotônico que localiza a luz no núcleo de sílica, evitando a radiação transversal. Contudo, as relações de dispersão dos modos guiados são altamente não convencionais e este fato foi estudado no quadro de um modo de índice de refração efetivo



e dentro da aproximação escalar, demonstrando teoricamente um método de vetor completo.

A dispersão cromática envolve a segunda derivada do índice de refração efetivo e nos permite calcular por:

$$D = \frac{\lambda}{c} \frac{d^2 \eta_{eff}}{d\lambda^2}$$

### III. SIMULAÇÃO

A simulação foi feita através do software COMSOL Multiphysics®, que é um plataforma para simulação de aplicações em diversas áreas da engenharia.

Através do modelo proposto, foi possível explorar de maneira plena e efetiva todas as etapas e procedimentos envolvidos na captação da seção transversal de uma PCF, como mostra a figura abaixo.

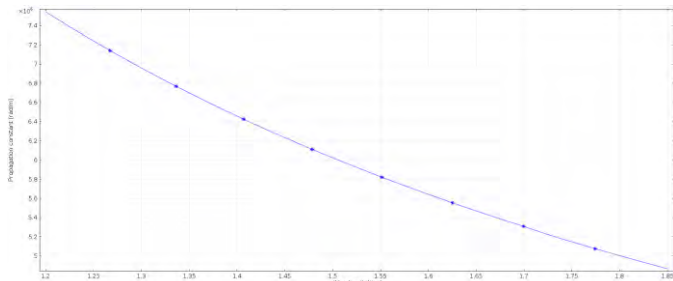


Figura 1: Índice de refração efetivo.

Fonte: Acervo pessoal.

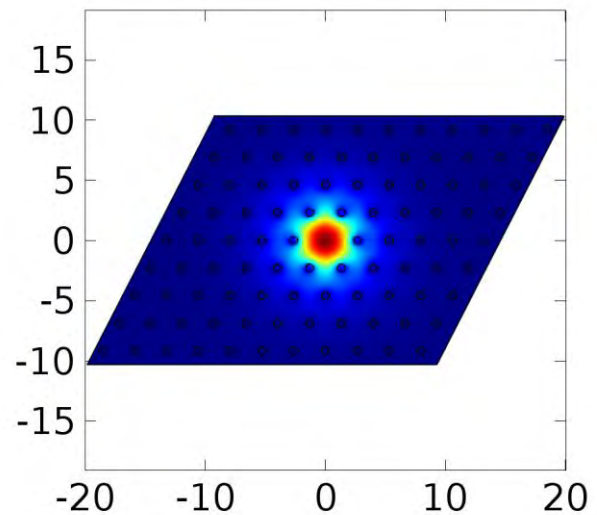


Figura 2: Seção transversal de uma PCF.

Fonte: Acervo pessoal.

### IV. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que, agregando a simulação ao método de cálculo que compartilha a versatilidade do cálculo numérico com a precisão do cálculo analítico, a resposta encontrada se mostra fiel as operações numéricas.

### REFERÊNCIAS

- [1] ORTEGA, Teresa Pinheiro. Análisis y diseño avanzados en fibras de cristal fotónico. Universitat de València - Espanha, 2008. Disponível em: <https://www.educacion.gob.es/teseo/mostrarRef.do?ref=471603>
- [2] SILVESTRE, Enrique; ORTEGA, Teresa Pinheiro; ANDRÉS, Pedro. Analytical evaluation of chromatic dispersion in photonic crystal fibers. Universidad de Valencia – Espanha, 2005.
- [3] FERRANDO, A.; SILVESTRE, E.; MIRET, J. J.; ANDRÉS, P.. Nearly zero ultraflattened dispersion in photonic crystal fibers. Universidad de Valencia – Espanha, 2000. Disponível em: <https://www.osapublishing.org/ol/abstract.cfm?uri=ol-25-11-790>
- [4] RIBEIRO, José Antônio Justino. Comunicações Ópticas. Disponível em: <http://www.editorasaraiva.com.br/produto/tecnico/redes-e-telecomunicacoes/comunicacoes-opticas/>

# Propriedades magnéticas e suas aplicações na engenharia

Felipe Sales Pinto

Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL

Av. João de Camargo, 510-Centro

Santa Rita do Sapucaí, Brasil, 37540-000

**Abstract – This paper presents a theoretical study on magnetism and its applications in engineering. Magnetic phenomena are used on a large scale from the earliest applications to the newest technologies.**

**Resumo – Este trabalho apresenta um estudo teórico sobre o magnetismo e suas aplicações na engenharia. Os fenômenos magnéticos são utilizados em larga escala desde as mais antiga aplicabilidades até as mais novas tecnologias.**

## I. INTRODUÇÃO

Encontrados desde a antiguidade, os efeitos magnéticos foram estudados e utilizados em diversas aplicações da época.

As primeiras evidências e experiências com uma força desconhecida até então, foram através do imã natural, a magnetita. O primeiro material funcional desenvolvido com princípios magnéticos foi a bússola, utilizado pelo mundo todo para orientação e navegação marítima, sua agulha era magnetizada e se orientava de acordo com o campo magnético terrestre. Houve uma grande mudança no cenário do magnetismo mundial quando foi descoberto a relação entre magnetismo e a eletricidade. O precursor dessa descoberta foi Oersted que no século XIX notou que quando aproximava um fio, conduzindo uma corrente elétrica, de uma agulha imantada de uma bússola, a agulha que normalmente apontava para o norte terrestre ficava desorientada. Foi através da descoberta de Oersted que o físico Ampere, alguns anos depois, deduziu matematicamente o campo gerado pelo fio condutor, essa dedução ficou conhecida como Lei de Ampere que tem como objetivo determinar o campo magnético gerado ao redor do fio

condutor. Logo após, Henry e Faraday determinaram que um campo variável podia induzir uma corrente elétrica em um circuito. No final do século XIX esses fenômenos descobertos pelos estudiosos já eram perfeitamente entendidos e já possuíam diversas aplicações.

Mediante à todo estudo e descoberta sobre o magnetismo, é nítido sua importância no mundo atual. Suas características estão presentes na engenharia desde um simples relé até um imenso acelerador de partículas.

## II. FASES MAGNÉTICAS

Cada material magnético possui um tipo de comportamento, se enquadrando em uma determinada fase magnética. As diversas fases magnéticas são classificadas de acordo com a origem microscópica de sua magnetização e de suas interações internas, sendo os principais tipos de fases magnéticas o Diamagnetismo, Paramagnetismo, Ferromagnetismo, Antiferromagnetismo e Ferrimagnetismo.

A seguir será mostrado de forma sucinta as características de cada uma das fases.

### 1. Diamagnetismo

Diamagnetismo em geral corresponde ao tipo mais fraco de resposta magnética de um sistema, seu efeito causa uma diminuição no módulo do campo no interior do material. Todo material é diamagnético, quando não há nenhum outro tipo de comportamento magnético superposto. Essas matérias quando expostos a um campo magnético,

tem seus ímãs elementares orientados no sentido contrário ao campo induzido, criando um campo magnético na própria substância.

## 2. Paramagnetismo

O paramagnetismo ocorre em materiais que possuem momentos magnéticos internos e que não se interagem entre si. A magnetização é considerada nula quando não há ação de um campo magnético. Ao aplicar um campo externo, os dipolos tendem a se alinhar ao campo magnético causando um aumento na intensidade deste campo.

Alguns materiais paramagnéticos são os metais de elementos não magnéticos, isolantes, os materiais que contém átomos livres.

## 3. Ferromagnetismo

Os elementos ferromagnéticos são diferenciados por apresentarem uma alta taxa de magnetização, que se relaciona ao fato destes possuírem momentos de dipolos magnéticos intrínsecos altamente interagentes que se alinha paralelamente entre si. Esses elementos permanecem magnetizados mesmo quando o campo magnético se ausenta, criando assim ímãs permanentes. Para o processo de desmagnetização destes materiais, basta aplicar um campo magnético reverso ou elevar a temperatura da peça até um nível ideal, tornando a organização dos elétrons de forma aleatória.

## 4. Antiferromagnetismo

O comportamento da magnetização em função do campo é semelhante a de um paramagneto, mas as origens deste comportamento para um antiferromagneto são totalmente diferentes, pois este é um estado ordenado de longo alcance, enquanto o

paramagnetismo é um estado desordenado

## 5. Ferrimagnetismo

Tipo de magnetização permanente, cuja origem microscópica é similar à do ferromagnetismo, mas em que os momentos magnéticos dos íons vizinhos se alinham em sentidos opostos; quando esses momentos são elevados e de intensidades diferentes, como nas ferritas, a magnetização resultante pode ser elevada.

### III. COMPORTAMENTO DOS MATERIAIS SUBMETIDOS A UM CAMPO MAGNÉTICO

Todo material exhibe propriedades magnéticas quando submetido a um campo magnético externo e com base no comportamento desses materiais, é possível classificar os materiais mais utilizados na engenharia nas fases em que se enquadram.

	Diamagnetismo	Paramagnetismo	Ferromagnetismo	Ferrimagnetismo	Antiferromagnetismo
Alumínio		X			
Bismuto	X				
Chumbo	X				
Cobalto			X		
Cobre	X				
Ferro			X		
Magnésio		X			
Magnetita				X	
Níquel			X		
Oxido					X

o de manganes					
Sulfato de Cobre		x			
Prata	x				
Ouro	x				
Alumina	x				

TABELA 1 - MATERIAIS E FASEM QUE SE ENQUADRAM

Materiais como cobre, ouro, prata e alumina são diamagnéticos a temperatura ambiente. Supercondutores devem obrigatoriamente ser diamagnéticos, eles apenas perdem sua supercondutividade quando outro efeito magnético, como o paramagnetismo, torna-se ativo e, assim, permitindo que o campo penetre o material.

Materiais como alumínio, titânio e ligas de cobre são paramagnético. Esses materiais são resistentes a corrosão.

Materiais ferromagnético como ferro puro, níquel e cobalto não são normalmente usados para aplicações elétricas, pois possuem alta condutividade elétrica. Eles são considerados ímãs permanentes relativamente pobres.

Nos materiais antiferromagnético, como o cromo, quando submetido a um campo magnético externo este tipo não se magnetiza, e se a sua temperatura se elevar ele se torna um material paramagnético.

Materiais ferrimagnético são fortemente magnéticos e, a exemplo, muito utilizado na fabricação de bússolas

#### IV. APLICAÇÕES MAGNÉTICAS NA ENGENHARIA

Será mostrado algumas aplicações presentes nas engenharias de telecomunicações, controle e automação, computação e biomédica que possuem princípios magnéticos em seu funcionamento.

	Eng. de Telecomunicações	Eng. de Controle e Automação	Eng. de Computação	Eng. Biomédica
Auto Falante	x	x	x	x
Detector de Metais		x		
HD			x	
Motor		x		
Reed Switch		x		
RFID	x			
Rele		x		
Ressonância Magnética				x
Transformador	x	x	x	x

TABELA 2 - APLICAÇÕES ENQUADRADAS EM DETERMINADA ENGENHARIA

O autofalante tem como estrutura fundamental seu conjunto magnético, sendo esse o ímã permanente e a bobina móvel (que produzirá um campo magnético a partir de uma corrente). Entre estes dois componentes existe um espaço livre, denominado entreferro, com permeabilidade magnética equivalente à do ar. O funcionamento ocorre da seguinte maneira, a bobina móvel é inserida no campo magnético do ímã permanente e, quando se aplicada uma corrente alternada em seus terminais, é gerada também uma densidade de fluxo magnético pela bobina. A interação entre estes dois campos magnéticos faz com que a bobina móvel se desloque num determinado sentido. O sentido do campo magnético gerado pela bobina varia de acordo com a variação do sentido da corrente, fazendo com que se tenha uma força resultante para fora e após uma resultante para dentro. A mudança de direção da força gerada dá origem ao movimento da bobina móvel, ocasionando também a movimentação do ar na mesma frequência e gerando a onda sonora.

Um detector de metais consiste basicamente em uma bobina enrolada num núcleo de ferro. A bobina é percorrida

por uma determinada corrente elétrica, que gera um campo magnético. Quando o detector é aproximado de um objeto metálico, ocorre uma variação no fluxo magnético através do objeto, induzindo nele correntes elétricas. Essas correntes geram um campo magnético variável, que induz uma corrente na bobina, de intensidade diferente daquela que a percorre. Quando o fluxo magnético varia na superfície de uma bobina, surge uma corrente elétrica, denominada corrente induzida, e o sentido da corrente induzida é tal que, por seus efeitos, opõe-se à causa que lhe deu efeito. Essa variação na corrente é registrada por um amperímetro que, por sua vez, acusa a presença do objeto metálico, através de um alarme sonoro. O princípio básico da fabricação dos detectores de metais é o mesmo da fabricação dos transformadores, do microfone, dos autofalantes, etc.

HD ou disco rígido, equipamento capaz de armazenar dados nos computadores. Os Hard's Disc possuem como uma de suas partes, os pratos, que são os discos onde os dados são armazenados. Eles são feitos, na maioria das vezes, de alumínio coberto por um material magnético e por uma camada de material protetor. Quanto mais denso for o material magnético maior é a capacidade de armazenamento do disco. A cabeça de leitura, parte da estrutura do HD, possui um tamanho bem reduzido e contém uma bobina que utiliza de impulsos magnéticos para manipular as moléculas da superfície do disco e assim gravar dados. Novamente dentro da estrutura possui também o atuador responsável por deixar a cabeça trabalhar, o atuador possui internamente um bobina que é induzida por ímãs.

Em um motor, o torque magnético é exercido sobre um condutor que transporta uma corrente e a energia é convertida em energia mecânica. A parte móvel do motor é o rotor, uma espira de cobre que possui a capacidade de girar em torno de um eixo e possui extremidades abertas ligadas a dois contatos. As extremidades dos fios do rotor são ligadas a dois segmentos condutores, que formam um comutador. Cada um dos dois segmentos dos comutadores entra em contato com uma escova, ligada a um circuito externo que inclui uma fonte de fem. Isso produz uma corrente que entra no rotor pelo lado esquerdo e sai pelo lado direito. Portanto, o rotor é

uma espira de corrente com momento magnético. O rotor está situado entre os polos opostos de um ímã permanente, de modo que existe um campo magnético que exerce um torque sobre o rotor.

Um reed switch pode ser considerado um sensor normal, porém ele se distingue dos demais devido ao seu funcionamento magnético. Tendo o mesmo princípio de um interruptor, ele deixará ou não passar corrente elétrica. Em seu interior existem duas lamínas compostas por material ferromagnético separadas uma da outra em uma distância muito pequena e quando aproximado um ímã desse sistema ele fará uma comutação entre essas duas lâminas.

O reed switch é muito usado em diversas aplicações da engenharia de controle e automação. Possui grande aplicação em sensores de níveis, encapsulado na estrutura do sensor ficando imóvel, e sendo acionado pelo ímã encapsulado dentro de uma boia que se moverá de acordo com o nível da água ou líquido.

Os sistemas RFID são compostos basicamente pelos seguintes elementos: uma antena ou bobina, um transceptor (leitor ou programador) e um transponder (RF tag, ou simplesmente tag). A comunicação entre os tags e o transceptor é feita por uma comunicação sem fio. A antena emite um sinal para ativar o tag e através disso lê ou escreve um dado no tag. Apesar da expressão, antena, ser utilizado genericamente, seria mais coerente utilizar sistema de propagação, pois os RFID utilizam dois métodos de acoplamento, sendo o primeiro a proximidade eletromagnética ou indutiva e o segundo a propagação por ondas eletromagnéticas. A regulamentação da transmissão de áudio pela internet, o que significa ela não exige nenhuma licença especial para fazer o Stream para Radio, seja AM ou FM, para transmissão da sua rádio na web ou montar sua web rádio. É uma tecnologia sem fio (wireless) destinada a coleta de dados. Muito utilizados em linha de fabricação, de mercadorias, a identificação de um veículo, um animal ou um ser humano.

A imagem por ressonância magnética (IRM), é um método de diagnóstico por imagem estabelecido na prática clínica em crescimento exponencial. A IRM é, resumidamente, o



resultado da interação do forte campo magnético produzido pelo equipamento com os prótons de hidrogênio do tecido humano, criando assim uma condição para que se possa enviar um pulso de radiofrequência e, após, coletar a radiofrequência modificada, através de uma bobina, composta por ferro ou cobre, ou antena receptora. Este sinal coletado é processado e convertido numa imagem ou informação.

O magnetismo é também encontrado em aplicações mais complexa, como por exemplo o acelerador de partículas. Tem como objetivo acelerar partículas que compõem os átomos como, prótons e elétrons, chegando aproximadamente a velocidade da luz. Para que durante o trajeto acelerado pelos grandes tuneis, elas gerem luz (radiação) para que sejam analisadas para, portanto, estudar a matéria em seu detalhe mais íntimo. Os aceleradores de partículas são construídos em imensos tuneis circulares, geralmente subterrâneos. Dentro do acelerador aplica-se uma voltagem enorme para gerar um campo elétrico que acelera os núcleos atômicos em sentidos opostos até adquirirem velocidades muito próxima à velocidade da luz. Um campo magnético gerado por poderosos ímãs super condutores é utilizado para curvar a trajetória das partículas fazendo com que eles consigam dar várias voltas no circuito para ganhar velocidade. Quando atingem velocidade no máxima, é gerado uma radiação que é utilizada para fazer os experimentos. Um exemplo simples de acelerador de partículas é a televisão, onde elétrons são liberados, acelerados por um campo elétrico e ficam paralelos devido à um campo magnético, atingindo a tela e formando a imagem.

## V. CONCLUSÃO

A intenção desse trabalho foi mostrar uma visão mais abrangente e menos técnica, pois foi mostrado de maneira didática como os fenômenos magnéticos evoluíram até o contexto atual, sendo enfatizado também como os materiais magnéticos se comportam e como se encaixam em determinadas aplicações.

Este artigo, embora simples, será muito útil para que estudantes possam ter um primeiro contato com o

magnetismo, saber de sua origem e o quanto ele está presente ao seu redor tendo exemplos específicos das engenharias de controle e automação, telecomunicações, biomédica e computação.

## REFERÊNCIAS

- [1] HALLIDAY, et al. Física 3. 4 ed. Estados Unidos: LTC, 1984.
- [2] SEARS.; ZEMANSKY. Física III : 12. ed. São Paulo: Person Addison Wesley 2009
- [3] RIBEIRO, Giuliano Augustus Pavan. As propriedades magnéticas da matéria: um primeiro contato. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 22, n. 3, 2000.
- [4] SINNECKER, João Paulo. Materiais magnéticos duros e materiais ferromagnéticos amorfos. Revista brasileira de ensino de física, v. 22, n. 3, 2000.
- [5] RODRIGUEZ, Gustavo Jesús Bracho. O porque de estudarmos os materiais magnéticos. Revista Brasileira de Ensino de Física vol, v. 20, n. 4, p. 315, 1998.
- [6] FARIA, Rubens N.; LIMA, Luis FCP. Introdução ao magnetismo dos materiais. Editora Livraria da Física, 2005.
- [7] H. Hayt, Jr, A. Buck. Eletromagnetismo. 7 ed. México: The Mc Graw Hill, 2006.
- [8] HALLIDAY, et al. Física 3. 4 ed. Estados Unidos: LTC, 1984. SEARS.; ZEMANSKY. Física III : 12. ed. São Paulo: Person Addison Wesley 2009

# Um Sistema de Localização Indoor baseado em Bluetooth

Filipe M. Ribeiro, Mauro Sérgio M. Pereira & Carlos A. Ynoguti

**Abstract**—The indoor location system aims to finding equipment and / or people indoors, through a medium of connection: Wi-Fi, Bluetooth, etc., that constantly reads about their geolocation in closed place in real time.

**Index Terms**—Indoor GPS, Beacon Examples, Indoor Solutions, Indoor GPS, Indoor BLE, Mesh Network, GPS.

**Resumo**—O sistema de localização indoor tem como objetivo encontrar equipamentos e/ou pessoas em ambientes fechados, através de um meio de conexão seja: Wi-Fi, Bluetooth, etc, que realiza constantemente leituras sobre suas geolocalização em ambientes fechados em tempo real.

**Palavras chave**—GPS Indoor, Exemplos Beacon, Soluções Indoor, GPS Interno, Indoor BLE, GPS.

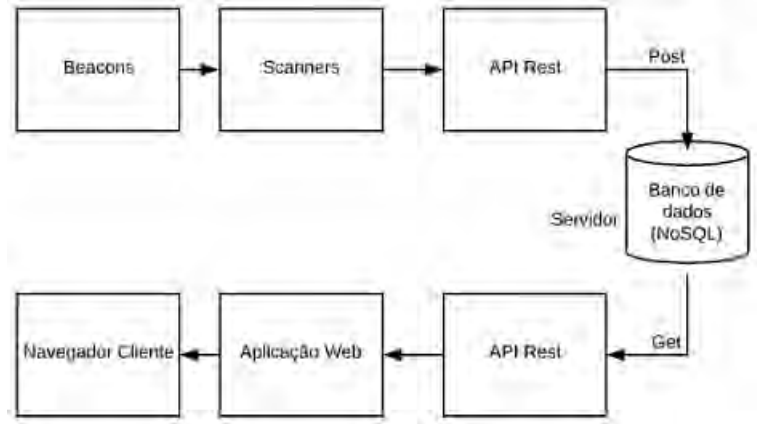


Fig. 1. Diagrama do Sistema Indoor

## I. INTRODUÇÃO

O GPS se consolidou como a tecnologia padrão de geolocalização. Entretanto esta tecnologia necessita de uma visada direta com o Satélite, e portanto não funciona em ambientes fechados, impossibilitando encontrar objetos e pessoas nestes lugares. Para isto utilizamos uma técnica de localização Indoor, que segue o mesmo processo de funcionamento do seu sucessor, porém todo o mapeamento do local é feito por software, onde são espalhados sensores que constantemente mandam informações de sua localização. Para isto existem 3 métodos, *Cell ID*[1], *WIFI*[2] e *bluetooth*[3].

*CELL ID*, todo celular possui um identificador único ou seja um número único que está atribuído em diversas *Base Transceiver Station*(BTS), onde cada BTS possui informação da sua geolocalização definida pela sua latitude e longitude.

*WIFI* indoor a cisco com a parceria com a qualcomm criaram um serviço que utiliza triangulação das potências de sinais com dos hotspots *wi-fi*.

Optamos por utilizar a tecnologia *Bluetooth LE* (Low Energy) devido as suas características, tais como: Baixo consumo de energia, tamanho pequeno, custo acessível, facilidade de interação com demais componentes, instalação em equipamentos e não apenas em aparelhos celulares. Como demonstrado na figura 1.

Manuscrito recebido em 08 de Janeiro de 2018; revisado em 18 de novembro de 2005.

M. S. M. Pereira (mauropereira@get.ianatel.br) e F. M. Ribeiro (filipemazon@gec.inatel.br) pertencem ao Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel. Av. João de Camargo, 510 - Santa Rita do Sapucaí - MG - Brasil - 37540-000.

## II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### A. Funcionamento do Sistema Indoor

Foi desenvolvido um sistema de posicionamento interno através de transmissores e receptores que possuem os módulos: *bluetooth BLE* (Bluetooth Low Energy). Denominamos os transmissores de *Beacons* e os receptores de *scanners*, podendo estabelecer uma conexão através de uma rede e interagir *Beacons* e *scanners* entre si. Os *Beacons* enviam a informação através do sinal *bluetooth* 4.0, um pulso de sinal carregando o endereço MAC (Media Access Control) respectivo do mesmo, o qual será captado pelo(s) *scanner*(s) mais próximo(s). Importante ressaltar, que o *scanner* não consegue captar a localização geográfica do *beacon*, apenas obtém o nível de potência entre sinal entre eles, o *scanner* faz o cálculo da medida da média ponderada da potência do sinal recebido entre o *scanner*(s) e o *Beacon*(s) através da expressão matemática 1. Este termo é conhecido como RSSI (Received Signal Strength Indication).

$$Mediaponderada = \frac{\sqrt{\sum P_m}}{N_p} \quad (1)$$

Sendo:

- $\sum P_m$  - Soma dos sinais medidos em cada ciclo de tempo.
- $N_p$  - Número de ciclos medidos.

A informação da potência é medida através de ciclos, onde cada ciclo captura uma amostra aumentando assim a precisão do sinal, enviando posteriormente para o servidor local através de uma rede *WI-FI*, onde é realizado um processo de filtragem,

que reconhecerá todos os sinais enviados pelos *scanners* que estão sendo armazenados dentro do banco de dados via APIrestful, gerando também um histórico das posições de cada *beacon*, pela API as aplicações web e mobile conseguem capturar as informações geradas pelo serviço, e mostra no dashboard a localização de cada *beacon*.

### B. Equipamentos e Ferramentas utilizados

#### 1) C2650 - Texas Instruments

O componente que atua como *Beacon*, foi a placa C2650 da Texas Instruments. Pois este modelo já possui o módulo BLE incluso e o preço acessível.

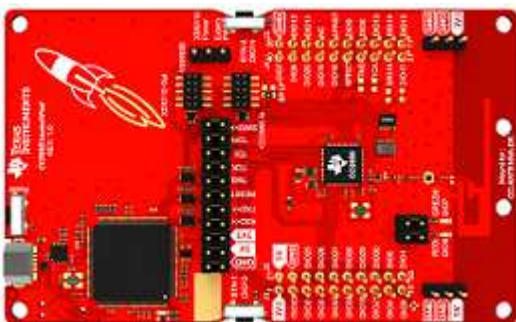


Fig. 2. CC2650, *Beacon* - Texas Instruments.

A construção do firmware foi feita utilizando os modelos exemplos disponíveis pela empresa Texas Instruments. São eles: *simple\_peripheral* e *simple\_broadcaster*, este exemplo denomina o nome do *Beacon* para o *scanner* declarando seu nome e endereço.

#### 2) Raspberry Pi 3

O componente que atua como *scanner* é uma raspberry pi 3, optamos por este modelo por possuir o módulo BLE e uma interface gráfica.



Fig. 3. Raspberry Pi 3 - Scanner.

A Raspberry Pi 3 tem como função fazer a varredura e capturar as informações dos *Beacons* ao seu redor. Fazendo a leitura do RSSI como mencionado na expressão 1. Assim é possível verificar se o mesmo se

encontra próximo ou não do *scanner*.

- 3) Servidor O servidor realiza a verificação da informação recebida, passando por um processo de busca em seu banco de dados todas as informações do *Beacon* e determinando sua localização e mandando a localização para o banco de dados novamente criando assim um histórico das posições de cada *Beacon*. O mesmo também é responsável pela hospedagem da aplicação web (DashBoard), que é acessível através de um navegador. A API recebe as informações de todos os *scanners* referente aos níveis de sinais dos *Beacons*, filtra os mais importantes, determinando a onde o *Beacon* se encontra com certa precisão, no momento seguinte essas informações podem ser capturadas por qualquer aplicação sendo elas web, mobile ou desktop e printar as informações dentro do mapa na seguinte plataforma.
- 4) Dashboard é o painel acessível através do navegador, ele foi desenvolvido de forma intuitiva propondo ao usuário facilidade de acesso podendo visualizar os *Beacons* na planta baixa, se estão ativos ou desativados, podendo alterar, visualizar e deletar suas informações.



Fig. 4. Pagina WEB

#### 5) Distribuição Espacial dos equipamentos

Para se ter o melhor aproveitamento do sistema é necessário que os *scanners* estejam em pontos estratégicos. Através de testes, notou-se que é necessário, um *scanner* estar aproximadamente entre 3 a 5 metros de distância um do outro, por causa da interferência de terceiros no sinal *bluetooth*, tais como: paredes, motores, pessoas,

redes *Wi-fi*, clima, etc. Tem-se um exemplo como o modelo da figura 5. Quanto maior a quantidade de *scanners* for utilizado maior será a área de atuação e a precisão do serviço. Isto também se implica na elavação do custo do mesmo.



Fig. 5. Distribuição sinal *bluetooth*.

### III. CONCLUSÃO

Foi desenvolvido um sistema utilizando o módulo *bluetooth* e o RSSI tendo uma precisão de 3 metros de distância de um *scanner* com o *Beacon*. Com isso é possível saber em qual sala um determinado equipamento ou pessoa se encontra, em tempo real. Estas informações são mostradas ao usuário por meio de um dashboard em uma aplicação Web. A etapa seguinte do projeto é a criação de um aplicativo mobile para poder monitorar maior conjunto de pessoas.

### IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

#### REFERÊNCIAS

- [1] Indoor com CELL ID. Disponível em : <https://www.devmedia.com.br/geolocalizacao-alem-do-gps-utilizando-cellid-e-wifi/34133>
- [2] Indoor com Hostpot. Disponível em : <https://exame.abril.com.br/tecnologia/cisco-cria-servico-de-localizacao-indoor/>
- [3] Element14 Community. Disponível em : <https://www.element14.com/community/thread/57001/raspberry-pi-3-on-board-bluetooth-programming?displayFullThread=true>
- [4] FelipFlop. Disponível em : <https://www.filipeflop.com/blog/automacao-basica-bluetooth-ble-na-raspberry-pi/>
- [5] GitHub. Disponível em : <https://github.com/taka-wang/py-beacon>
- [6] SwitchDoc Labs. Disponível em : <http://www.switchdoc.com/2014/08/ibeacon-raspberry-pi-scanner-python/>
- [7] Python<sup>TM</sup>. Disponível em : <https://www.python.org/about/gettingstarted/>

# Accessibility: Efetividade no Acesso a vagas reservadas

Carlos Bryan Andrade de Paiva  
Inatel  
carlosbryan@gec.inatel.br

João Paulo Prado Rosa  
Inatel  
joao.rosa@gec.inatel.br

Lucas Eduardo M. da Silva  
Inatel  
lucassilva@gec.inatel.br

Rodrigo Henrique Maciel de Assis  
Inatel  
rodrigoassis@gec.inatel.br

Guilherme A. Barucke Marcondes  
Inatel  
guilherme@inatel.br

**Abstract**—*This article aims to present the development and implementation of an App for Special Needs Person (SNP), instrumentalizing their access to reserved places on public streets, in accordance with Law n°. 13.146/2015.*

**Index Terms**— *App, Special Needs Person, reserved places.*

**Resumo**—O presente artigo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento e a implementação de um aplicativo destinado a Pessoa com Necessidades Especiais (PNE), instrumentalizando, assim, o seu acesso a vagas reservadas em vias públicas, em consonância com a Lei n°. 13.146/2015.

**Palavras chave**—Aplicativo, Pessoa com Necessidades Especiais, vagas reservadas.

## I. INTRODUÇÃO

Com o aumento do número de carros nas cidades, a dificuldade de se encontrar vagas para estacionar também se amplia. Segundo especialistas, a Frota de carros no Brasil mais que dobra em dez anos [1]. Então, reflita sobre esta árdua tarefa para uma Pessoa com Necessidades Especiais (PNE). O desenvolvimento de aplicativos aliado à busca pela efetividade das Leis pode auxiliar os indivíduos em suas mais diversas atividades, entre estas, instrumentalizar o direito da PNE em ter acesso às vagas reservadas em vias públicas. Neste sentido, o presente trabalho relaciona-se com a temática “Tecnologia Assistiva (TA)”, cuja terminologia, segundo Varela e Oliver [2], foi oficializada pelo Comitê de Ajudas Técnicas da Subsecretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência. Ela é considerada como uma área interdisciplinar do conhecimento, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços para promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, para lhes proporcionar autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social. Portanto, os benefícios auferidos com a disponibilização de um aplicativo para dispositivos móveis que apoie as PNEs podem ser grandes, apesar das dificuldades neste campo que não devem ser ignoradas. Tal como a possibilidade de pessoas com deficiência terem acesso reduzido ao aplicativo, pelos mais diversos fatores, dentre estes, conforme Souza e Carneiro [3] destaca-se a relação

entre deficiência e pobreza. Para estes autores há uma maior concentração de pessoas com deficiência em famílias de baixa renda, que acessam de forma restrita bens e serviços que poderiam favorecer suas condições de sobrevivência e bem-estar e neste específico caso, aponta-se o veículo, a habilitação, o smartphone e o acesso à internet. Desta forma, este artigo apresenta o desenvolvimento de um aplicativo destinado à PNE, destacando-se o quanto pode contribuir para a efetividade do seu direito à mobilidade. Assim, objetiva-se, com o desenvolvimento do aplicativo denominado *Accessibility*, promover a efetividade da Lei n°. 13.146/2015 (Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência), especialmente quanto ao seu Art. 47, e consequentemente garantindo-lhes o direito ao transporte e à mobilidade e em última instância, privilegiando o princípio constitucional da dignidade da pessoa humana. O restante deste artigo está organizado da seguinte maneira: a) na seção II é apresentada a tecnologia assistiva, seu conceito e os trabalhos relacionados ao tema; b) na seção III são abordados o ambiente e as ferramentas para o desenvolvimento do aplicativo; c) na seção IV o aplicativo *Accessibility* é destacado, descrevendo a sua estrutura e o seu funcionamento, finalizando-se com as conclusões, na seção V.

## II. TECNOLOGIA ASSISTIVA

Para Galvão Filho [4], a área de Tecnologia Assistiva (TA) pode ser vista como mediadora e ferramenta para o empoderamento e equiparação de oportunidades para a atividade autônoma da pessoa com deficiência na sociedade atual. Galvão Filho [4] ainda esclarece que a TA é uma expressão nova, que se refere a um conceito em processo de construção e sistematização. Informa, entretanto, que a utilização de recursos de TA, remonta aos primórdios da história da humanidade ou até mesmo da pré-história. Qualquer pedaço de pau utilizado como uma bengala improvisada, por exemplo, caracteriza o uso de um recurso de TA. Manzini [5], por sua vez, aponta que os recursos de TA estão muito próximos do dia a dia, ora causando impacto devido à tecnologia que apresentam, ora passando despercebidos. Exemplifica que se pode chamar uma bengala de TA, utilizada para proporcionar segurança no mo-



mento de caminhar, bem como um aparelho de amplificação utilizado por uma pessoa com surdez moderada ou mesmo um veículo adaptado para pessoa com deficiência. Entretanto, segundo Mello [6], enquanto nos países da América do Norte e da Europa há investimentos em pesquisadores e em pesquisas sobre o tema desde a década de 50, no Brasil, há poucos investimentos e a utilização da tecnologia assistiva ainda se encontra limitada.

#### A. Conceito

O Comitê de Ajudas Técnicas (CAT) [7], que se constitui como uma instância que estuda este campo do conhecimento no âmbito da Secretaria Especial dos Direitos Humanos da Presidência da República (SEDH/PR) aprovou e adota o conceito de TA como 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 a sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social. Neste sentido, contribui Bersch [8], ao esclarecer que TA é a aplicação de conhecimentos a serviço da resolução de problemas funcionais encontrados por pessoas com deficiência. Informa, em adição, que a TA se propõe a romper as barreiras externas que impedem a atuação e participação das pessoas com deficiência em atividades e espaços de seu interesse e necessidade.

#### B. Trabalhos Relacionados

Há estudos publicados na literatura referentes a soluções destinadas à PNE e, neste momento, são destacados os trabalhos de Prandi. et al [9], Karimi. et al [10] e Rocetti. et al [11]. Prandi. et al [9] destacam para o mPASS (*Mobile Pervasive Accessibility Social Sensing*), que se trata de um sistema de localização e contexto consciente que coleta dados de *crowdsourcing*, sensores e informações oficiais para mapear a acessibilidade urbana e arquitetônica. Destacam estes autores que a fusão de fontes urbanas heterogêneas permite que o aplicativo mPASS forneça aos usuários caminhos personalizados, calculados com base em suas preferências e necessidades. Em interessante trabalho, Karimi. et al [10] evidenciam o *Wheelmap* (*wheelmap.org*), que fornece informações se um local é acessível a cadeira de rodas, tem a acessibilidade limitada ou não é acessível, através de um aplicativo ou página *web*. Esclarecem que os locais são divididos nas seguintes categorias, que podem ser incluídas ou removidas do mapa pelo usuário: transporte público, comida, lazer, correios, educação, compras, esporte, turismo, hotéis, governo e saúde. O aplicativo *Geo-Zombie*, analisado por Rocetti. et al [11], foi projetado e desenvolvido para envolver os pedestres em tomar nota de impedimentos arquitetônicos urbanos e instalações, documentando-os através de imagens e dados multimídia. Além disso, o que se destaca nesta solução, é o uso de *Gamification*, em que os jogadores/usuários, ao tentar escapar de zumbis prontos para canibalizar os desavisados, podem mapear barreiras ou facilidades na cidade. Apesar de

encontrar aplicativos relacionados à acessibilidade, nenhum deles demonstrou conduzir a PNE ao seu destino, através de veículos automotores do próprio usuário, aliado ao *GPS* do seu *smartphone*, evitando, assim, perder tempo e combustível. Também não se identificou uma solução em que o próprio usuário possa cadastrar uma vaga reservada na cidade que ainda não se encontra no aplicativo, tornando-o colaborativo. Em virtude destas observações, optou-se pela criação do aplicativo *Accessibility* com estas características.

### III. AMBIENTE E FERRAMENTAS

Para o desenvolvimento e a implementação do aplicativo *Accessibility*, destinado ao acesso pela PNE a vagas reservadas em vias públicas, se fez necessário utilizar *softwares* específicos. Assim, optou-se pela utilização do sistema operacional *Android* e do Banco de Dados *Firestore*. O sistema operacional *Android* é o mais utilizado do mundo, e conforme Pereira [12], trata-se de uma plataforma para tecnologia móvel completa. Por ser *Open Source* (código aberto), existe a possibilidade de desenvolvedores aprimorarem o sistema e também desenvolver aplicativos para esse ambiente, bem como, incorporar novas tecnologias, conforme estas surjam. Além do mais, complementa o autor, a plataforma *Android* está sempre em evolução, uma vez que as comunidades de desenvolvedores estão sempre trabalhando para construir aplicações móveis inovadoras. Outro *software* utilizado na solução implementada foi o Banco de Dados *Firestore* do *Google* (v.5.0.1), que é hospedado na nuvem e armazena todos os dados em *JavaScript Object Notation* (JSON), constituindo-se em banco de dados *NoSQL* [13]. Optou-se pela utilização deste *software* por ser gratuito e fácil de trabalhar, pois, conforme Fernandes [14], o *Firestore* conta com um conjunto de soluções muito úteis que agilizam o desenvolvimento de aplicações. As principais funcionalidades são: controle de autenticação (*Authentication*), banco de dados em tempo real (*Realtime Database*), armazenamento de arquivos (*Storage*) e outras funcionalidades. Desta forma, a conjugação do *Android* ao *Firestore* demonstrou-se como meio mais simples e eficaz de se atingir o objetivo proposto neste trabalho e na seção IV o aplicativo *Accessibility* é apresentado, descrevendo o seu funcionamento.

### IV. APLICATIVO ACCESSIBILITY

Este tópico detalha a estrutura para o desenvolvimento e a implementação do aplicativo *Accessibility*.

#### A. Estrutura do Aplicativo

O aplicativo *Accessibility* foi desenvolvido para usuários do sistema operacional *Android*. Optou-se pela disponibilização para aqueles que utilizem a versão 4.4 *KitKat* ou superior, porque consegue atingir grande parcela de usuários. Adicionalmente, foi adotado o *Firestore* como banco de dados, que permite salvar as vagas reservadas em vias públicas aos PNEs, bem como os dados de cadastro de quem utiliza o aplicativo.

### B. Solução implementada - administrador

Na Figura 1 apresenta-se o diagrama da solução implementada com a perspectiva do administrador, visando demonstrar a sua estrutura e como ocorre o seu funcionamento.

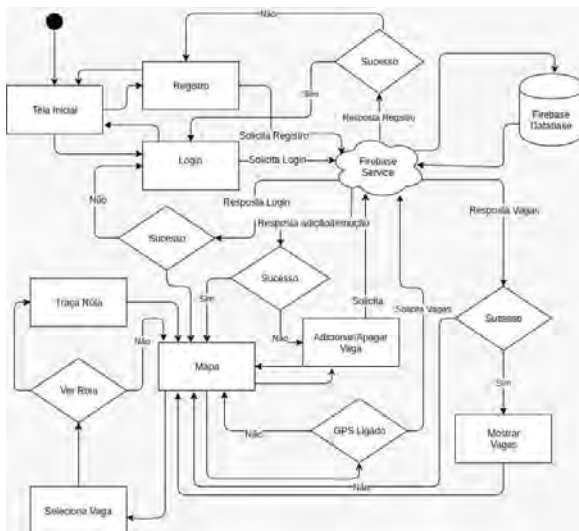


Fig. 1. Diagrama do aplicativo- Administrador.

A tela inicial apresenta os campos de inserção de usuário e senha, para possibilitar o registro e após o *login*. A requisição é enviada para o *Firebase Service*, que verifica no banco de dados e retorna a resposta para o usuário. É também possível realizar o *login* pelo *Facebook* (tanto do administrador quanto do usuário) e, uma vez obtido sucesso, abre-se um mapa (*Google maps*), que verifica se o *GPS* está ativado e caso não esteja, solicita para ativar. O mapa contém as vagas disponíveis no raio em que o usuário se encontra. Este raio é padrão do *Google maps*. O administrador/usuário pode escolher as vagas que já estão disponíveis no aplicativo e alcançar seu destino, pois o *Google maps* escolhe o melhor trajeto. Se houver uma vaga que não esteja cadastrada no aplicativo, o administrador poderá cadastrá-la ou remover qualquer outra.

### C. Solução implementada - usuário

Na Figura 2 apresenta-se o diagrama da solução implementada com a perspectiva do usuário, visando demonstrar a sua estrutura e como ocorre o seu funcionamento.

O funcionamento do aplicativo se dá inicialmente com o *login* pelo usuário, e caso não seja cadastrado, há a opção de realizar o registro. Usuário e senha corretos, abre-se uma tela exibindo o mapa, que mostra as vagas disponíveis e a opção de cadastrar e/ou remover uma vaga. Ao escolher a vaga, o aplicativo traça a melhor rota que conduzirá o usuário ao destino desejado. A figura 3 apresenta a tela inicial. Assim, a PNE está apta a realizar o *login* no aplicativo.

Se a função Sistema de Posicionamento Global (*GPS*, do inglês *Global Positioning System*) do aparelho do usuário não estiver ligada, uma mensagem será recebida para permitir o uso da localização, que, por sua vez, ativará esta função, conforme apresentado na figura 4.

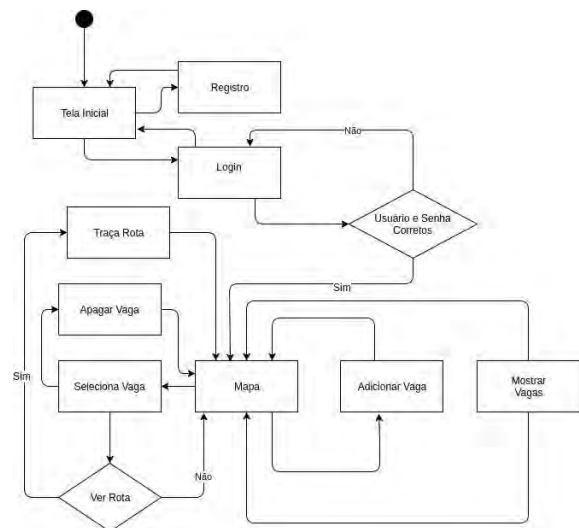


Fig. 2. Diagrama do aplicativo- usuário.

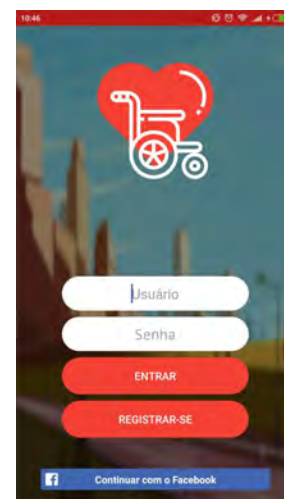


Fig. 3. Tela inicial Accessibility.

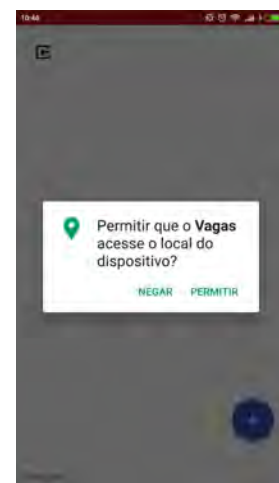


Fig. 4. Mensagem solicitando ativar GPS.

Posteriormente, a próxima tela exibe as vagas reservadas em vias públicas para utilização do usuário PNE, cuja representação se faz por meio de figuras de cadeira de rodas, sobre mapas, conforme apresentado na figura 5.

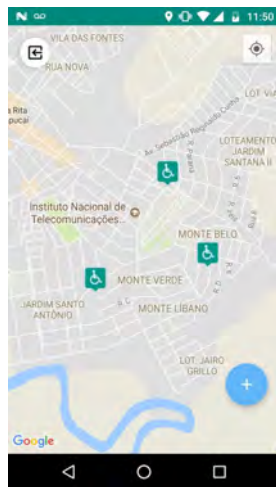


Fig. 5. Vagas reservadas PNE.

Ao clicar sobre a vaga, aparecerão informações mais detalhadas e caso o usuário queira se dirigir até este local, basta clicar no ícone azul que contém uma seta branca apontando à direita, existente na lateral direita inferior da tela, destacado com um círculo, como ilustrado na figura 6.

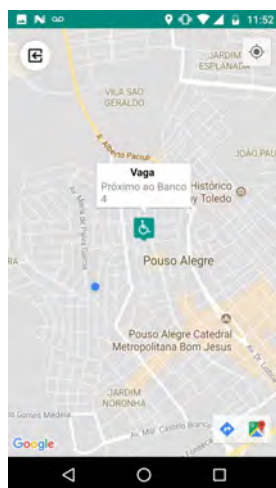


Fig. 6. Vaga.

Uma vez ativado este ícone, o melhor trajeto até à vaga será apresentado, possibilitando, assim, que o usuário se desloque para a localidade pretendida com facilidade. Um exemplo de sugestão de rota é apresentado na figura 7.

A tela apresentada na figura 7, também possibilita que o usuário obtenha informações quanto ao tempo que levará em seu trajeto.

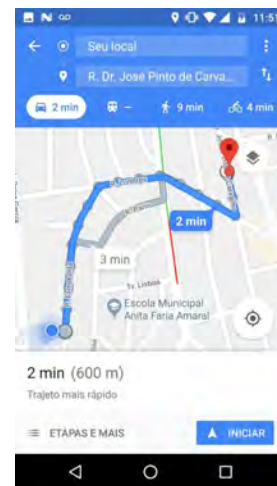


Fig. 7. Rota.

## V. CONCLUSÕES

O trabalho apresentou o desenvolvimento e a implementação de um aplicativo destinado a Pessoa com Necessidades Especiais (PNE), visando instrumentalizar, assim, o seu acesso a vagas reservadas em vias públicas. Certo é que não se pretende esgotar este tema, tendo em vista ser vasto, porém contribuir para a efetividade da Lei nº. 13.146/2015 (Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência), que em seu art. 47, preceitua que em todas as áreas de estacionamento aberto ao público, de uso público ou privado de uso coletivo e em vias públicas, devem ser reservadas vagas próximas aos acessos de circulação de pedestres, devidamente sinalizadas, para veículos que transportem pessoa com deficiência com comprometimento de mobilidade, desde que devidamente identificados. O aspecto importante que se destacou foi a utilização do *software Android* e *Firestore*, totalmente abertos, facilitando que os interessados desenvolvam aplicativos e favoreçam ainda mais a área da acessibilidade, vez que a tecnologia não deve jamais ser desperdiçada, muito menos a que proporciona inclusão e dignidade. Para finalizar, destaca-se a possibilidade de aprimoramento da solução implementada, tornando o aplicativo mais interativo, a exemplo de permitir que o usuário registre em foto o uso irregular de uma vaga e denuncie às autoridades, além da inclusão de novas funcionalidades e a implementação de comandos de voz para controle das funções do aplicativo.

## REFERÊNCIAS

- [1] O Dia, (2016, Fev.). Título. "Frota de carros no Brasil mais que dobra em dez anos". Disponível: <https://odia.ig.com.br/rio-de-janeiro/observatorio/2016-02-29/frota-de-carros-no-brasil-mais-que-dobra-em-dez-anos.html>
- [2] R.C.B Varela, "A utilização de Tecnologia Assistiva na vida cotidiana de crianças com deficiência.", *Ciência & Saúde Coletiva*, vol. 18, no. 6, pp. 1773-1784, August 2013.
- [3] J. M. Souza, R. Carneiro, "Universalismo e focalização na política de atenção à pessoa com deficiência.", *Saúde Soc*, vol. 16, no. 3, pp. 69-84, August 2007.

- [4] T.A. Galvão Filho, “*Tecnologia Assistiva para uma Escola Inclusiva: apropriação, demandas e perspectivas.*”, Tese (Doutorado em Educação), Universidade Federal da Bahia - UFBA, 2009.
- [5] E. J. Manzini, R. Carneiro, “*Tecnologia assistiva para educação: recursos pedagógicos adaptados.*”, Ensaios pedagógicos: construindo escolas inclusivas. Brasília: SEESP/MEC, pp. 82-86, 2005.
- [6] M. A. F. Mello, “*Tecnologia Assistiva no Brasil.*”, Anais do 1o. Fórum de Tecnologia Assistiva e Inclusão Social da Pessoa Deficiente, Universidade do Estado do Pará - UEPA, pp. 05-10, 2006.
- [7] CAT. Ata da Reunião VII, (2007, Dez.), Comitê de Ajudas Técnicas, Secretaria Especial dos Direitos Humanos da Presidência da República (CORDE/SEDH/PR), Disponível: [http://www.infoesp.net/CAT\\_Reuniao\\_VII.pdf](http://www.infoesp.net/CAT_Reuniao_VII.pdf).
- [8] R. C. R. Bersch, “*Design de um serviço de tecnologia assistiva em escolas públicas.*”, Dissertação (Mestrado em Design), Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRS, 2009.
- [9] C. Prandi, S. Mirri, P. Salomoni, “*Trustworthiness Assessment in Mapping Urban Accessibility via Sensing and Crowdsourcing.*”. Urb-IoT. Roma, Itália, pp. 123-135, 2014.
- [10] H.A. Karimi, M. B. Dias, J. Pearlman, G. J. Zimmerman, “*Wayfinding and Navigation for People with Disabilities Using Social Navigation Networks.*”. EAI Endorsed Transactions on Collaborative Computing, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, pp. 1-13, 2014.
- [11] M. Rocetti, P. Salomoni, V. Nisi, N. J. Nunes, C. Prandi, “*Fighting exclusion: a multimedia mobile app with zombies and maps as a medium for civic engagement and design.*”. Multimed Tools Appl, Vol. 76. pp. 4951-4979, 2017.
- [12] L. C. O. Pereira, “*Android para desenvolvedores.*”. Rio de Janeiro: SBRasport, 2009.
- [13] FIREBASE, 2017, Firebase Realtime Database., Disponível: <https://firebase.google.com/docs/database/>.
- [14] T. T. A. Fernandes, “*Agende-me: um sistema mobile para agendamento de serviços.*”, Monografia (Curso de Ciência da Computação). Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - UERN, 2017.

# Desenvolvimento de interface gráfica para jogo de reabilitação de membro superior

Gabriel Luiz da Silva

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
gabriel.luiz@gea.inatel.br

Pedro Henrique Carvalho Alves

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
pedro.alves@gec.inatel.br

Rani de Souza Alves

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
rani@inatel.br

Rinaldo Duarte Teixeira de Carvalho

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
rinaldo@inatel.br

**Abstract**— This project aimed to develop a graphical interface for a game of rehabilitation of upper limb. Improvements were made in the graphical interfaces and in their virtual reality, aiming at the assistance to the Physiotherapy sessions. The intention is to make them more interesting and stimulating to patients, regardless of age group and physical conditions. In conjunction with the entertainment proposals, it was also possible to evaluate the evolution of the player in the treatment through information captured by the sensor. The purpose of the project is to make therapy sessions less tedious for patients by providing the health professional with more information about each session and patient evolution.

**Index Terms**— Game, Rehabilitation, Virtual Reality, Kinect Sensor.

**Resumo**— Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de uma interface gráfica para um jogo de reabilitação de membro superior. Realizou-se melhorias nas interfaces gráficas e em sua realidade virtual, visando o auxílio às sessões de Fisioterapia. O intuito foi torná-la mais interessante e estimulante aos pacientes, independentemente da faixa etária e condições físicas. Conjuntamente com as propostas de entretenimento, também foi possível avaliar a evolução do jogador no tratamento por meio de informações captadas pelo sensor. O projeto desenvolvido tem como propósito tornar as sessões de terapia menos tediosas aos pacientes fornecendo ao profissional da saúde mais informações sobre cada sessão e a evolução de cada paciente.

**Palavras chave**— Jogo, Reabilitação, Realidade Virtual, Sensor Kinect.

## I. INTRODUÇÃO

A aplicação da tecnologia em jogos de reabilitação tornou-se um meio eficaz para análise de movimentos no processo de fisioterapia, com a imersão no jogo, o usuário sente-se motivado a seguir realizando as tarefas e evoluindo naturalmente. Além disso, o uso da realidade virtual por meio dos jogos oferece inúmeras vantagens, tais como o forte fator motivacional, o aspecto lúdico da terapia e o aumento da adesão e a aceitação do tratamento, por promover a sensação de realizar tarefas que não são possíveis na vida real [1].

Os processos de reabilitação tradicionais geralmente são maçantes e levam os pacientes ao desânimo e falta de motivação para realizar os exercícios e conseqüentemente, completarem a fisioterapia corretamente.

O equipamento que fornece as ferramentas necessárias para fazer a interação entre o usuário e o jogo, captando os movimentos do corpo e suas coordenadas é o sensor KinectTM Xbox 360® versão 1. Os recursos que compõem o sensor Kinect permitem capturar movimentos e comandos de voz do usuário.

Os jogos Kinect Sports (jogo que simula tênis, vôlei, entre outros) e Dance Dance Revolution (jogo de dança) são exemplos de jogos para o público geral que conseguem pontuar o desempenho da atividade física do jogador [2]. Entretanto, esses jogos não foram desenvolvidos para pessoas com dificuldades motoras e não dão o feedback necessário ao profissional de saúde, por isso, não são muito utilizados para fins de tratamentos terapêuticos.

Diante dessa necessidade, foi desenvolvido um jogo para reabilitação de membros superiores considerando os diferentes tipos de reabilitação e pessoas com características distintas, como por exemplo, pessoas que usam andadores ou cadeirantes.

Para cumprir tal objetivo, o jogo, denominado Rehab Game, possui configurações de alteração de tamanho de área de aparecimento dos alvos, seleção da porcentagem de alvos que surgem em cada área de ação e diferentes modos de jogo. Os alvos são compostos por círculos coloridos que aparecem aleatoriamente e devem ser atingidos utilizando partes do membro superior (mão, cotovelo e ombro) em uma tela que projeta o ambiente no qual o paciente está inserido [3, 4, 5].

O Rehab Game fornece feedback ao terapeuta em relação ao tratamento desenvolvido, informando as posições das partes dos membros superiores nos momentos de acerto dos alvos, o tempo entre cada acerto e o ângulo da articulação do cotovelo. Este protótipo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo seres humanos, sob o protocolo CAAE 55065616.6.0000.5142 e está sendo testado clinicamente com crianças e adolescentes, apresentando resultados significativamente positivos em relação à amplitude de movimentos [8].

Como aprimoramento do Rehab Game, o presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de ambientes de realidade virtual interativos e animados, a fim de promover a imersão dos pacientes.



## II. METODOLOGIA

Com base no protótipo anterior [5,6], as interfaces foram desenvolvidas na plataforma Unity integrada KinectTM Xbox 360® e mantiveram-se as formas de jogo e as principais características de ajuste. O protótipo atual também possui o fornecimento de feedback ao terapeuta por meio de planilhas em Excel e pela gravação de vídeos durante a sessão [3, 4, 5, 8].

Com relação ao jogo, optou-se a utilização da linguagem C# e o desenvolvimento dos códigos e sua programação foram feitos no Microsoft Visual Studio 2015.

Construiu-se também um novo ambiente para o menu inicial, por meio do qual se pode acessar as configurações do jogo e do Kinect e as opções jogar e sair.

Os ambientes de realidade virtual foram criados pensando na imersão dos pacientes e na responsabilidade de conscientização da população para um dos maiores problemas atuais de saúde pública no Brasil, as doenças causadas pelo mosquito *Aedes Aegypti*. Sendo assim, foram desenvolvidos dois cenários para o jogo Rehab Game.

No primeiro cenário, o jogador necessita eliminar os mosquitos e no segundo ambiente, deve-se limpá-lo, eliminando os objetos que acumulam água parada. Ao atingir os alvos, o jogador acumula pontos e o jogo é interrompido ao final do tempo determinado pelo terapeuta.

## III. RESULTADOS

Na Figura 1, tem-se a tela inicial desenvolvida, com as opções de seleção para configurações, ajustes do KinectTM Xbox 360®, jogar para dar início à sessão e sair.



Fig. 1. Figura 1. Tela Inicial Desenvolvida.

Na tela de configurações do jogo (Figura 2), insere-se os dados pessoais (nome, idade e sexo) e as modificações são realizadas atendendo as necessidades do usuário, como: a quantidade de alvos que aparecem simultaneamente, o tempo que irá durar o jogo com essas configurações, os tamanhos padrões da área onde os alvos irão surgir e os modos e estilos de jogo.

Nesta etapa de configuração, também se pode delimitar a área de jogo, que varia entre os valores -16 a 16 no eixo X e -10 a 10 para o eixo Y. Os alvos irão aparecer em qualquer



Fig. 2. Figura 2. Tela de Configurações do jogo.

lugar na tela de acordo com a área limitada a partir do alcance estabelecido pelo usuário na opção de definir área.

O jogo também é provido de uma tela para ajustar o Kinect contendo um botão de voltar para a tela inicial (Figura 3), que tem como finalidade informar o usuário a área máxima de captação dos membros pelo sensor. Nesta tela, tem-se a indicação de três exemplos de delimitação de áreas para o aparecimento dos alvos, representados pelos retângulos amarelo, verde e vermelho. Nota-se também a indicação por meio de círculos coloridos das partes dos membros superiores utilizadas para atingir os alvos durante o jogo.

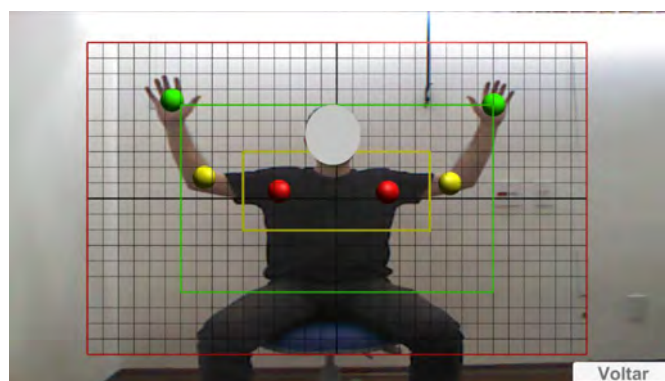


Fig. 3. Figura 3. Tela de visualização do ajuste do KinectTM Xbox 360® em relação ao tamanho da área delimitada para o surgimento dos alvos.

Ao selecionar a opção de jogar, o usuário irá escolher qual cenário deseja jogar. Em ambos, os objetos no centro da tela representam os cursores das respectivas partes dos membros, sendo os cursores com traços verdes, as mãos, amarelos os cotovelos e azuis os ombros.

No primeiro cenário (Figura 4), o jogador deve atingir os alvos indicados com mosquitos e no segundo (Figura 5), ele deverá atingir os alvos indicados como lixo e pneu (objetos que normalmente acumulam água e favorecem a proliferação do mosquito).

Ao final de cada sessão, um arquivo em Excel (.xls ou .xlsx) é gerado e salvo automaticamente no disco rígido do computador (C:) contendo as informações coletadas durante o jogo sem que o paciente perceba.

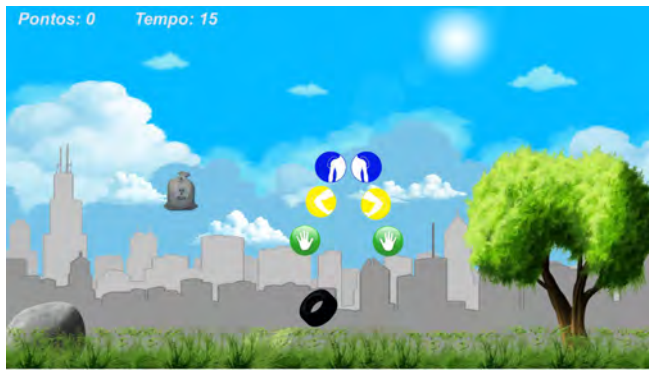


Fig. 4. Figura 4. Primeiro cenário criado, cujo objetivo é a eliminação dos focos do mosquito, com exemplo de jogo com 2 alvos (saco de lixo e pneu), tempo de 15 segundos e pontuação nula.



Fig. 5. Figura 5. Demonstração do segundo cenário, cujo objetivo é a eliminação dos mosquitos. Tem-se um exemplo com 2 alvos, em um tempo de jogo de 10 segundos e sem pontuação.

#### IV. DISCUSSÃO

O Kinect™ Xbox 360® foi escolhido por ser a ferramenta mais adequada a captar os movimentos dos membros dos usuários e pelas suas bibliotecas integradas à linguagem C, utilizada para a programação do jogo. Os ajustes propostos para a área de captação do Kinect™ Xbox 360® durante o jogo, são essenciais para que o Rehab game possa ser utilizado por diferentes públicos, aumentando sua atuação no processo de reabilitação.

A alteração realizada quando comparados a versão do jogo com a projeção do ambiente [3, 4, 5, 6] com o protótipo atual, que possui dois diferentes ambientes de jogo, foi em relação à seleção do ângulo do sensor. Na primeira versão, essa era uma das opções de configuração do Kinect™ Xbox 360®,

Entretanto, este sistema foi desconsiderado, pois, ao alterar a angulação do dispositivo, acredita-se que poderão haver prejuízos em relação à precisão de suas medidas. Esta limitação talvez seja sanada com a atualização do Rehab Game para o uso com o Kinect™ V2. O projeto atual propõe melhorias na realidade virtual para que o usuário possa ter diferentes experiências, mantendo o interesse pelo jogo. A criação do

a qual foi pensada para facilitar a instalação e a utilização do Rehab Game, eliminando a necessidade de deslocamento do sensor.

tema surgiu a partir da necessidade de conscientização da população em relação ao combate ao agente transmissor de graves doenças. A fim de determinar a adesão aos cenários criados, o projeto será testado clinicamente com pacientes e com o acompanhamento de profissionais especializados.

Ao final, os testes de eficiência do jogo com cenários serão comparados com os realizados para a versão que possui como característica a virtualização do ambiente em que o paciente se encontra no momento da sessão.

#### V. CONCLUSÃO

Neste artigo foi apresentado o protótipo de um jogo desenvolvido na plataforma Unity 3D considerando sua integração com o Kinect Xbox 360 R . A ferramenta utilizada apresentou resultados positivos em relação aos requisitos do projeto, atendendo a maioria das necessidades já fornecidas pela versão anterior do Rehab Game e acredita-se que foi possível criar ambientes de jogo mais interativos e que também cumpram um papel social de conscientização da saúde coletiva.

Como estudos futuros, serão realizados testes clínicos com o mesmo público que utilizou a versão do jogo com a visualização do próprio ambiente e as duas versões serão comparadas. Espera-se que o atual protótipo desenvolvido possa proporcionar uma maior imersão aos jogadores.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Y. Salem, et al, "E.M. Effectiveness of a low-cost virtual reality system for children with developmental delay: a preliminary randomized single-blind controlled trial. Special Issue on Advancing Technology including papers from World Confederation for Physical Therapy.", v. 98, n. 3, p. 189195, 2012.
- [2] P. N. Mustaro, "Jogos digitais: linguagens e estruturas convergentes para o entretenimento na contemporaneidade.", In: Camargo, TA. T. L. H. W. (Ed.). *Artes e Experimentações na Hipermódernidade. Relações sociais, linguagem digital e intercâmbios virtuais.* -, Syntagma Editores, Londrina, p. 199-220, 2015.
- [3] T. P. Rosa, et al, "Jogo de reabilitação de membros superiores utilizando o sensor Kinect com feedback para análise do tratamento", *Estudo Preliminar, XXV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica CBEB.*, Foz do Iguaçu, PR. 2016.
- [4] T. P. Rosa, et al, "Jogo de Reabilitação de membros superiores utilizando o Kinect.", *VII Simpósio de Instrumentação e Imagens Médicas/ VI Simpósio de Processamento de Sinais*, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.
- [5] W. P. Almeida, et al, "Jogo de Reabilitação com feedback para acompanhamento de tratamento.", *XXVIII Incitel.*, Santa Rita do Sapucaí, 2016.
- [6] J. Shotton, et al, "Real-time human pose recognition in parts from single depth images." In *Proceedings of the 2011 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition CVPR*, IEEE Computer Society, Washington, 2011.
- [7] V.S. Ramachandran, et al, "Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors.", *Proceedings of the Royal Society of London Series B Biological Sciences*, v. 263, p. 377-386, 1996.
- [8] T.P Rosa, et al, "Efeito de uma intervenção com um protótipo de jogo virtual na amplitude de movimento do membro superior de crianças e adolescentes com disfunção motora" *Estudo Preliminar, XVII Congresso Brasileiro de Biomecânica*, Porto Alegre - RS, 2017.

# Implementação de um Ponto de Acesso Personalizável com a Utilização de um *Single Board Computer* para Estabelecimentos Comerciais

Maicon Gaburo dos Santos

INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA DO ESTADO DO  
ESPÍRITO SANTO – IFES  
maicongaburo@yahoo.com.br

Everson Scherrer Borges

INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA DO ESTADO DO  
ESPÍRITO SANTO – IFES  
eversonborges@gmail.com

**Abstract** - Nowadays, due to the growth of technology usage and the increasing increase of the Internet, massification of the use of smartphones is very common to find access points to the web open to the public, better known as a free Wi-fi zone in bars, restaurant, bakeries or even in the center of a city, and to be able to connect connect it is just just needed to check in to a social network (facebook, twitter among others). This is being a smart way for a small and medium-sized entrepreneur to attract the public to their establishment and at the same time advertize their brand. The objective of this work is to implement a customizable Internet access point for small and medium-sized businesses and businesses, allowing the network to be connected and at the same time obtaining access information to help the entrepreneur to develop strategic sales of products and services.

**Index Terms** – Access point, check-in, raspberry, wirelees.

**Resumo** - Atualmente, com o devido crescimento do uso da tecnologia e o aumento crescente da Internet, massificação do uso de *smartphones* é muito comum se deparar com pontos de acesso à web aberto ao público, mais conhecido como zona de *Wi-fi* livre, em bares, restaurante, padarias ou mesmo no centro de uma cidade, sendo que para se conectar, basta fazer um *check-in* em uma rede social (*facebook*, *twitter* entre outras). Isso está sendo um meio inteligente para um empreendedor de pequeno e médio porte possa atrair o público até seu estabelecimento e ao mesmo tempo divulgar a sua marca. O objetivo deste trabalho é implementar um ponto de acesso a Internet, personalizável para comércios e empresas de pequeno e médio porte, que permita conectar a rede e ao mesmo tempo obter informações de acesso que ajudem o empreendedor a desenvolver ações estratégicas de vendas e oferta de produtos e serviços.

**Palavras Chave** – *check-in*, ponto de acesso, *Raspberry*, *wireless*.

## I. INTRODUÇÃO

Considerando os avanços tecnológicos que temos atualmente é possível ter um dispositivo de baixo custo com um poder de processamento relativamente alto e que não consome tanta energia, esse tipo de tecnologia são chamados de sistemas embarcados, para Ossada e Martins [1], "São sistemas com a finalidade de controlar um ambiente ou dispositivo físico, diferindo-se em diversos aspectos de um computador para propósitos gerais."

Atualmente é raro não encontrar um equipamento eletrônico sem esse tipo de sistema, ele pode estar de um simples sistemas de freio até de um controlador de misseis. Neste trabalho será implementado um sistema de *check-in* para o usuário de smartphone, ou algum outro tipo de aparelho com suporte a conexão *wi-fi*, consiga se conectar a Internet que esta sendo cedida através de um ponto de acesso ou *access point* de um determinado estabelecimento comercial de pequeno ou médio porte, sendo que será implementado uma página em PHP, com banco de dados MySQL e demais recursos necessários para viabilizar a autenticação e cadastro de usuários, para Rufino [2], "A maneira tradicional de adicionar segurança ao ambiente é promover autenticação do usuário e/ou do equipamento que deseja utilizar recursos da rede[...]", com isso o mesmo poderá logar na rede depois de um pequeno cumprimento de regras, que nada mais é que o compartilhamento da pagina/perfil do estabelecimento em uma de suas redes sociais. Para isso será utilizado um dispositivo de baixo custo nomeado de *Raspberry*, que costuma ser chamada de *single board computer* ou computador de placa única.

Para o total funcionamento desse dispositivo de pequeno porte será utilizado um sistema operacional *opensource*, *GNU/Linux*, de acordo com Nickel e Bessa [3], "[...] é um

sistema operacional baseado no *kernel Linux* e um conjunto variável de outros aplicativos. Esta coleção de software livre e não-livre é criada e mantida por indivíduos, grupos e organizações de todo o mundo [...]", nele vamos inserir alguns serviços/processos onde estará as principais funcionalidades do sistema de *check-in* que foi proposto.

Com isso o sistema também contara com um banco de dados para o armazenamento de cadastros de usuários e pesquisas, no intuito de saber devidas estatísticas sobre a rede como, por exemplo, a hora do dia em que mais teve acesso, e a partir dessas informações o empreendedor poderá saber quantas pessoas realizaram o *check-in* e se foi no turno da manhã, tarde ou noite, podendo assim ter uma noção em que investir ou aprimorar dentro do seu comércio.

## II. RASPBERRY

As *Raspberries* são computadores de placa única que podem simular processamento igual ou parecido de uma máquina de mesa, famoso *desktop*, que desde as primeiras versões se é utilizada a tecnologia ARM (*Advanced RISC Machine*). Atualmente, a versão mais recente dessa série de *single board* é a *Raspberry Pi 3* que nela é inserido um chip *Broadcom* com 1.2GHz, se tornando mais eficiente executar os comandos básicos e avançados de uma determinada aplicação, por exemplo instalar, gerenciar e administrar uma rede de *Internet* e os seus recursos dependendo da sua distribuição no sistema operacional.

O primeiro modelo disponibilizado no mercado foi em fevereiro de 2012, que foi o modelo A, que contava com um chip *Broadcom BCM2835*, 256 MB de memória RAM, processador ARM de 700 MHz, uma porta USB, uma saída HDMI, portas GPIO, saída de áudio analógica e leitor de cartão de memória. Esse modelo em questão como foi o primeiro a ser produzido é bem modesto, mas conseguiu suprir a demanda que foi proposta quando a ideia de se montar um computador de fácil acesso para a aprendizagem nas escolas. Em uma entrevista ao *Centre for Computing History* [4], Eben Upton, Chefe executivo da *Raspberry Pi Foundation* e um dos fundadores, explica que tudo começou em 2006 quando ele se interessou pelo conceito de eletrônica e estava tentando montar um computador com alguns componentes eletrônicos de fácil acesso no mercado, onde ele mesmo havia observado que esses micro controladores eram usados em placas de ignição de carros por exemplo.

A *Raspberry Pi Foundation* [5], é uma instituição de caridade que foi criada com o objetivo de incentivar a aprendizagem tecnológica de crianças e jovens do Reino Unido usando as suas placas, assim elas poderiam ver mais a fundo conceitos de programação e ainda conciliar com tarefas de sala de aula. Um dos catalizadores para tornar o uso e aprendizagem mais focado, foi o ambiente competitivo, onde era realizado feiras que seriam expostos os trabalhos feitos.

Com um preço bem acessível no mercado, a *Raspberry Pi* vem ganhando visibilidade no mundo da tecnologia, onde sua usabilidade pode se estender e abranger de acordo com o grau de conhecimento técnico do seu usuário.

## III. PONTO DE ACESSO (ACCESS POINT - AP)

O *access point*, é um dispositivo eletrônico que com ele possibilita a configurar uma rede de Internet sem fio para um determinado ambiente, tanto doméstico quanto de trabalho. Com esse dispositivo devidamente configurado é possível que um usuário acesse com o seu *smartphone*, *notebooks* ou até um *desktop* com uma placa *wireless* a Internet que está sendo compartilhada a partir de um estabelecimento comercial ou uma residência que contratou um serviço responsável pelo *link*.

Essa rede sem fio em um determinado ambiente que foi citado denomina-se Wi-Fi (*Wireless Fidelity*), esse termo foi estabelecido pela *Wi-Fi Alliance* conforme o padrão IEEE 802.11 para redes sem fio. Com o *wi-fi*, dispositivos eletrônicos podem se conectar a Internet sem a necessidade de usar cabos em uma distância considerável do local de instalação do *link*, mas de acordo com a potência do equipamento que foi escolhido como AP.

Para um bom funcionamento da rede sem fio, passa por uma série de padrões estabelecidos e definidos pela IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers* – Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos), e esses são IEEE 802.11(a/b/g/n/ac). Cada um desses padrões tem uma frequência e uma capacidade de transmissões diferentes um do outro, assim o sinal pode conseguir se adaptar de acordo com o seu local de origem.

## IV. JUSTIFICATIVA

Hoje em dia a venda de roteadores e aparelhos de compartilhamento de Internet ficou mais acessível à sociedade. A Intelbras que é uma das maiores empresas de tecnologia sem fio no Brasil, como afirmou o presidente Altair Silvestri em uma entrevista [6] à colunista Estela Benetti em 2016 para o jornal *Diário Catarinense*, “Hoje lideramos praticamente todos os segmentos em que atuamos [...] Nosso parque fabril tem duas unidades em São José, uma em Manaus e outra em Santa Rita do Sapucaí (MG). Temos 2,3 mil colaboradores e exportamos para mais de 20 países”, oferece soluções completas nas áreas de segurança, redes e telecomunicações.

Logo, essa empresa como é uma das mais visadas no mercado atualmente, se torna uma opção forte na hora da escolha de aparelhos eletrônicos. Contudo, existem alternativas para a execução da mesma tarefa. Uma delas é a utilização das placas *Raspberry Pi*, que para usuários avançados, conseguem configurar e fazer um uso alto do seu desempenho. De acordo com Pedro Minatel [7], o processamento dessas placas são superiores aos roteadores comuns que são encontrados no mercado, contendo uma memória RAM e armazenamento com capacidades maiores e capacidade de expansão e acoplagem de periféricos via entradas USB's.

Além disso, um roteador com capacidade de integração a plataforma de *check-in* em uma rede social semelhante a que vai ser implementada neste projeto custa em média R\$250,00 (duzentos e cinquenta reais) e a placa que foi escolhida para ser usada tem um custo aproximadamente de R\$113,00 (cento e treze reais), sendo que a arquitetura de configuração do roteador Intelbras já vem pronta para a utilização do produto no ambiente comercial e é totalmente

fechada para personalizações, que é um dos focos principais na elaboração deste artigo.

Para ilustrar melhor e deixar claro um pouco das configurações de um aparelho de roteamento com opção da plataforma de *check-in*, nas figuras 1 e 2 que foram capturadas durante uma série de testes para a familiaridade e conhecimento do seu funcionamento demonstram um pouco do que o sistema pode fazer e suas configurações básicas.

O aparelho em questão é um *Hotspot 300* da empresa Intelbras.



Figura 1: Configuração e escolha do modo de acesso a rede. Fonte: do Autor.

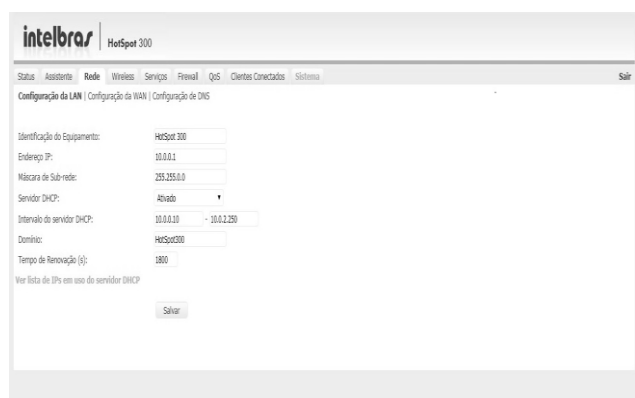


Figura 2: Escolha do nome, servidor DHCP, IP e domínio da rede. Fonte: do Autor.

Depois de uma busca por aparelhos semelhantes em sites de tecnologia, como por exemplo a [www.raspberrypi.org](http://www.raspberrypi.org), [www.cubietruck.com](http://www.cubietruck.com) e [www.embarcados.com.br](http://www.embarcados.com.br) (sendo este último brasileiro e que faz importação dos produtos), para a instalação e configuração do AP, foi escolhido dois modelos de *single board* parecidos, *Raspberry Pi 3 Modelo B* e a *Cubieboard 3 / Cubietruck*, e foi feita uma tabela de comparação.

Com a tabela 1 pronta, foi analisado os requisitos necessários para o total funcionamento do AP com todas as funções propostas, como por exemplo, o poder de processamento.

A tabela 1 foi fundamental para a decisão na hora de adquirir o produto, expondo e comparando os pontos positivos e negativos das placas em questão. De acordo com ela podemos perceber que o poder de processamento da

*Raspberry* junto com o custo benefício entre as placas, foi o diferencial para a escolha na implementação deste projeto.

TABELA 1: TABELA DE COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS DE SINGLE BOARD. FONTE: DO AUTOR.

Características	Raspberry Pi 3 Modelo B	Cubieboard 3 / Cubietruck
Processador	Broadcom BCM2387 ARM Cortex-A53 Quad Core 1.2GHz	AllWinnerTech SOC A20, ARM® Cortex™-A7 Dual-Core 1GHz, ARM® Mali400 MP2 OpenGL ES 2.0/1.1
Memória RAM	1GB RAM	1GB/2GB DDR3@480MHz
Portas USB	4 x USB 2 ports	2 x USB + 1 USB OTG
Conexões Wireless e Bluetooth	802.11 b/g/n Wireless LAN, Bluetooth 4.1	Wifi+BT wireless connection with antenna on-board BCM AP6210
Vídeo	Full size HDMI	HDMI&VGA 1080P
Armazenamento	Micro SD	8GB NAND+MicroSD
Alimentação	Micro USB 2.5A	DC5V @ 2.5A with HDD, support Li-battery & RTC
Conexão Ethernet	10/100 BaseT Ethernet socket	10M/100M/1G Ethernet PHY
Porta SATA	Não possui	SATA 2.0
Conexão GPIO	40 pinos	Não Possui
Bateria de clock	Não Possui	Possui
Preço \$/R\$	\$35 / +- R\$114	\$99 / +- R\$322

## V. CHECK-IN EM REDES SOCIAIS

Uma ferramenta que vem sendo utilizada com grande frequência para a divulgação de produtos e serviços e que se mostra eficiente são as redes sociais. Atinge grande parte da população mundial, de acordo com o site do *Facebook* [8], existem mais de 1 bilhão de usuários criados, isso foi uma conquista divulgada pela própria empresa em seu próprio domínio no ano de 2015.

O *check-in* é uma forma que *Facebook* implementou para que seus usuários possam compartilhar sua localização com seus amigos ou se preferir pode deixar visível para a comunidade inteira da rede social. Alguns empresários começaram a utilizar essa forma de compartilhamento de local combinado com divulgação do seu empreendimento para aumentar a visibilidade e atrair novos clientes. Para o Especialista em Marketing Digital e Empreendedor, Allan Peron [9], “Quanto mais *check-ins* e interações sua página tem, melhor será sua classificação na pesquisa e na guia locais, próximos do aplicativo móvel do *Facebook*”.

## VI. IMPLEMENTAÇÃO

O ponto de acesso será instalado e configurado de acordo com as definições que forem acordadas com o dono ou responsável pelo estabelecimento comercial



proporcionando assim uma maior flexibilidade, para que isso seja feito com total sucesso, serão realizadas algumas reuniões para deixar claro o aspecto do sistema.

A versão escolhida para realizar os processos é a *Raspberry Pi 3 Model B* com as seguintes configurações [5]:

Com um processador ARM *Cortex-A53 Quad Core de 1.2GHz*; Memória DDR 1GB; Rede *Ethernet 10M/100M*; Rede sem fio *802.11b/g/n WiFi e Bluetooth 4.1* com antena na própria placa.; Uma saída de vídeo HDMI.; Os 40 pinos de expansão GPIO; Entrada de Áudio analógica; Dimensões reduzidas: Tamanho da placa: 8,5cm x 5,6 cm; Demanda o uso de uma fonte externa de 5V de tensão de alimentação 3A. Solução de armazenamento: MicroSD com suporte a *boot USB*; 4 portas USBs.

Nela será instalada uma versão do sistema operacional *Raspbian* que é uma versão própria para o dispositivo que foi escolhido para a configuração do ponto de acesso, onde o mesmo está disponível no site da *Raspberry Pi Foundation*.

Juntamente com o S.O que foi escolhido, será implementado uma interface em *PHP* personalizável que foi previamente detalhada e escolhida pelo dono do estabelecimento comercial. Onde a mesma terá os campos de *check-in* com as plataformas de redes sociais (*Facebook*, *Twitter*, *Instagram* e etc.) que foram pré-determinadas em definições sugeridas e pautadas.

O processo de instalação do S.O é realizada em um cartão microSD na própria placa *Raspberry*, onde existe a opção de usar a versão que está no armazenamento removível ou pode aceitar uma sugestão do próprio sistema de instalação que nos dá uma lista com alguns S.O's disponíveis no servidor da *Raspberry Pi Foundation*. O sistema embutido na placa nos permite a opção de dual boot, ou seja, ter duas ou mais instancias de SO's no mesmo aparelho. Após a escolha do ambiente a ser instalado, o assistente de instalação começa extração e configuração dos arquivos.

Para o compartilhamento da Internet via a porta *Ethernet* situada na placa *Raspberry*, vai ser utilizado uma ferramenta chamada *hostapd* [10]. Essa ferramenta foi projetada para ser executada em segundo plano e pode atuar como controlador de autenticação, ela possui uma serie de parâmetros que permitem configurar e gerenciar a sua própria rede *Wi-Fi*, definindo assim o seu identificador (*SSID*), senha e tipo de criptografia a ser usado.

Juntamente com o *hostapd*, será instalado o serviço de DNS e servidor DHCP, que é o *dnsmasq* [11], onde será configurada a interface que contem a resolução de nomes e o roteamento e fornecimento de IP's internos. O uso desse serviço se torna indispensável na hora das pesquisas e acesso a Internet, pois quando um usuário quer ir a um determinado site, precisa digitar um endereço ou só um nome do próprio para procurar e entrar nele, se esse serviço não estiver corretamente configurado, não haverá nenhuma possibilidade de conexão ao destino almejado.

Algumas regras de compartilhamento de rede serão executadas e salvas para que os serviços do *hostapd* funcionem normalmente sem haver nenhuma restrição de

uso, contudo, de acordo com o querer do empresário pode-se aplicar algumas regras de acesso a sua rede, por exemplo, acessar conteúdos impróprios ou de procedência maliciosa que possam causar algum dano a rede ou a integridade da mesma.

Depois dessas configurações de rede e permissões de compartilhamento e tráfego de Internet, será configurado um servidor web instanciado no armazenamento MicroSD da placa e nele será hospedado a pagina e configurações de *check-in* com a linguagem em *PHP*. O estilo dessa pagina será customizada de acordo com o querer do cliente para que quando o usuário acessar, será exibido informações sobre a rede que ele esta ingressando e os campos de *check-in* e cadastro. Esta pagina poderá conter promoções ou qualquer outra informação útil que o cliente deseja por para que os seus usuários ao se conectarem a rede fiquem informados sobre o que está sendo disponibilizado no comercio.

Após as configurações serem feitas dentro da placa, é hora de por o equipamento para funcionar dentro do comércio, o foco inicial é estabelecer o local certo para a instalação, pois dependendo pode haver interferências no sinal ou até mesmo quedas da aparelhagem, causando assim danos e perda de funcionamento. O local que será escolhido tem de ser livre para que o sinal trafegue sem interrupções ou falhas.

## VII. RESULTADOS ESPERADOS

O que todo micro empreendedor espera de um negocio, é que ele cresça e torne um grande sucesso e autossustentável, mas para isso acontecer é preciso tomar algumas decisões para que o estabelecimento comercial seja visto e comentado por mais e mais pessoas, tanto dentro da cidade onde ele está localizado, como fora dela. Atualmente, uma forma de obter esse resultado é utilizar ponto de acesso com *check-in*.

O principal resultado que se esperado de um ponto de acesso com a plataforma de *check-in* é o crescimento do publico presente no comércio, mas só isso não leva o estabelecimento ao patamar em que o responsável pelo local espera ou deseja, o que precisa também é o fator de chamar atenção do cliente que vai fazer a conexão ali, para isso a interface personalizável existe. A interface pode levar às pessoas uma determinada promoção que está sendo feita no dia ou semana e até no mês.

Após todas as configurações feitas e executadas de uma forma precisa, com ajuda de um gráfico o empreendedor pode verificar os quantos de clientes conectaram em sua rede de acordo com as horas em que o estabelecimento ficou ativo, esses dados são alocados e sempre que for preciso poderão ser consultados pelo responsável.

## VIII. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desse trabalho é programar uma ferramenta de ponto de acesso personalizável para estabelecimentos comerciais de pequeno e médio porte, onde o responsável terá informações sobre os acessos (hora e tempo usado) a sua rede e assim monitorar a mesma.



Onde poderá moldar a interface de *check-in* de acordo com o seu interesse para atingir o público alvo desejado e suprir as suas necessidades que foram colocadas em pauta em reuniões juntamente com o desenvolvedor.

## REFERÊNCIAS

- [1]Ossada<sup>1</sup>, J. C., & Martins, L. E. G. (2010). Um estudo de campo sobre o estado da prática da elicitação de requisitos em sistemas embarcados.
- [2]NICKEL, E. M. and BESSA, W. K. S. M. Sistema embarcado com acesso sem-fio.
- [3]Rufino, N. M. d. O. (2007). Segurança em Redes sem Fio - 2ª Edição: Aprenda a proteger suas informações em ambientes *Wi-Fi* e *Bluetooth*. Novatec Editora.
- [4]Eben Upton – *The Story of Raspberry Pi*. Disponível em <<http://www.computinghistory.org.uk/det/41927/Eben-Upton-The-Story-of-Raspberry-Pi/>>. Acesso em Fevereiro de 2018.
- [5]*Raspberry Pi Foundation*. Disponível em <<https://www.raspberrypi.org>>. Acesso em Fevereiro de 2018.
- [6]BENETTI, Estela. Intelbras chega bilionária aos 40 anos. Disponível em <<http://dc.clicrbs.com.br/sc/colunistas/estela-benetti/noticia/2016/03/intelbras-chega-bilionaria-aos-40-anos-5115914.html>>. Acesso em Fevereiro de 2018.
- [7]MINATEL, Pedro. Criando um roteador IoT com Raspberry Pi3. Disponível em <<http://pedrominate.com.br/pt/raspberry-pi/criando-um-roteador-iot-com-raspberry-pi-3/>>. Acesso em Fevereiro de 2018.
- [8]Facebook. Disponível em <<https://www.facebook.com>>. Acesso em Fevereiro de 2018.
- [9]PERON, Allan. Descubra como usar o *Wi-Fi* do seu estabelecimento para divulgar (gratuitamente) seu negócio. Disponível em <<http://www.allanperon.com.br/wi-fi-marketing-no-facebook/>>. Acesso em Fevereiro de 2018.
- [10]*About HostApd*. Disponível em <<https://wireless.wiki.kernel.org/en/users/documentation/hostapd>>. Acesso em Fevereiro de 2018.
- [11]*DnsMasq*. Disponível em <[https://wiki.archlinux.org/index.php/Dnsmasq\\_\(Portugu%C3%AAs\)](https://wiki.archlinux.org/index.php/Dnsmasq_(Portugu%C3%AAs))>. Acesso em Fevereiro de 2018.

# Técnicas para segurança em aplicações web - baseado em *message-digest algorithm*

Daniel Rodrigues Ferraz Izario  
Universidade Estadual de Campinas - Unicamp  
daniel\_izario@hotmail.com

Yuzo Iano  
Universidade Estadual de Campinas - Unicamp  
yuzo@decom.fee.unicamp.br

Bruno Rodrigues Ferraz Izario  
Universidade Estadual de Campinas - Unicamp  
bruno\_izario@hotmail.com

Carlos Nazareth Motta Marins  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
carlosn@inatel.br

**Resumo**—Este artigo aborda técnicas para segurança em aplicações web, juntamente com um processamento computacional e cálculos matemáticos, para permitir que um sistema seja seguro de possíveis ataques cibernéticos. O algoritmo proporciona aos órgãos públicos ou desenvolvedores de *website*, ter uma ferramenta capaz de deixar o sistema seguro e livre de invasores, mantendo em tempo real a segurança de dados e requisições. Todas as aplicações inerentes da ferramenta favorecem a área de criptografia, *internet* e de algoritmos de segurança, além de proporcionar uma melhor confiabilidade de todo o processo.

**Palavras chave**—Ataques Cibernéticos, Dispersão Criptográfica, *Message-Digest Algorithm* e Segurança Web.

## I. INTRODUÇÃO

Todo e qualquer sistema que envolva segurança sempre atrai preocupações para pessoas em geral, mas principalmente órgãos públicos que precisam manter dados em sigilos ou informações importantes que sejam atualizadas em tempo real.

O Ministério do Planejamento do Brasil vem fomentando o desenvolvimento de aplicações web em parceria com empresas privadas, para a criação de sistemas de gestão de município, o qual é composto pelos módulos de Educação, Saúde, Financeiro, Patrimonial, Gestor, Cidadão, Recursos Humanos, *Business Intelligence* e Geoprocessamento. Em quase todos os módulos citados, existirá informações cruciais e sigilosas para manter toda a sociedade em perfeito funcionamento, sendo assim, é de suma importância aplicar junto a base do desenvolvimento do código fonte do sistema a técnica criada e apresentada no próximo tópico.

Em conjunto as diversas formas de segurança, é importante também se fazer uso da criptografia, que é o ato de codificar os dados, para que pessoas não consigam ter acesso às informações que foram cifradas. [1]

Outro fato essencial, é que seja em casa, nas ruas ou no trabalho, sistemas ou aplicações com câmeras de segurança, como citado no artigo: “*Digital image processing with data storage for security applications*” [2], precisam também se manter seguros para não serem *hackeadas* e invadidas por

pessoas indesejadas, então é sempre aconselhável instalar barreiras para proteger esse acesso.

O item II aborda as etapas da aplicação e suas funcionalidades. O item III apresenta os resultados obtidos. Em IV, é abordado à conclusão e os trabalhos futuros.

## II. APLICAÇÃO

A aplicação criada para efetuar os testes de forma *online* em um *website*, foi desenvolvida utilizando a linguagem de marcação HTML (*HyperText Markup Language*) [3] e a de programação *javascript* [4]. O algoritmo criado, tendo como base a técnica “*message-digest algorithm 5*”, pode ser aplicado a qualquer sistema que faz uso das linguagens: HTML, *pascal*, PHP (*Hypertext Preprocessor*), *python*, SQL (*Structured Query Language*) e *javascript*.

O “*message-digest algorithm 5*” [5] ou MD5 como é abreviada, é considerada uma dispersão criptográfica de 128 *bits* unidirecional (não pode ser transformado novamente no texto de origem) desenvolvido pela *RSA Data Security, Inc.* Como qualquer outra técnica usada em sistemas de criptografia, a matemática está presente em todo o algoritmo. Os especialistas estimam que para alguém conseguir quebrar uma criptografia usando chaves de 64 *bits* na base da tentativa e erro, levaria cerca de 100.000 anos usando um computador comum, como a MD5 utiliza 128 *bits*, pode se considerar um dos modelos mais seguros atualmente disponível no mercado.

A técnica desenvolvida utiliza o MD5, mas junto desse sistema de dispersão criptográfica, existe uma identificação automática de modelos pré-selecionados de ataques cibernéticos, efetuando uma análise minuciosa dos dados de entrada, de informações fornecidas, requisições feitas a aplicações de banco de dados, entre outras formas. Todo o processo pode ser visualizado no diagrama representativo da Fig. 1. O algoritmo criado é organizado por seis módulos, cada um deles é responsável em manter a segurança do *website*, corrigindo os problemas ou ameaças causadas pelo possível padrão de ataque, como é explicado na listagem abaixo.

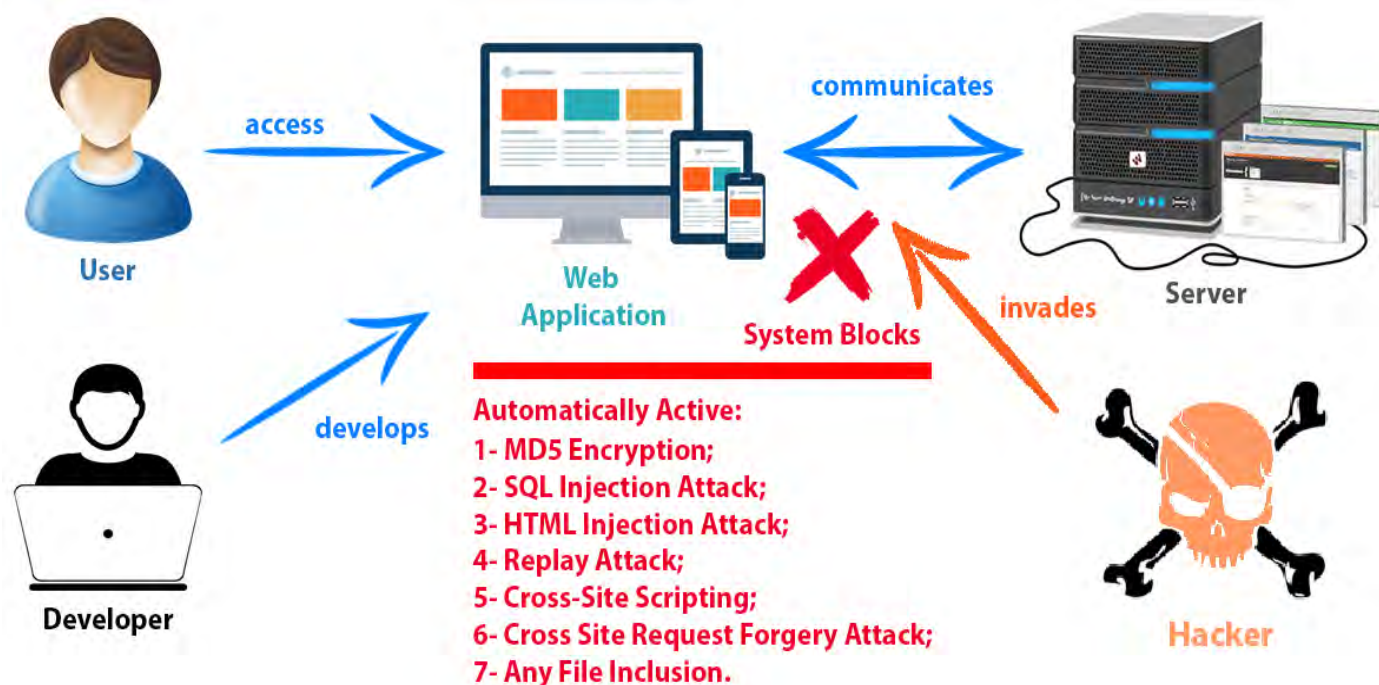


Fig. 1. Diagrama explicativo da técnica desenvolvida.

#### A. SQL Injection Attack

O modelo de ataque cibernético *SQL Injection* [6] é uma técnica baseada na manipulação do código SQL, que é a linguagem utilizada para troca de informações entre aplicativos e bancos de dados relacionais. Por exemplo, os comandos SQL são adicionados nos formulários *web*, página de *login* ou sistemas de autenticação, como apresentado n Fig. 2.

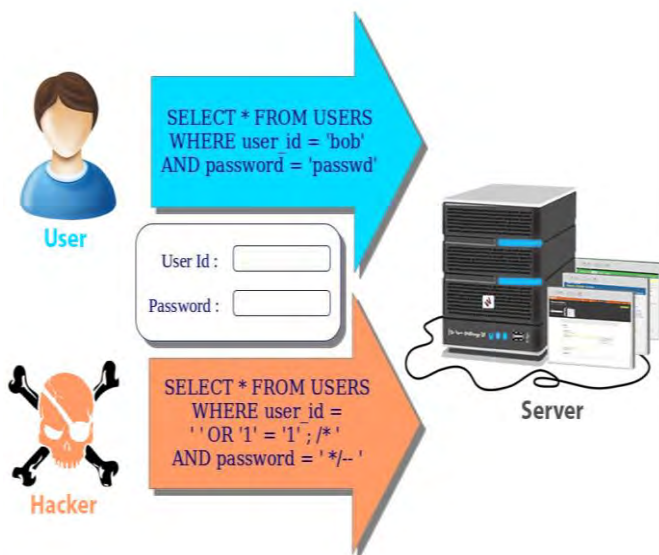


Fig. 2. Exemplo de *SQL Injection Attack*.

Baseado na Fig. 2, quando o *User Id* e o *Password* são digitados e armazenados no banco de dados, o servidor executa a consulta SQL:

```
SELECT * FROM USERS WHERE user_id = 'bob'
AND password = 'passwd'
```

Como o *user\_id* e o *password* são considerados entrada a partir do utilizador do sistema, o *hacker* insere 'OR '1' = '1', na situação, se os cuidados adequados não forem tomados ao escrever o código, o servidor irá executar a seguinte consulta:

```
SELECT * FROM USERS WHERE user_id = ''
OR '1' = '1'; /*' AND password = '*/--'
```

Como resultado, os dados salvos de todos os usuários serão revelados.

#### B. HTML Injection Attack

O modelo de ataque cibernético *HTML Injection* [7] é uma técnica, na qual o *hacker* se aproveita da vulnerabilidade do *website* e adiciona seus próprios conteúdo HTML, fazendo com que o usuário forneça informações confidenciais.

Em uma página *web* que hospeda um sistema de fórum, por exemplo, usuários criam *posts*, cada um contém título e descrição, como apresentado no trecho de código abaixo:

```
<form action = "/posts" method = "post">
<input type = "text" name = "titulo">
<textarea name = "desc"></textarea>
</form>
```

Do lado do servidor, o *post* é salvo no banco de dados da seguinte forma:

```
@Post("/posts")
public void salva(String titulo, String desc)
{
    postDAO.salva(new Post(titulo, desc);
}
```

Depois é feita a visualização do *post* para outros usuários, utilizando JSP (*JavaServer Pages*):

```
<hl>${post.titulo}</hl>
<div>${post.desc}</div>
```

Se o usuário que criou o *post* colocar na descrição qualquer texto contendo código HTML como:

```
<script>alert("olá");</script>
```

Esse simples trecho de código seria executado no navegador de todos os visitantes, possibilitando ataques cibernéticos.

### C. Replay Attack

Um *Replay Attack* [8] é um modelo de ataque em que o *hacker* repete ou retarda uma transmissão válida e retransmite. Usando essa abordagem, ele pode se auto autenticar a um sistema não autorizado, como apresentado na Fig. 3.

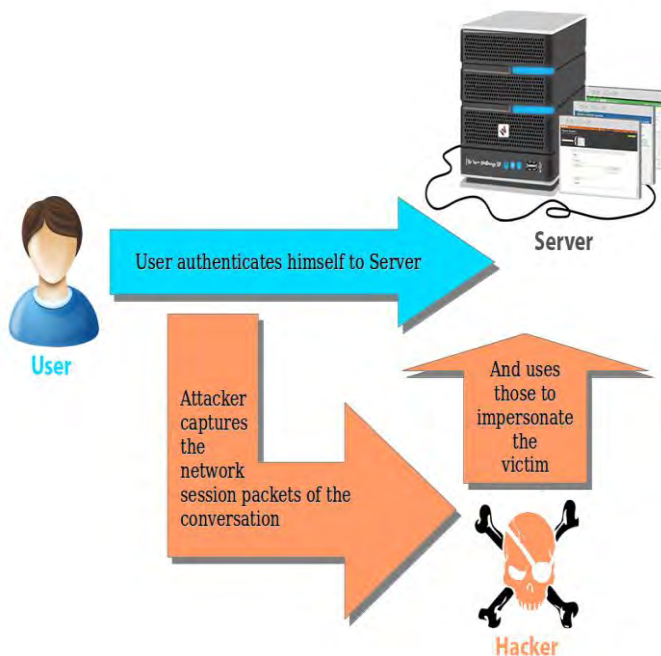


Fig. 3. Exemplo de *Replay Attack*.

### D. Cross-Site Scripting

O modelo *Cross-Site Scripting* [9] é uma vulnerabilidade, que permite inserir códigos *javascript*, *VBScript*, *activeX* e *flash* maliciosos no navegador do usuário, parecendo parte do site e imperceptível para a vítima, permitindo o acesso nas informações confidenciais dos cookies. Esse ataque pode ser classificado em 3 categorias:

1) *Reflected (non-persistent)*: esta falha aparece quando os dados fornecidos por um cliente *web*, mais comumente em parâmetros de consulta HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) ou envios de formulários HTML, é imediatamente utilizado pelos *scripts* do lado do servidor para analisar e exibir uma

página de resultados de e para o usuário, sem a limpeza adequada do pedido.

2) *Persistent*: ocorre quando os dados fornecidos pelo atacante são salvos pelo servidor e, em seguida, exibidos em páginas "normais" retornadas para outros usuários no curso de uma navegação normal, sem HTML adequada.

3) *Server-side versus DOM-based vulnerabilities*: o dado de entrada do usuário seria enviado para o servidor e, em seguida, enviado de volta para o usuário como página *web*.

Em JAVA, um exemplo com caracteres especiais executando a validação do sistema:

```
public static String HTMLEncode(String s) {
    StringBuffer out = new StringBuffer();
    for (int i = 0; i < s.length(); i++) {
        char c = s.charAt(i);
        if(c=='"' || c=='&' || c=='<' || c=='>')
            out.append("&#" + (int) c + ";");
        else out.append(c);
    }
    return out.toString();
}
```

### E. Cross Site Request Forgery Attack

O modelo *Cross-Site Request Forgery Attack* [10] é uma vulnerabilidade, no qual comandos não autorizados são transmitidos através de um utilizador em quem o website confia, como apresentado na Fig. 4.

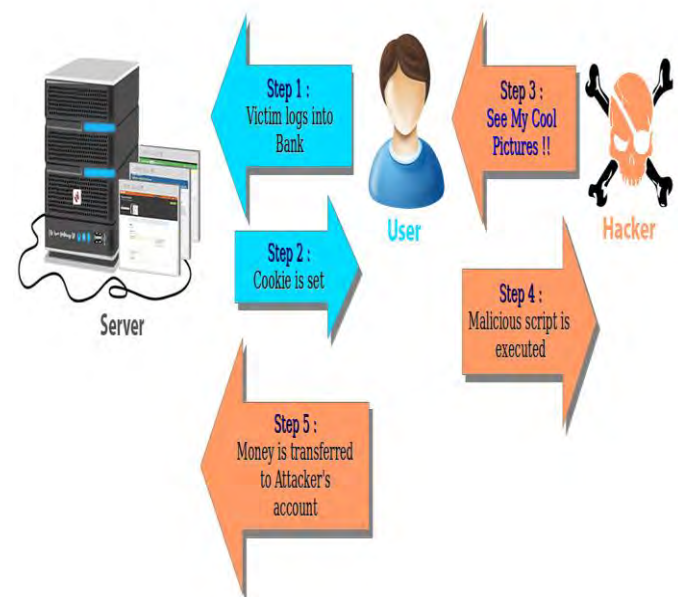


Fig. 4. Exemplo de *Cross-Site Request Forgery Attack*.

Baseado na Fig. 2, o *hacker* quer acessar o cookie e enganar o usuário para transferir dinheiro para sua conta bancária. O pedido HTTP:

```
http://bank.com/transfer.do?
    acct=hacker&amount=10000
```

O *hacker* envia um *e-mail* para o usuário com esse *link* de uma página *web* em uma simples imagem:

```
<a href="http://bank.com/transfer.do?acct=
hacker&amount=10000">Pictures</a>
```

Quando o usuário clica no *link*, enquanto está autenticado ao site bancário, a ação será executada.

#### F. Any File Inclusion

O modelo *Any File Inclusion* [11] é uma vulnerabilidade, que permite o *hacker* inserir um arquivo qualquer em uma URL (*Uniform Resource Locator*) do *website* acessado ou em um servidor remoto, estes arquivos podem carregar e executar comandos maliciosos que permitem ter acesso a senhas de serviços ou de usuários, roubo de dados confidenciais, entre outros.

Considerando o PHP *script*:

```
<?php
if ( isset( $_GET['language'] ) ) {
    include( $_GET['language'] . '.php' );
}
?>

<form method = "get">
    <select name = "language">
        <option value = "eng">English</option>
        <option value = "fre">French</option>
        ...
    </select>
    <input type="submit">
</form>
```

O desenvolvedor pretende que o usuário selecione entre o idioma *english* ou *french*, que irá alterar o comportamento do aplicativo para exibir a linguagem de escolha. Mas é possível injetar outro caminho usando o parâmetro *language* da linguagem PHP.

A linha de código injeta um arquivo hospedado remotamente contendo um código malicioso:

```
/vulnerable.php?language =
http://evil.example.com/webshell.txt?
```

A linha de código executa um algoritmo de um arquivo carregado:

```
/vulnerable.php?language =
C:\\ftp\\upload\\exploit
```

A linha de código permite que um *hacker* leia o conteúdo do arquivo *passwd* em um UNIX, que é um sistema operativo portátil.

```
/vulnerable.php?language =
../../../../../../etc/passwd%00
```

### III. RESULTADOS

Depois de realizada todas as implementações citadas

anteriormente, foram efetuados vários testes para provar que o algoritmo da nova técnica desenvolvida é adequado para implementação nos *websites*.

O primeiro teste realizado, é para medir o tempo que o algoritmo leva para identificar o tipo de ameaça que está tentando invadir o sistema, para isso, a aplicação criada foi inserida em um servidor de teste e de outro computador foi efetuado os ataques cibernéticos pela rede. Os seis módulos foram testados de diferentes maneiras, levando alguns segundos para identificação do problema, como apresentado na Fig. 5.

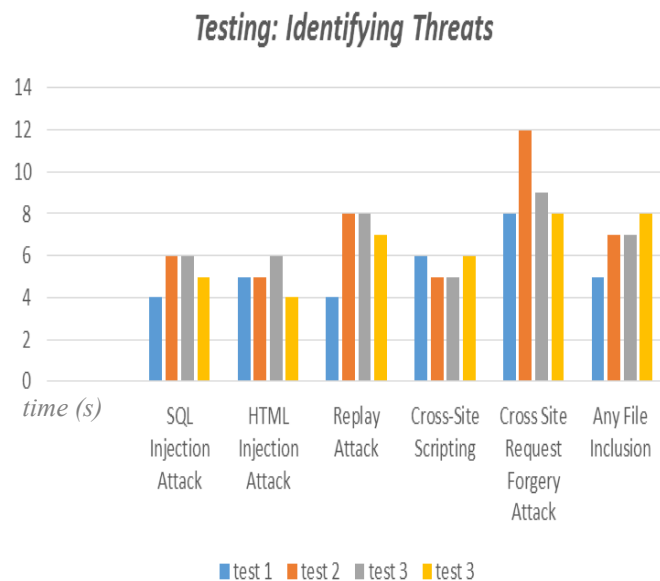


Fig. 5. Gráfico de visualização do primeiro modelo de teste.

O segundo teste realizado, é para analisar o *message-digest algorithm 5* implementado junto ao sistema. Primeiro foi feito um levantamento em modelos de formulários existentes no mercado, que tenha código aberto para executar os testes. Ao todo foram 18 formulários testados, 16 sem nenhum sistema de segurança e 2 com sistemas em *javascript* aplicados, o problema é que esses últimos, em aproximadamente 3 horas, os dados foram revelados por tentativa e erro. Aplicando a nova técnica nas mesmas páginas *web* testadas anteriormente, usando um computador com processador *Intel® Core™ i7-7700*, o sistema invasor não conseguiu descobrir nenhum dado cadastrado no servidor, em todas as vezes a defesa criada pela nova técnica acusou o ataque e bloqueou o acesso.

### IV. CONCLUSÃO

A sofisticação dos ataques vem aumentando, principalmente em *websites* dos setores públicos da sociedade, é imprescindível ter técnicas de segurança nas aplicações desenvolvidas, mantendo todo o sistema protegido. Para isso, a utilização da técnica desenvolvida e explicada no presente artigo, baseado em *message-digest algorithm* para aplicações *web* que fazem uso de linguagens HTML, *pascal*, PHP, *python*, SQL e *javascript*, garantindo uma excelente segurança e confiabilidade nas informações fornecidas.



No futuro será possível aplicar a técnica em outras linguagens com todo o conjunto de algoritmos específicos desenvolvidos e disponibilizados de forma *online* e pública, para que os desenvolvedores de *websites* possam estudar esse novo algoritmo e inserir em suas criações. Fazendo com que qualquer *input* do usuário seja sanitizado antes de qualquer criação *web*, isso significa passar filtros específicos para remover *tags* potencialmente perigosas.

#### REFERÊNCIAS

- [1] C. Rodarte, “Criptografia MD5: Entre no mundo da criptografia, conheça os usos desta técnica e saiba como proteger seus dados utilizando a Criptografia MD5”, DEVMEDIA. Disponível em: <<https://www.devmedia.com.br/criptografia-md5/2944>>. Acesso em: 01 de novembro de 2017.
- [2] D. Izario; B. Izario; D. Castro; Y. Iano, “Digital image processing with data storage for security applications”, *Brazilian Technology Symposium, BTSym* Campinas, Brasil, 2017.
- [3] J. Keith; R. Andrew, “HTML5 for Web Designers”, 2nd ed., *A Book Apart*, 2016.
- [4] D. Flanagan, “JavaScript: The Definitive Guide”, 6th ed., *O'Reilly Media*, 2011.
- [5] J. Black; M. Cochran; T. Highland, “A Study of the MD5 Attacks: Insights and Improvements”, *International Workshop on Fast Software Encryption, FSE Graz, Austria*, 2006.
- [6] O. P. Voitovych; O. S. Yuvkovetskyi; L. M. Kupershtein, “SQL Injection Prevention System”, *International Conference Radio Electronics & InfoCommunications, UkrMiCo Kiev, Ukraine*, 2016.
- [7] *Deadliest Web Attacks*, “HTML Injection”, *Deadliest Web Attacks: Entertaining insights into web security*. Disponível em: <<https://deadliestwebattacks.com/html-injection-quick-reference/>>. Acesso em: 03 de novembro de 2017.
- [8] *Wikipedia*, “Replay Attack”, *Wikipedia*. Disponível em: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Replay\\_attack](https://en.wikipedia.org/wiki/Replay_attack)>. Acesso em: 03 de novembro de 2017.
- [9] A. Kumar; K. Reddy, “Constructing secure web applications with proper data validations”, *IEEE International Conference on Recent Advances and Innovations in Engeneering, ICCRAIE Jaipur, India*, 2014.
- [10] *Acunetix*, “CSRF Attacks, XSRF or Sea-Surf”, *Integrated Vulnerability Management Prioritise & Manage security threats*. Disponível em: <<https://www.acunetix.com/websitesecurity/csrf-attacks/>>. Acesso em: 03 de novembro de 2017.
- [11] Z. Jingling; G. Rulin, “A New Framework of Security Vulnerabilities Detection in PHP Web Application”, *9th International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing, IMIS Blumenau, Brasil*, 2015.



para lojas, empresas e sites pessoais.

**Daniel Rodrigues Ferraz Izario.** Graduado no Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel) em Engenharia da Computação (2017), estudante de mestrado em Engenharia da Computação pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Atualmente é *freelancer* em desenvolvimento e planejamento de sites



*Broadcast Engineering* e Presidente Geral do *Brazilian Technology Symposium* (BTSym).

**Yuzo Iano.** Graduação - 1972, mestrado - 1974 e doutorado - 1986 em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Atualmente é Professor Titular MS6 do Departamento de Comunicações da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Unicamp, Editor chefe da *SET International Journal of*



Sistemas na SAVIS Embraer: Defesa e Segurança.

**Bruno Rodrigues Ferraz Izario.** Graduado no Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel) em Engenharia Elétrica (2011), mestre em Engenharia Elétrica na Universidade Presbiteriana Mackenzie (2015) e doutorando em Telecomunicações na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Atua como Engenheiro de



1994. Técnico de Eletrônica (ETE-FMC) - 1989. Atualmente é Vice-Diretor (Inatel).

**Carlos Nazareth Motta Marins.** Doutor em Engenharia Elétrica pela Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (Unicamp) - 2010. Mestre em Telecomunicações, pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel) - 2004. Graduado em Engenharia Elétrica, ênfase em Eletrônica e Telecomunicações (Inatel) -



# Análise e Comparação dos Métodos de Sintonia de Controladores PID

Egídio Raimundo Neto

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
egidio.neto@inatel.br

Marcelo Augusto Vilas Boas

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
marceloaugusto@gea.inatel.br

**Abstract**—This work demonstrates the study of three types of PID controller tuning, being compensating using the Roots Place and Ziegler Nichols Closed Loop for analogue and digital controllers, and through simulations using the MatLab 2017 software, displays and compares the results of the three methodologies showing the best use for them.

**Index Terms**—Role Place Compensators, MatLab, Ziegler Nichols Closed Loop for Analog Controller, Ziegler Nichols Closed Loop for Digital Controller.

**Resumo**—Este Trabalho demonstra o estudo de três tipos de sintonia de controladores PID, sendo eles compensadores utilizando o Lugar das Raízes e Ziegler Nichols Malha Fechada para controlador analógico e digital, e por meio de simulações utilizando o software MatLab 2017, exibe e compara os resultados das três metodologias evidenciando o melhor uso para as mesmas.

**Palavras chave**—Compensadores utilizando o Lugar das Raízes, MatLab, Ziegler Nichols Malha Fechada para controlador analógico, Ziegler Nichols Malha Fechada para controlador digital.

## I. INTRODUÇÃO

Desde das primeiras indústrias a humanidade vem buscando automatizar e inovar cada vez mais os métodos, de forma que faça com que os processos industriais se torne mais precisos e autônomos evitando assim a presença do homem no chão de fábrica das indústrias. Essa evolução começou a ganhar força, por volta de 1850 com o início da segunda revolução industrial uso das primeiras máquinas a vapor no setor industrial.

Dessa maneira foi observado que se tornava necessário um sistema de controle que não dependesse da observação contínua de um operário, assim foi desenvolvido os controladores PID (proporcional integral e derivativo) que atualmente fazem parte da maioria dos sistemas de controle aplicado em diversas áreas além das indústrias.

## II. CONTROLADOR PID

O controlador PID se divide em três ações sendo elas a Proporcional, Integral e a Derivativa. A ação proporcional tem como função eliminar as oscilações da variável que está sendo controlada já a Integral por sua vez faz a correção do erro em regime permanente e por último a ação derivativa tenta prever o erro da variável de controle. Dessa forma o PID é definido pela seguinte equação:

$$u(t) = Kp + Ki \int_0^t e(t) dt + Kd \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

Onde  $Kp$ ,  $Ki$  e  $Kd$  são os ganhos proporcional, integral e derivativo respectivamente. Para determinar os valores dos ganhos existem algumas maneiras de sintonias nesse trabalho será feita a comparação entre três métodos de sintonias, sendo eles compensadores utilizando o Lugar das Raízes e Ziegler Nichols Malha Fechada para controlador analógico e digital.

Para a sintonia dos métodos será utilizada duas funções de transferência genérica de terceira e segunda ordem, para se obter uma melhor acareação dos dados. As funções de transferências serão aplicadas em malha de controle ilustrada na figura abaixo:

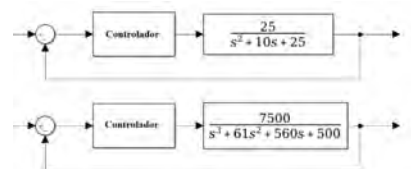


Fig. 1. Malha de controle utilizada nas simulações.

Para as simulações será utilizada uma ferramenta do software MATLAB 2017, o simulink, que por sua vez é capaz de simular malhas de controle. Importante ressaltar que os resultados obtidos nas simulações podem conter divergências de projetos práticos.

### A. Compensadores utilizando o Lugar das Raízes

Para esse projeto é preciso entender a importância da disposição dos polos dominantes no plano  $s$ . [Os polos dominantes são as raízes da equação característica de um sistema de segunda ordem que por estarem mais próximos do eixo imaginário determinam a dinâmica do sistema. Portanto, compensar um sistema de controle pode ser considerado como alterar a equação característica do mesmo por meio da adição de um compensador capaz de fazer com que as raízes da equação característica passem a ser os polos dominantes. Desta forma, o Lugar das raízes do sistema compensado irá passar exatamente pelos pontos especificados] [1].

$$s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2 \quad (2)$$

Portanto, tomando como base a equação (2) onde  $\xi$  e  $\omega_n$  que são o fator de amortecimento e frequência natural respectivamente, tem-se que as raízes da equação são dadas por:

$$s_{1,2} = -\xi\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\xi^2} \quad (3)$$

Para esse método também é necessário definir alguns parâmetros de projetos sendo estes, máximo pico (Mp), tempo de acomodação (Ta) e o erro em regime permanente em relação a entrada (Ess).

$$Mp = e^{-\pi(\frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}})} \quad (4)$$

$$Ta = \frac{4}{\xi\omega_n} \quad (5)$$

Sendo assim a função de transferência do PID no plano S dada por (6):

$$K(s) = \frac{Kds^2 + Kps + Ki}{s} \quad (6)$$

Onde o ganho integral é dado por (7), pois, o Ki é o único termo que não é multiplicado por s.

$$\lim_{s \rightarrow 0} sK(s)G(s)H(s) = Kv = \frac{1}{Ess} \quad (7)$$

E por fim o ganho proporcional e derivativo é dado por:

$$Kp = \frac{\sin(\beta + \varphi)}{|G(s_1)H(s_1)|\sin(\beta)} - \frac{2Kicos(\beta)}{|s_1|} \quad (8)$$

$$Kd = -\frac{\sin(\varphi)}{|s_1||G(s_1)H(s_1)|\sin(\beta)} - \frac{Ki}{|s_1|^2} \quad (9)$$

Onde,

$$s_1 = -\xi\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\xi^2} = |s_1|\angle\beta \quad (10)$$

$$G(s_1)H(s_1) = |G(s_1)H(s_1)|\angle\varphi \quad (11)$$

Os parâmetros G(s) e H(s) correspondem a função de transferência utilizada e a função de realimentação respectivamente.

Para os cálculos dos parâmetros será utilizado como requisitos de projeto Mp=30%, Ta=1s e Ess=10%, dessa maneira é obtido os seguintes dados:

TABELA I

DADOS COLETADOS RESPOSTAS DOS COMPENSADORES UTILIZANDO O LUGAR DAS RAÍZES AO DEGRAU UNITÁRIO SISTEMA DE 2° ORDEM E 3° ORDEM.

PARÂMETROS	2° ORDEM	3° ORDEM
Overshoot	23,33%	27,3%
Tempo de acomodação	2,836 s	2,499s
Fator de decaimento	0,0042	0,0622

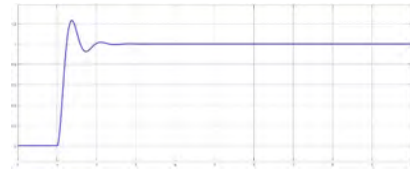


Fig. 2. Resposta compensador utilizando o lugar das Raízes ao degrau unitário, sistema de 2º ordem.

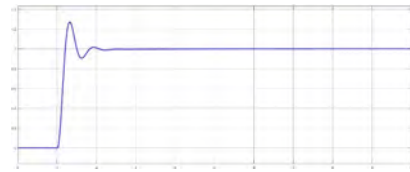


Fig. 3. Resposta compensador utilizando o lugar das Raízes ao degrau unitário, sistema de 3º ordem.

Para observar o Ess foi-se utilizado um sinal de entrada rampa.

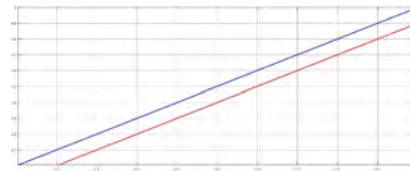


Fig. 4. Resposta compensador utilizando o lugar das Raízes a rampa, sistema de 2º ordem.

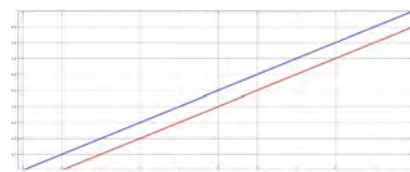


Fig. 5. Resposta compensador utilizando o lugar das Raízes a rampa, sistema de 3º ordem.

Através das respostas obtidas através do sinal rampa aplicado a entrada do sistema, torna-se visível que o Ess é igual ao requisitado no começo do projeto, em torno de 10%.

### B. Ziegler Nichols Malha Fechada para controlador analógico

O método de sintonia Ziegler Nichols em malha fechada foi desenvolvido em 1942, é um método bastante utilizado devido a modelagem fácil e objetiva. Esse arranjo consiste em aumentar o ganho da malha de controle até o ponto em que o sistema apresente uma oscilação sustentável em sua saída. Esse ganho é denominado de ganho crítico (Kc), e o período das oscilações é nomeado de período crítico (Pc), dessa forma Ziegler Nichols criou uma tabela que determina através desses dois parâmetros os ganhos do controlador P, PI e PID.

TABELA II

SINTONIA DE CONTROLADORES ATRAVÉS DE ZIEGLER NICHOLS MALHA FECHADA

Controlador	Kp	Ki	Kd
P	$0,5 \times Kc$	-	-
PI	$0,45 \times Kc$	$Kp \times 0,83 \times Pc$	-
PID	$0,6 \times Kc$	$Kp \times 0,5 \times Pc$	$Kp \times 0,125 \times Pc$

Geralmente o ganho crítico é determinado de modo empírico, ou seja, é aumentado o ganho até se obter a oscilação perfeita, mas nesse trabalho será encontrado o máximo ganho através do método de Root-Locus, que é basicamente a análise de estabilidade através das localizações das raízes.

Essa metodologia é bastante eficaz para sistemas até ordem dois. Para sistemas de ordem superior os cálculos a serem feitos de forma analítica se tornam mais complexos, sendo assim esse trabalho irá explorar mais uma ferramenta do MATLAB 2017. Essa por sua vez além de determinar o ganho crítico retorna à frequência crítica. Uma vez determinada a frequência já se torna possível encontrar o período crítico. Usando Root-Locus nas funções de transferências obtém-se os gráficos das figuras 6, 7 e 8.

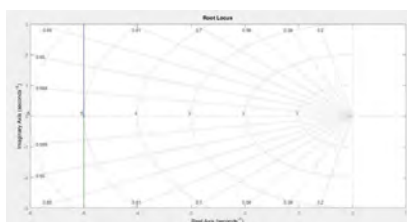


Fig. 6. Resposta Root-Locus para função de segunda ordem.

Para resposta da função de transferência de segunda ordem observa-se que o sistema é estável para qualquer valor de ganho dessa forma o método de Ziegler Nichols Malha Fechada não se aplica, pois, o sistema não atinge uma oscilação em sua saída.

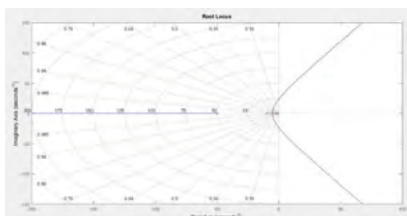


Fig. 7. Resposta Root-Locus para função de terceira ordem.

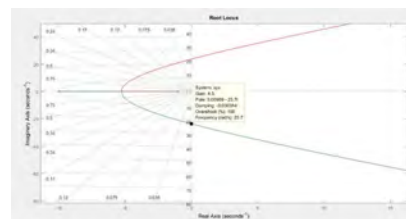


Fig. 8. Resposta Root-Locus para função de terceira ordem, ressaltando o valor de ganho máximo para o sistema estável.

Já para o sistema de terceira Ordem o sistema é estável para valores de ganho maiores que 0 e menores que 4,5, da resposta também se afere a frequência máxima de 23,7 radianos chegando ao valor de  $Pc=0,2651$ . Dessa forma se obtém os valores de ganho para o controlador PID:

TABELA III

SINTONIA DO CONTROLADOR PID, PARA FUNÇÃO DE TERCEIRA ORDEM

Controlador	Kp	Ki	Kd
PID	2,7	20,3686	0,7158

Sendo assim chega-se nas seguintes respostas aplicando o degrau unitário na entrada do sistema.

TABELA IV

DADOS COLETADOS RESPOSTAS DOS COMPENSADORES UTILIZANDO O LUGAR DAS RAÍZES AO DEGRAU UNITÁRIO SISTEMA DE 2º ORDEM E 3º ORDEM.

PARÂMETROS	3º ORDEM
Overshoot	57,5%
Tempo de acomodação	1,690s
Fator de decaimento	0,5321

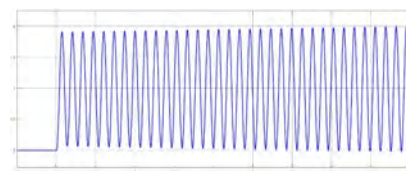


Fig. 9. Resposta da função de terceira ordem, aplicando o ganho crítico.



Fig. 10. Resposta da função de terceira ordem, aplicando o controlador PID, através de Ziegler Nichols Malha Fechada.

Para aplicação desse método Ziegler Nichols determinou que o fator de decaimento projetado deveria ficar abaixo de 0,25 o que não ocorreu neste caso.

### C. Ziegler Nichols Malha Fechada para controlador digital

Para um controlador digital surge alguns novos parâmetros tais como tempo de amostragem e o incremento de um segurador de ordem zero e de um amostrador, conforme o modelo da planta abaixo:

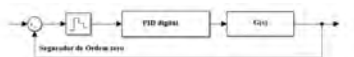


Fig. 11. Modelo de planta Digital.

Para esse modelo de controlador é se feito todo processamento no domínio discreto (Z), onde a frequência de amostragem é diretamente relacionada ao processamento, pois quando maior a frequência de amostragem maior a precisão do sistema, entretanto resulta em uma maior capacidade de processamento.

[Um controlador PID digital pode ser projetado a partir da transformação da função de transferência do domínio de S para o domínio de Z, ou por aproximações bastante utilizadas na literatura, com por exemplo o método da integração retangular e o método da integração trapezoidal.] [2], dessa maneira a equação o PID passa ser representada da seguinte Forma:

Aproximação	P	I	D
Retangular	$K_p$	$K_i \times T \times \frac{z}{z-1}$	$K_d \times \frac{z-1}{z}$
Trapezoidal	$K_p$	$K_i \times \frac{T}{2} \times \frac{z+1}{z-1}$	$K_d \times \frac{z-1}{z} \times \frac{z+1}{2}$

Fig. 12. Tabela das aproximações da função do PID no domínio Z.

Para utilização do método de Ziegler Nichols, os processos a serem realizados, são bem semelhantes ao utilizado na sintonia digital, a diferença agora é que o ganho crítico é determinado utilizando a ferramenta Root-Locus no domínio Z. Utilizando um tempo de amostragem ( $T_s$ ) igual 0,1s tem se:

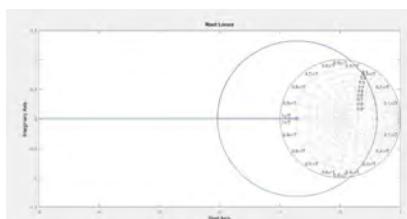


Fig. 13. Resposta Root-Locus no domínio Z para função de segunda ordem.

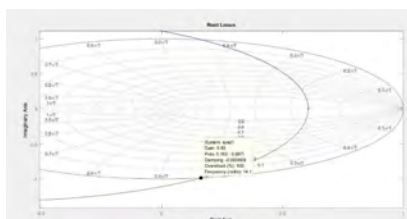


Fig. 14. Resposta Root-Locus no Domínio Z para função de segunda ordem, ressaltando o valor de ganho máximo para o sistema estável.

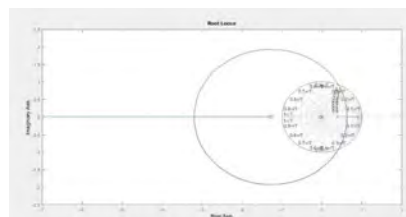


Fig. 15. Resposta Root-Locus no domínio Z para função de terceira ordem.

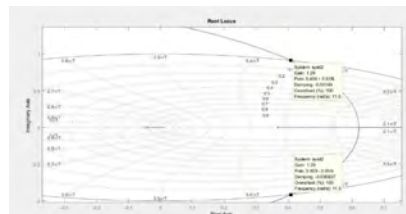


Fig. 16. Resposta Root-Locus no Domínio Z para função de terceira ordem, ressaltando o valor de ganho máximo para o sistema estável.

Ao contrário do Ziegler Nichols para controlador analógico, as duas funções de transferência apresentaram uma faixa de valores para o sistema estável, a função de ordem dois é estável para valor de ganhos de 0 a 9,83, enquanto a de terceira ordem tem sua faixa de estabilidade de 0 a 1,29.

Portanto tendo conhecimento dos ganhos críticos, e dos períodos máximos de 0,4456 para o sistema de segunda ordem e 0,5464 para função de ordem três, pode-se ser realizada a sintonia dos dois controladores através das equações apresentadas na Tabela II, chegando-se aos seguintes dados:

TABELA V  
SINTONIA DO CONTROLADOR PID DIGITAL, PARA FUNÇÃO DE SEGUNDA E TERCEIRA ORDEM.

GNAHOS	2° ORDEM	3° ORDEM
$K_p$	5,898	0,774
$K_i$	26,47217	2,8330893
$K_d$	0,3285186	0,0528642

TABELA VI  
DADOS COLETADOS RESPOSTAS DOS COMPENSADORES UTILIZANDO O LUGAR DAS RAÍZES AO DEGRAU UNITÁRIO SISTEMA DE 2° ORDEM E 3° ORDEM.

PARÂMETROS	2° ORDEM	3° ORDEM
Overshoot	84,5%	86,3%
Tempo de acomodação	3,293s	2,987s
Fator de decaimento	0,4390	0,2711

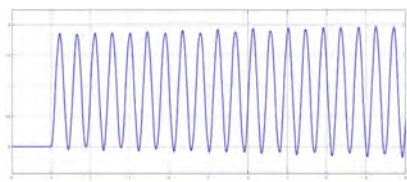


Fig. 17. Resposta da função de terceira ordem, aplicando o ganho crítico.

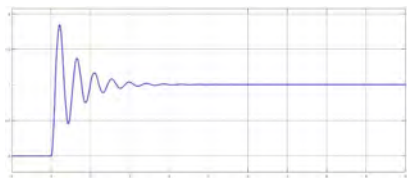


Fig. 18. Resposta da função de segunda ordem, aplicando o controlador PID digital, através de Ziegler Nichols Malha Fechada.

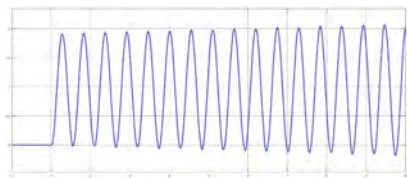


Fig. 19. Resposta da função de terceira ordem, aplicando o ganho crítico.

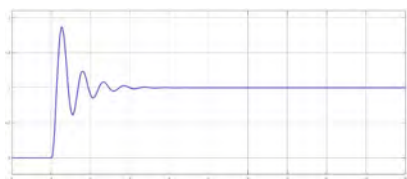


Fig. 20. Resposta da função de terceira ordem, aplicando o controlador PID digital, através de Ziegler Nichols Malha Fechada.

Para uma melhor percepção do quanto o tempo de amostragem interfere na sintonia dos controladores PIDs digitais, será feita uma nova simulação com uma frequência de amostragem maior. Então com tempo de amostragem de 0,01s tem-se que para o sistema de ordem dois a nova faixa de ganho para sistema estável está entre 0 a 81,4 e período crítico igual 0.1409s, e para o outro sistema esta faixa esta compreendida de 0 a 3.48 e um período crítico de 0.3021s, a seguir é apresentado todos os resultados com a frequência de amostragem maior.

TABELA VII

SINTONIA DO CONTROLADOR PID DIGITAL, PARA FUNÇÃO DE SEGUNDA E TERCEIRA ORDEM, COM AUMENTO DA FREQUÊNCIA DE AMOSTRAGEM.

GNAHOS	2° ORDEM	3° ORDEM
Kp	48,84	2,0880
Ki	693,7500	13,8278
Kd	0,8596	0,0789

TABELA VIII

DADOS COLETADOS RESPOSTAS DOS COMPENSADORES UTILIZANDO O LUGAR DAS RAÍZES AO DEGRAU UNITÁRIO SISTEMA DE 2° ORDEM E 3° ORDEM, COM AUMENTO DA FREQUÊNCIA DE AMOSTRAGEM.

PARÂMETROS	2° ORDEM	3° ORDEM
Overshoot	70,4%	61,3%
Tempo de acomodação	1,803s	2,120s
Fator de decaimento	0,3281	0,3354

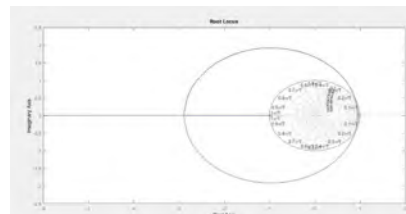


Fig. 21. Resposta Root-Locus no domínio Z para função de segunda ordem com frequência de amostragem maior.

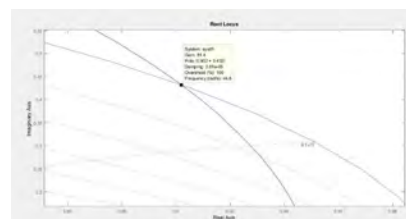


Fig. 22. Resposta Root-Locus no Domínio Z para função de segunda ordem, ressaltando o valor de ganho máximo para o sistema estável, com frequência de amostragem maior.

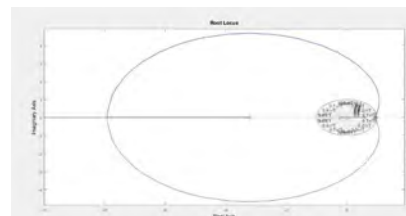


Fig. 23. Resposta Root-Locus no domínio Z para função de segunda ordem com frequência de amostragem maior.

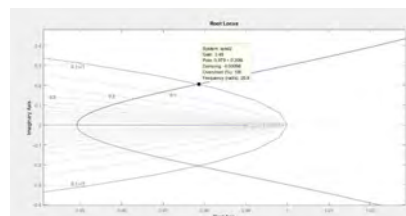


Fig. 24. Resposta Root-Locus no Domínio Z para função de terceira ordem, ressaltando o valor de ganho máximo para o sistema estável, com frequência de amostragem maior.

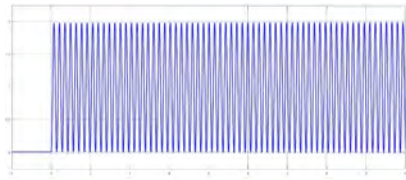


Fig. 25. Resposta da função de segunda ordem, aplicando o ganho crítico com aumento da frequência de amostragem.

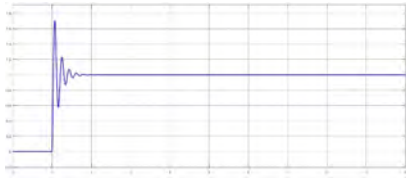


Fig. 26. Resposta da função de segunda ordem, aplicando o controlador PID digital, através de Ziegler Nichols Malha Fechada, com aumento da frequência de amostragem.

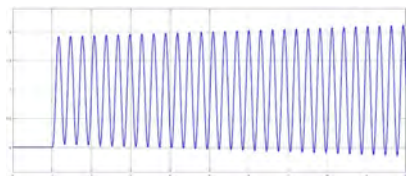


Fig. 27. Resposta da função de terceira ordem, aplicando o ganho crítico com aumento da frequência de amostragem.



Fig. 28. Resposta da função de terceira ordem, aplicando o controlador PID digital, através de Ziegler Nichols Malha Fechada, com aumento da frequência de amostragem.

Com as respostas da nova simulação fica visível o aperfeiçoamento nas saídas dos sistemas, evidenciando que quanto maior a frequência de amostragem melhor será a resposta do PID digital, mas tem que se levar em consideração que para frequências maiores precisa-se de uma capacidade de processamento maior, exigindo mais recursos.

### III. CONCLUSÕES

Com todas simulações realizadas conclui-se que Compensadores utilizando o Lugar das Raízes, apresentou uma melhor resposta tanto para uma função de segunda ordem tanto para a função de terceira ordem, pois o mesmo apresentou um menor overshoot e um melhor fator de decaimento com um tempo de acomodação aceitável. Esse método também permite ainda um melhor aperfeiçoamento através dos requisitos iniciais do projeto ( $M_p$ ,  $T_a$  e  $E_{ss}$ ) que é escolhido de acordo com as necessidades dos projetos.

O método de Ziegler Nichols para PID analógico apresentou uma resposta razoável comparado a primeira simulação do PID digital, mas fica evidente algumas deficiências, pois, não se aplicado em sistemas que são estáveis para qualquer valor de ganho.

Por fim a análise da sintonia de um controlador PID digital utilizando Ziegler Nichols, apresentou uma boa resposta, mas também demonstrou que sua resposta é diretamente relacionada a frequência de amostragem, pois quando maior a mesma melhor a resposta do sistema, entretanto esse fator influi totalmente na capacidade de processamento dos sistemas de controle, podendo significar um maior custo para a montagem da malha de controle.

### REFERÊNCIAS

- [1] 7º Relatório prático da disciplina AC367 do curso de Engenharia de Controle e Automação do INATEL (Instituto Nacional de Telecomunicações), 2017.
- [2] 9º Relatório prático da disciplina AC367 do curso de Engenharia de Controle e Automação Do INATEL (Instituto Nacional de Telecomunicações), 2017.
- [3] GATA, K. Engenharia de controle moderno, 4ª Edição, Rio de Janeiro, RJ, Prentice Hall (Pearson), 2003, 800p.
- [4] reire, M. W. da Silva; Henriques, J. P. C; Neto, E, Raimundo. CONTROLE DE UMA PLANTA DE NÍVEL UTILIZANDO CONTROLADOR PID SINTONIZADO PELO MÉTODO DE RESPOSTA EM FREQUÊNCIA. 2016. VII Congresso de Iniciação Científicas da FEPI.
- [5] LIVEIRA, L. P.; RODRIGUES, V. L. Controle e supervisão de uma planta de nível. 2014. Trabalho de conclusão de curso-Instituto Nacional de Telecomunicações, Santa Rita do Sapucaí, 2014.
- [6] úcia Valéria R. de Arruda; Maria Cristina Szpak Swiech; Flávio Neves-Jr; Myriam Regattieri Delgado. Um método evolucionário para sintonia de controladores PI/PID em processos multivariáveis. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Av. 7 de Setembro, 3165, CEP 802301-901 - Curitiba-PR.



# Desenvolvimento de um Controlador Fuzzy utilizando CLP

Ana Carolina Daniel Silvério

Daiane Aparecida Rosa Batista

João Paulo Carvalho Henriques

Instituto Nacional de Telecomunicações

Inatel

anasilverio@gea.inatel.br

Instituto Nacional de Telecomunicações

Inatel

daianebatista@gea.inatel.br

Instituto Nacional de Telecomunicações

Inatel

joao.paulo@inatel.br

**Resumo** — Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma biblioteca *fuzzy*, para ser implementado em um CLP (Controlador Lógico Programável). Dessa forma, apresenta-se os conceitos teóricos da *Lógica Fuzzy* e posteriormente descreve-se o desenvolvimento da biblioteca. Por fim, faz-se a comparação numérica dos valores obtidos no *software matemático scilab* com os do CLP e aplica-se a biblioteca a um sistema *fuzzy* visando obter os gráficos do nível atual e da potência da bomba em função do tempo.

**Palavras Chave** — CLP, *Lógica fuzzy*, *Fuzzyficação*, *Inferência*, *Defuzzyficação*.

## I. INTRODUÇÃO

Na indústria por diversas vezes existe a necessidade de fazer o controle de sistemas que envolvem variáveis incertas ou mais de uma variável. Para fazer esse tipo de controle surgiu a *lógica fuzzy*, esta é capaz de trabalhar com informações vagas, incertas ou ambíguas. Dessa forma, com o objetivo de aplicar essa *lógica* no meio industrial, desenvolveu-se uma biblioteca *fuzzy* em texto estruturado embarcada em um CLP (Controlador Lógico Programável) e esse artigo apresenta a implementação da mesma, definindo os principais conceitos, a forma como realizou-se as experiências e os resultados obtidos.

## II. LÓGICA FUZZY

Visando fazer com que máquinas se comportassem cada vez mais como os seres humanos, dotando as mesmas de habilidades que simulem o comportamento do cérebro, começaram a ser desenvolvidos técnicas de inteligência artificial. Dentre essas técnicas está a *lógica fuzzy*.

Esta, também conhecida como *lógica nebulosa* ou *lógica multivalorada*, baseia-se na Teoria dos Conjuntos e pode ser entendida como uma ferramenta capaz de quantificar numericamente variáveis linguísticas como: Muito, Pouco e Quente, representando as mesmas através de conjuntos com graus de pertinência entre 0 e 1. [1]

### A. Conjuntos fuzzy

Conjuntos *fuzzy* são funções de pertinência triangulares, trapezoidais ou logarítmicas que representam um valor linguístico e tem graus de pertinência entre 0 e 1. Estes são utilizados na *lógica fuzzy* para definir as entradas e saídas do sistema. [2][3]

### B. Variáveis Linguísticas

Variável linguística pode ser entendida como “aquela cujo valor é expresso por termos linguísticos, de natureza subjetiva” [4] e é composta por um conjunto de valores linguísticos, que são representados por funções de pertinência. Por exemplo, temperatura pode ser uma variável linguística composta pelos valores linguísticos frio, normal e quente.

## III. SISTEMA FUZZY

A *lógica fuzzy* pode ser utilizada por meio de um sistema *fuzzy*. Este é composto por blocos de *fuzzyficação*, *inferência* e *defuzzyficação*. De forma que, o primeiro bloco recebe os valores linguísticos de entrada, modela os mesmos transformando-os em funções de pertinência e atribui os valores de graus de pertinência aos conjuntos, levando em consideração o valor atual das entradas. Após isso, através da base de regras associa-se os conjuntos de entrada aos conjuntos de saída do sistema, realizando a parte da *inferência*. Por fim, na *defuzzyficação* os conjuntos de saída ativados na *inferência* são convertidos de valores linguísticos para um valor numérico, sendo então disponibilizado na saída do sistema. [2][5][6]

## IV. CLP – CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

Controlador Lógico Programável (CLP) é um equipamento eletrônico usado em ambiente industrial, no qual é possível implementar funções específicas por meio de instruções orientadas. São muito usados em sistemas de acionamento e controle. Tem como função associar sinais de entrada a pontos de saída. [7][8]

A arquitetura do CLP é composta por cinco bloco, sendo eles CPU (*Central Processing Unit* – Unidade Central de Processamento), entradas analógicas, entradas digitais, saídas analógicas e saídas digitais, como apresentado na Figura 1. [9]

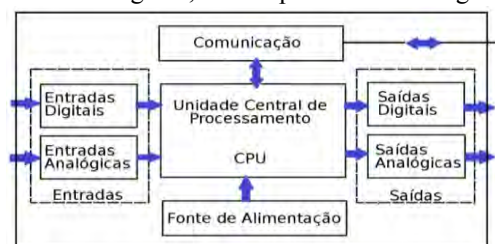


Figura 1 – Arquitetura do CLP

## V. SISTEMA DE NÍVEL

O sistema de nível disponível no laboratório do Instituto Nacional de Telecomunicações é formado por dois reservatórios, um sensor ultrassônico e uma bomba d'água. A realização do controle do nível é feita pela leitura do nível atual, através do sensor existente na planta de nível, e por meio no valor lido, executa-se o controle da potência da bomba, a qual é responsável pela vazão da água dentro do tanque. A Figura 2 ilustra a planta de nível.

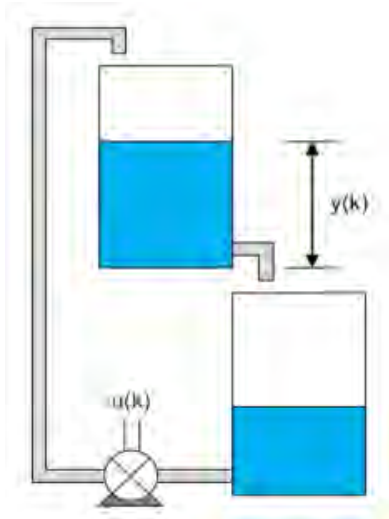


Figura 2– Sistema de nível

## VI. IMPLEMENTAÇÃO

Para implementar o sistema *fuzzy* no CLP foi desenvolvido um código em texto estruturado, no *software Automation Studio*, [10] que tem por finalidade fazer todo processamento *fuzzy*. Nesse programa foram feitas três bibliotecas as quais foram chamadas de Fuzzyficação, Regras e Defuzzyficação.

### A. Programa

Inicialmente é feito a leitura da entrada analógica do CLP que é conectada à saída da planta a ser controlada. Com isso, é realizado o cálculo do erro e da derivada do erro, os quais são as variáveis linguísticas do sistema e são obtidos através da diferença e da variação da diferença entre o valor desejado e o valor atual da saída, respectivamente. Ainda nessa etapa, são inseridos nas bibliotecas os valores que definem as funções de pertinência e a base de regras. Após isso é chamado a biblioteca Fuzzyficação que recebe os valores das variáveis linguísticas. E, ao fim de todo processamento *Fuzzy*, esse código recebe o valor numérico de saída que faz as devidas conversões e disponibiliza na saída analógica um valor de 0 a 10V ou 4 a 20mA.

### B. Fuzzyficação

Tendo os valores das variáveis linguísticas, foi definido no máximo cinco conjuntos de entrada, sendo que estes podem

ser triangulares ou trapezoidais e ajustados de acordo com os valores inseridos na biblioteca.

Para determinar os graus de pertinência de entrada é analisado quais conjuntos são ativados e com que grau, entre 0 e 1. Esses graus são disponibilizados na saída da biblioteca e os conjuntos de pertinência que não são ativados recebem o valor zero.

### C. Regras

Essa biblioteca recebe os graus disponibilizados na Fuzzyficação e também a base de regras definida pelo usuário. Com essas informações, o grau de cada conjunto de saída recebe o menor grau de pertinência dos conjuntos de entrada que o ativaram, de acordo com as regras que foram satisfeitas. Esses graus são disponibilizados na saída dessa biblioteca.

### D. Defuzzyficação

A partir dos graus de pertinência disponibilizados na biblioteca Regras é feito o cálculo do centro e da área de cada conjunto de saída ativado. Tendo esses valores, é encontrado, por meio do método do centro de área, a saída do sistema.

### E. Variáveis linguísticas e base de regras

Para analisar o funcionamento da biblioteca foi utilizado um exemplo de sistema *Fuzzy* no qual as funções de pertinência que definem o erro, a derivada do erro e saída do sistema estão mostradas na Figura 3, 4 e 5, respectivamente. A base de regras é apresentada na Tabela I.

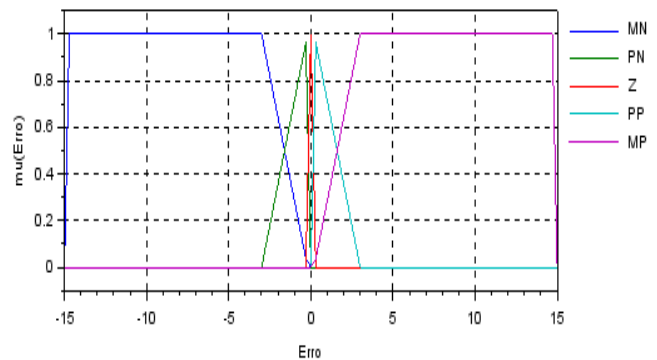


Figura 3 – Erro

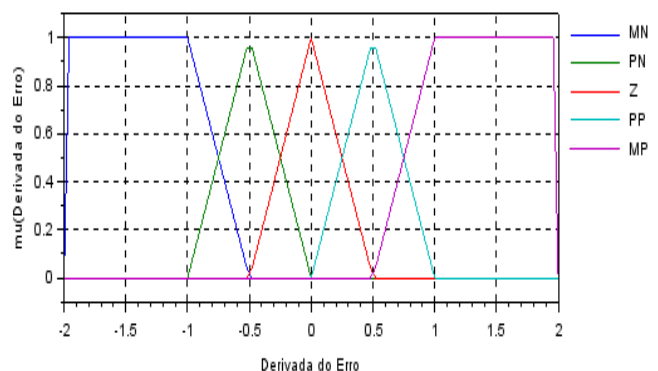


Figura 4 – Derivada do Erro

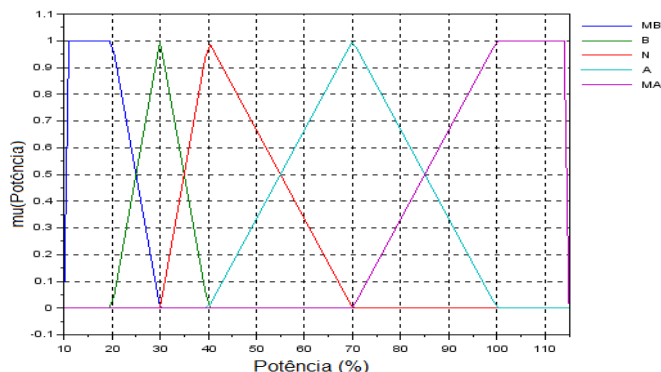


Figura 5 – Saída do Sistema

TABELA I  
BASE DE REGRAS

Derivada do Erro	Erro					
		MN	PN	Z	PP	MP
	MN	MB	MB	B	N	A
	PN	MB	B	N	A	A
	Z	B	B	N	A	MA
	PP	B	N	N	A	MA
	MP	B	N	A	MA	MA

## F. Blocos em Ladder

Foram criados blocos em ladder das bibliotecas fuzzyficação, regras e defuzzificação. A Figura 6 mostra o bloco de Fuzzyficação, nele as entradas de A até J definem os conjuntos da primeira variável linguísticas de entrada. Da mesma forma, as variáveis de EA até EJ representam a segunda variável linguística de entrada. X e Z recebem os valores atuais das variáveis de entrada. As saídas G\_MB, G\_B, G\_N, G\_A e G\_MA disponibilizam os graus de pertinência de entrada da primeira variável linguística e as saídas G\_MB2, G\_B2, G\_N2, G\_A2 e G\_MA2 fornecem os graus de pertinência da segunda variável linguística de entrada.

A Figura 9 ilustra o bloco Regras, nele as entradas Regra1 até Regra25 recebem a base de regras do sistema.

As Figuras 7 e 8 ilustram o modo de inserção dos valores nas funções de pertinência da entrada 1 e 2, respectivamente. As variáveis G\_MB, G\_B, G\_N, G\_A, G\_MA, G\_MB2, G\_B2, G\_N2, G\_A2 e G\_MA2 recebem os graus de pertinência das entradas do sistema fuzzy e as saídas u\_MB, u\_B, u\_N, u\_A, u\_MA disponibilizam os graus de pertinência de saída do sistema.

Na Figura 10 vê-se o bloco defuzzyficação em ladder, nele as entradas u\_MB, u\_B, u\_N, u\_A, u\_MA são os graus de pertinências de saída recebidos do bloco Regras, as entradas de N a V definem a variável linguística de saída e a saída Média fornece um valor numérico resultante de todo processamento fuzzy. A Figura 11 ilustra o modo de inserção dos valores nas funções de pertinência de saída.

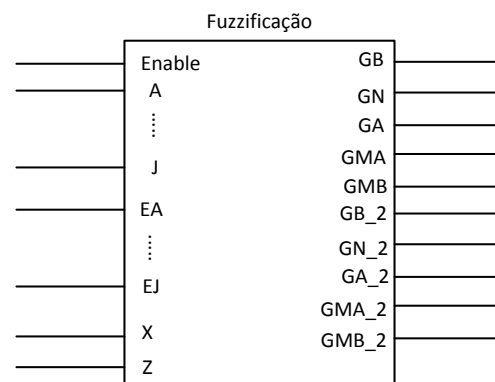


Figura 6 – Bloco Fuzzyficação em Ladder

## Função de Pertinência que define o Erro

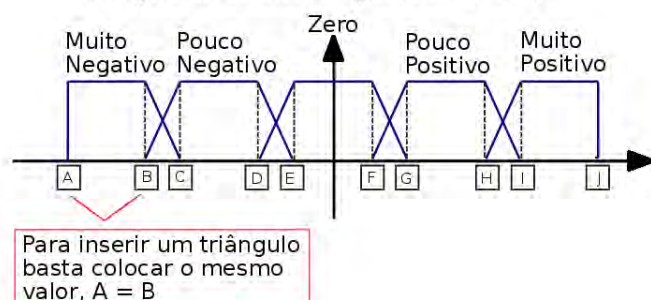


Figura 7 – Modo de inserção dos valores na função de pertinência de entrada 1

## Função de Pertinência que define a Derivada Erro

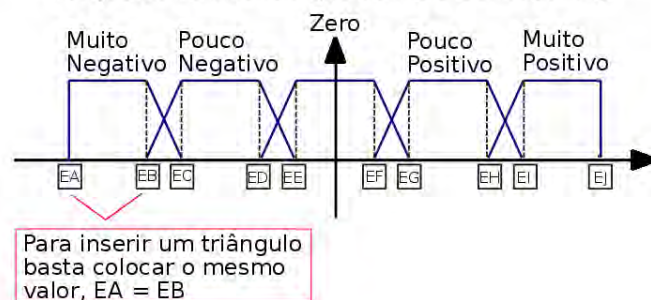


Figura 8 – Modo de inserção dos valores na função de pertinência de entrada 2

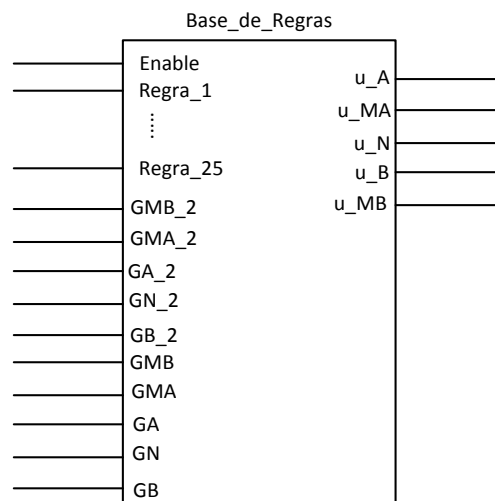


Figura 9 – Bloco Regras em Ladder

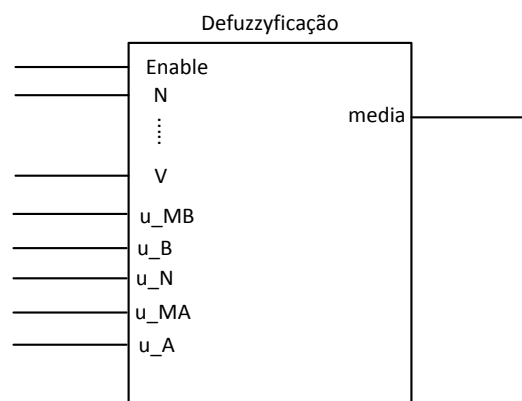


Figura 10 – Bloco Defuzzificação em Ladder

## Função de Pertinência que define a Saída

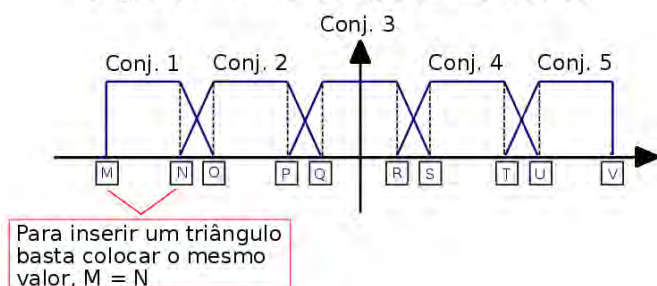


Figura 11 – Modo de inserção dos valores na função de pertinência de saída

## VII. RESULTADOS

Visando analisar o comportamento do sistema definiu-se um *setpoint* de 5cm e utilizou-se o recurso *TRACE* do *software Automation Studio* para obter os gráficos do nível atual, Figura 6, e da potência aplicada na Bomba, Figura 7.

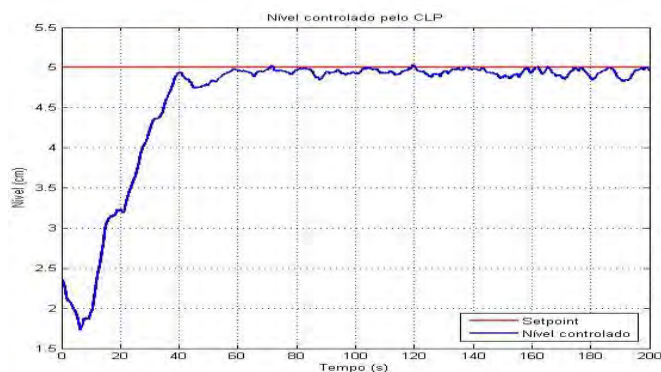


Figura 6 – Nível controlado por fuzzy embarcado no CLP

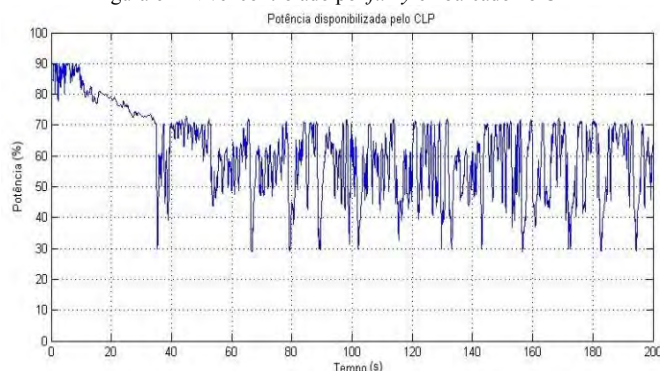


Figura 7 – Potência da bomba disponibilizada pelo CLP em %

Além disso, na Tabela II mostra-se os valores de saída do controlador fuzzy, neste caso potência da bomba, obtidos levando em consideração os valores de erro e derivado do erro mostrados.

TABELA II  
SAÍDA DO CONTROLADOR FUZZY NO CLP

Erro	Derivada do Erro	Saída do Sistema
0	0	50
10	0.2	92,5
-10	-0.2	25,384661
-10	1.9	30
-10	-1.9	20
7,5	-0.5	70
5	1	92,5
-5	0	30
7,2	0	92,5

## VIII. VALIDAÇÃO

Para validar o sistema *fuzzy* foi desenvolvido no *Scilab* um sistema *fuzzy* utilizando as mesmas variáveis linguísticas e mesma base de regras usados no CLP. Com isso, entrando com os mesmos valores de erro e derivada do erro utilizados no sistema desenvolvido, foram obtidos os valores de saída do controlador fuzzy, potência da bomba, demonstrados na Tabela III.

TABELA III  
SAÍDA DO CONTROLADOR FUZZY NO SCILAB

Erro	Derivada do Erro	Saída do Sistema
0	0	46,673325
10	0.2	98,464464
-10	-0.2	25,174111
-10	1.9	29,999502
-10	-1.9	18,047446
7,5	-0.5	69,999186
5	1	98,464464
-5	0	29,999502
7,2	0	98,464464

## IX. CONCLUSÃO

Nesse trabalho desenvolveu-se uma biblioteca *fuzzy* genérica para o CLP. Sendo assim mostrou-se a implementação desta, explanando a função de cada parte da mesma. Posteriormente, mostrou-se o resultado obtido ao realizar o controle *fuzzy* utilizando a biblioteca criada.

Tendo os resultados obtidos na Tabela II e III nota-se que em ambos os valores obtidos na saída dos sistemas foram próximos. Todavia, as diferenças encontradas se dá por conta do método de *defuzzificação* utilizado. Tanto no *Scilab* quanto no CLP foi utilizado o método do centroide para calcular o valor numérico disponibilizado na saída. Entretanto, existem diversas formas de fazer esse cálculo.



Analisando ainda os gráficos das Figuras 6 e 7 vê-se que a biblioteca conseguiu atingir o *setpoint* ajustado e, ao atingir o regime permanente manteve-se próximo do nível desejado. Com isso, conclui-se que a biblioteca desenvolvida alcançou um resultado satisfatório e pode ser utilizada para fazer o controle *fuzzy* no CLP.

#### REFERÊNCIAS

- [1] RIGNEL, D. G. de S., et al. **Introdução a Lógica Fuzzy**. Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e Gestão Tecnológica. Vol. 01 - 2011.
- [2] DE ARAÚJO, F. M. U. **Sistema de Controle**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2007.
- [3] SOUZA, O. do N. **Introdução à Teoria dos Conjuntos Fuzzy**. Relatório Final de Iniciação Científica Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2010.
- [4] BELLUCCI, D. P. **Sistemas Baseados em Regras Fuzzy e Aplicações**. Universidade Federal do ABC – Mestrado em Matemática Aplicada. Santo André, 2009.
- [5] ANDRADE, M., JACQUES, M. A. P. **Estudo Comparativo de Controladores de Mandani e Sugeno para Controle do Tráfego em Interseções Isoladas**. Prograna de Pós-Graduação em Transportes. Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília Campus Universitário Darcy Ribeiro.
- [6] MARRO, A. A., et al. **Lógica Fuzzy: Conceitos e aplicações**. Departamento de Informática e Matemática Aplicada, Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Natal.
- [7] VILELA, P.S.da C., VITAL, F. J. T. **Automação Industrial**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2003.
- [8] FILHO, B. S. da S. **Curso de Controladores Lógicos Programáveis**. Programa Prodenge - Sub-Programa Reenge Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
- [9] HENRIQUES, J. P. C. **Sistemas de Controle Preditivo Multimodelos Fuzzy TS-BFO Embarcado em um Controlador Lógico Programável**. 132 p. Dissertação – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá. Ago/2014.
- [10] **Automation Studio**. Disponível em: <<https://www.br-automation.com/pt-br/products/software/automation-studio/>>. Acesso em: 02 dez. 2017.

# Desenvolvimento de uma planta de controle de posição e velocidade

Bruno Moreira Fernandes Mendes  
Instituto Nacional de Telecomunicações  
brunomoreira@gea.inatel.br

João Paulo Carvalho Henriques  
Instituto Nacional de Telecomunicações  
joao.paulo@inatel.br

$R_{DS(on)} = 5,7(\text{mohms})$ ,  $I_D = 50\text{A}$ .

**Abstract**— This paper describes about the confection of position and velocity control plant prototype of a rotary pointer. The focus is on the electronic components used in, with the aim finalize its practical assembly. The article closes on the main features of the project.

**Index Terms**— Arduino, control, encoder, motor DC, position, velocity.

**Resumo**— Este trabalho descreve o desenvolvimento de um protótipo de uma planta de controle de posição e velocidade de um ponteiro rotativo. O foco se encontra nos componentes eletrônicos utilizados no mesmo, com o intuito de finalizar a sua montagem prática. O artigo se encerra concluindo sobre as principais características do projeto, e detalhando os possíveis tipos de controladores que podem ser utilizados.

**Palavras chave**— Arduino, controle, encoder, motor DC, posição, velocidade.

## I. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de uma planta de controle de posição e velocidade de um ponteiro rotativo pode fornecer um aumento na diversidade de tipos de plantas utilizadas no cenário acadêmico. Há uma grande necessidade de estudos na área de controle e sistemas, já que as aplicações práticas voltadas ao desenvolvimento de técnicas de controle vêm se tornando cada vez mais frequentes no meio industrial.

Este artigo pretende detalhar sobre a montagem de uma planta de controle de posição e velocidade. Começa pela apresentação da planta didática e da confecção prática do exemplo proposto, depois mostra os detalhes sobre o software criado para rodar no Arduino e encerra com os resultados e conclusões do protótipo final.

O mesmo quando aplicado no meio educacional permite que os alunos explorem as atuais técnicas de controle tornando-se cada vez mais capacitados.

## II. DESENVOLVIMENTO

### A. Ponte H

Para a confecção do layout da placa de circuito impresso com a ponte de mosfets é utilizado o software Pcad. Esse circuito tem o papel de driver de corrente para o acionamento do motor tanto no sentido horário quanto no anti-horário, os mosfets utilizados são o IRF5305 e o IPU06N03LA, cujas características técnicas são descritas a seguir:

IRF5305: Mosfet canal P com  $V_{DS} = -55\text{V}$ ,  
 $R_{DS(on)} = 0,06(\text{ohms})$ ,  $I_D = -31\text{A}$ .

IPU06N03LA: Mosfet canal N com  $V_{DS} = 25\text{V}$ ,

A escolha desses mosfets de tamanho smd se deve entre outros motivos, pois suas características técnicas atendem os requisitos de projeto com certa folga para que não haja um sobreaquecimento dos componentes e não seja preciso a utilização de dissipadores de calor, além disso, apresentam um ótimo custo benefício em relação à mosfets similares encontrados no mercado e também pela fácil aquisição e disponibilidade dos mesmos.

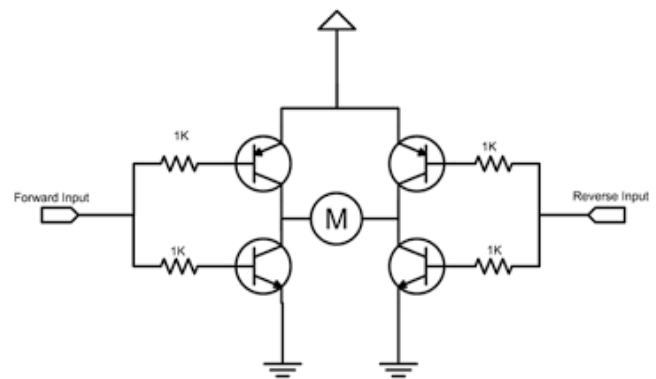


Fig. 1. Ponte H

### B. Motor DC

Para o desenvolvimento do protótipo da planta de controle de posição e velocidade foram submetidos à análise vários tipos de motores (micro servo 9G-SG90, servo motor SM-S4306R, motor de passo, motor DC com redução) e também de sensores de posição (tacômetro, potenciômetro tradicional, potenciômetro rotativo sem fim, módulo encoder rotativo).

Para atender o requisito de alcance de  $360^\circ$ , e obter maior precisão nas medidas, o motor utilizado é o Motor DC 6V com Encoder 100RPM, o mesmo possui um encoder embutido em sua parte traseira que traz a facilidade na leitura do valor de posição e velocidade do eixo.

Esse sensor converte o movimento mecânico do motor em uma série de pulsos digitais elétricos, fornecendo para o controlador (arduino), dados úteis com os quais podem ser calculadas a posição, velocidade ou rotações por minuto. A seguir está a foto do motor utilizado:





Fig. 2. Motor DC com encoder

A seguir estão listadas as características técnicas do motor DC 6V com Encoder 100 RPM:

Tabela 1: Tabela características motor

Tensão	6V DC
Velocidade	100 RPM
Diâmetro do eixo	4mm
Comprimento do eixo	12mm
Máxima eficiência	1.0kg.cm/80rpm/1.7W/0.5A
Máximo torque	3.0kg.cm/55rpm/2.8W/1.0A
Cabo de conexão	6 fios
Comprimento do cabo	20 cm
Redução	1:75 (1:74.83)
Resolução do Encoder	11 x Redução 74.83=823
Comprimento total	73mm
Diâmetro do motor	25mm
Encoder	Integrado

Fisicamente o motor é constituído da seguinte sequência de pinos:



Fig. 3. Sequência de pinos do motor DC com encoder

Os pinos 1 e 6 são a alimentação do motor que pode variar de 0 a 6 V sendo que em 6V ele atinge a sua rotação nominal. Os pinos 2 e 5 são a alimentação de 3,3V do encoder, que nesse projeto é conectado na própria placa do arduino, já que este possui essa tensão disponibilizada em um de seus terminais. Os pinos 3 e 4 estão também ligados ao arduino, eles carregam os pulsos digitais cuja informação pode ser referente a posição ou velocidade do motor.

### C. Software do arduino

Quando se leva em conta os pinos de entrada do projeto, ele possui dois bornes para alimentação de todo o sistema (12V), e mais dois bornes onde o usuário insere uma tensão de 0 a 10 V que controla a velocidade do motor. Ou seja, se o operador colocar 0V então o motor fica parado, caso suba para 10V o

motor gira em sua velocidade nominal. Tornando o protótipo viável para utilização em controle de velocidade.

Com o intuito de ler a tensão de entrada referente a velocidade que o usuário deseja que o motor gire, são utilizados um divisor resistivo e um diodo zenner de proteção, como circuito adaptador antes de chegar no pino do arduino, pois o operador insere de 0 a 10V (padrão industrial) e o arduino trabalha de 0 a 5V.

Após captar o valor numérico da velocidade requerida pelo usuário, o arduino gera um sinal PWM de comando, esse sinal é convertido em uma variação da tensão que alimenta o motor DC, alterando assim a sua velocidade.

O software criado no arduino UNO tem a função de captar os dados provenientes do encoder do motor, sabendo assim a velocidade atual de giro do ponteiro, após captar essas informações elas são processadas e convertidas em uma tensão de referência que varia de 0 a 5V.

Fisicamente conectados aos pinos de saída, o protótipo possui dois bornes que apresentam uma tensão referente à velocidade do motor. Além disso, estão instalados outros dois bornes que vão entregar a referência de posição.

A seguir seguem listadas as características técnicas do arduino Uno:

Tabela 2: Tabela características do Arduino UNO

Microcontrolador	ATmega328P
Voltagem operacional	5V
Voltagem de alimentação	7-12V
Limite alimentação	6-20V
Pinos I/O digitais	14
Pinos de entrada analógica	6
Corrente contínua por pino	40mA
Corrente para pino 3.3V	50mA
Memória Flash	32KB
SRAM	2KB
EEPROM	1KB
Velocidade de clock	16MHz



Fig. 4. Arduino UNO

### D. Controle

A partir da confecção desse protótipo, pode-se alcançar a realização de trabalhos envolvendo testes como o cálculo da função de transferência, criação de um programa embarcado em um CLP (controlador lógico programável), realizar a leitura do sensor de posição e velocidade e controle do motor, até o desenvolvimento de um supervisor capaz de visualizar

os dados e comandá-los via computador ou IHM, simulando um meio industrial.

Ao utilizar um CLP para captar os dados que resultam na característica física do sistema, é necessário realizar a conversão do valor lido pelo CLP, em bits, para um valor em graus que representa a posição do ponteiro rotativo.

Na realização desse procedimento, aplica-se um degrau com certa potência de acionamento do motor DC, utiliza-se a função trace para salvar os dados da sua curva de resposta e depois que sua velocidade ou posição se estabilizar, o sistema pode ser desligado e os vetores que contém as informações do gráfico devem ser plotados para que a função de transferência possa ser calculada. A seguinte figura ilustra o diagrama em blocos representativo do controle do sistema proposto:

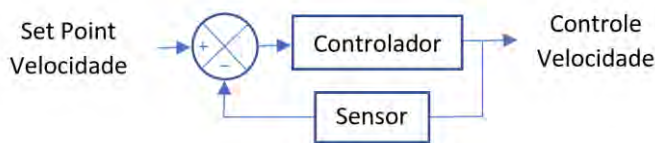


Fig. 5. Diagrama representativo do sistema

A planta didática de controle de posição e velocidade serve de base para comparação de métodos de sintonia. No estudo de sistemas de controle, é de interesse conhecer o comportamento do sistema a ser controlado, ou seja, conhecer seu modelo matemático.

Uma das técnicas para se obter modelos matemáticos é a resposta ao degrau, onde se aplica um degrau à entrada da planta, e a partir do gráfico de resposta da saída, consegue-se encontrar o modelo matemático.

A seguinte equação representa a forma canônica da função de transferência de sistemas de primeira ordem. Onde suas constantes podem ser calculadas por vários métodos como análise gráfica, por exemplo:

$$H(s) = \frac{Ke^{-\theta s}}{\tau s + 1}$$

Nessa equação, devem-se calcular os valores de  $K$ ,  $\theta$  e  $\tau$  para chegar à equação da função de transferência, onde  $K$  é o ganho do processo,  $\theta$  é o atraso de transporte e através de  $\tau$  representa-se a velocidade do sistema.

O ganho  $K$  é calculado dividindo o valor final da variável controlada em regime permanente, pelo valor do *setpoint* aplicado na entrada do sistema.

O valor de  $\theta$  pode ser observado através de análise gráfica e assim corresponde ao tempo necessário para que a planta comece a responder a excitação aplicada.

O valor de  $\tau$  se iguala ao valor de  $T$  (tempo) quando a variável mensurada está em 63,3% do valor final.

Depois de encontrada a função de transferência pode-se fazer uma relação entre as ações dos controladores Proporcional, Integral e Derivativo, e determinar até três parâmetros de sintonia:  $K_p$ ,  $T_i$  e  $T_d$ .

Esses três parâmetros devem ser acertados para que o sistema atenda a algum critério de desempenho, ou seja, para responder de acordo com as especificações de projeto.

Com o intuito de atingir o controle automático, devem ser atribuídos valores aos parâmetros e analisado o desempenho do sistema de acordo com a resposta de saída a um sinal de excitação.

Depois de calculados esses parâmetros e testado o controle na prática, ainda é necessário realizar um ajuste fino no valor dos mesmos a fim de alcançar um resultado que seja satisfatório.

Para auxiliar todos esses procedimentos descritos, costuma-se serem muito utilizados softwares capazes de simular os controles com o intuito de economizar tempo e trabalho, tornando todo o procedimento mais eficiente.

Um método bastante empregado para realizar os cálculos dos valores dos parâmetros de sintonia é o *Autotuning*, cujos fabricantes de PLCs desenvolvem ferramentas capazes de testar o sistema e calcular os parâmetros automaticamente.

Existem diversos meios de realizar a sintonia para controle industrial. Segundo OGATA na sintonia pelo método de resposta em frequência, especificamos o desempenho da resposta transitória de maneira indireta, isto é, o desempenho da resposta transitória é especificado em termos de margem de fase, margem de ganho, amplitude do pico de ressonância e frequência de cruzamento de ganho.

As especificações no domínio da frequência podem ser encontradas com facilidade pelo método do diagrama de Bode, ou podem ser calculados através dos critérios de projeto como máximo pico e tempo de acomodação.

#### E. Protótipo final

Para confecção do protótipo final, é utilizada uma placa de madeira com um suporte a fim de facilitar a sua utilização e tornar o sistema robusto. O motor DC com encoder é parafusado na madeira de modo que seu eixo fique a mostra, e um ponteiro possa ser acoplado.

Os componentes eletrônicos usados para captação dos dados dos sensores bem como adequação de sinal de controle para sinal de potência foram organizados dentro de uma caixa plástica inserida na parte traseira do protótipo, e por fim, foram impressas e coladas etiquetas para identificação dos bornes da planta.

Como pode ser visto na figura do protótipo finalizado é inserido um ponteiro no eixo do motor para visualização de seu deslocamento em torno de uma marcação de 0 a 360°, além disso, os bornes de banana fêmea estão disponibilizados de forma que facilite a conexão de cabos utilizados para alimentação e controle da planta.



Fig. 6. Protótipo Final

### III. CONCLUSÕES

Como se pôde observar, o sistema atende aos requisitos de projeto pré-estabelecidos, pois facilita a demonstração de sistemas que podem ser controlados.

O motor DC com redução se mostrou eficiente para o seu propósito, pois como o encoder já vem acoplado, o sistema fica mais preciso e elimina o trabalho de mecânico de organizá-los corretamente entre si.

O modelo do protótipo criado apresenta robustez e permite a sua replicação com facilidade, além disso, ele é totalmente funcional e seu modo de utilização é intuitivo, ou seja, o usuário pode, por meio de vários tipos de controle, testar na prática o seu modo de funcionamento, o que viabiliza outros estudos e avanços da área de controle e automação.

### REFERÊNCIAS

- [1] Claiton Moro Franchi, **Acionamentos Elétricos**, 3rd ed. São Paulo, Ed. Érica, 2008.
- [2] Michael Mcroberts, **Arduino Básico**, 2nd ed. Ed. Novatec, 2012.
- [3] Rodrigo Fernandes Vernini, **Desenvolvimento do controle de velocidade e posição para um robô móvel**, Trabalho de Conclusão de Curso. São Carlos, 2010.
- [4] Lucas Vicente Carvalho e Humberto José Gonzaga, **Sistema aplicado a controle de posição utilizando algoritmo PID**. Artigo Científico, Instituto Nacional de Telecomunicações, 2015.
- [5] **Datasheet, IRF5305** [Online], Disponível: [http://www.redrok.com/MOSFET\\_IRF5305\\_-55V\\_-31A\\_6mO\\_Vth-4.0\\_TO-220.pdf](http://www.redrok.com/MOSFET_IRF5305_-55V_-31A_6mO_Vth-4.0_TO-220.pdf).

# Projeto Otimizado dos Elementos de Filtro e Semicondutores do Circuito de Potência do Conversor *Boost* CC/CC

Alexandre Rodrigues Vaz

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais  
arodrigues@cefetmg.br

Yan Ambrósio de Oliveira

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais  
yanambrosio@hotmail.com

**Abstract**— The utilization of alternative sources of energy, systems and electrical equipment with greater energy efficiency, have been revealed as being more ecologically correct alternatives related to the use of electric energy. The use of high frequency switching, implies the use of filter elements, inductor and capacitor, smaller and lighter, reducing energy losses when compared to losses related to conventional structures. However, switched voltage regulator circuits have a greater complexity of project and operation. Analysis of the specialized technical literature reveals the existence of a certain lack of more information related to project of the power circuit elements of classical converter structures DC/DC, for example, the *Boost*. In view of the above, a detailed study was developed about the specification of the power circuit elements (inductor, capacitor and semiconductor devices) of the *Boost* converter DC/DC, to meet a specific practical application.

**Index Terms**— *Boost*, power circuit, converters DC/DC, voltage regulator.

**Resumo**— A utilização de fontes alternativas de energia, sistemas e equipamentos elétricos com maior eficiência energética, têm se revelado como sendo alternativas mais ecologicamente corretas relacionadas ao uso da energia elétrica. O uso do chaveamento em alta frequência implica a utilização de elementos de filtro, indutor e capacitor, menores e mais leves, reduzindo as perdas de energia quando comparadas com as perdas relacionadas a estruturas convencionais. Entretanto, circuitos reguladores de tensão chaveados apresentam uma maior complexidade de projeto e operação. Análise da literatura técnica especializada revela a existência de uma certa carência de maiores informações relacionadas ao projeto dos elementos do circuito de potência das estruturas clássicas de conversores CC/CC como, por exemplo, o *Boost*. Diante do exposto, foi desenvolvido um estudo detalhado sobre a especificação dos elementos do circuito de potência (indutor, capacitor e dispositivos semicondutores) do conversor *Boost* CC/CC, destinado a atender uma determinada aplicação prática.

**Palavras chave**— *Boost*, circuito de potência, conversores CC/CC, regulador de tensão.

## I. INTRODUÇÃO

Diversos problemas relacionados ao aquecimento global, devido em grande parte ao contínuo crescimento da demanda de energia elétrica, tem despertado o interesse da comunidade científica pela adoção de políticas mais adequadas de uso da energia elétrica. Dentre as alternativas em potencial para atingir tal objetivo, podem ser citadas o uso em larga escala de fontes alternativas de energia, sistemas e equipamentos com maior eficiência energética [1]. Os conversores CC/CC chaveados são circuitos eletrônicos amplamente utilizados em aplicações onde se faz necessário o processamento de energia elétrica com maior eficiência, isso graças a utilização de uma elevada frequência de comutação do interruptor associado a diferentes estruturas. Cabe destacar que a natureza não linear desse circuito eletrônico torna sua análise, tanto qualitativa quanto quantitativa, mais complexa se comparada a estruturas de circuitos do tipo linear [2].

Portanto, especial atenção é exigida neste estudo investigativo relacionado ao projeto de tais elementos de circuito, afim de garantir a correta especificação dos mesmos tanto em nível de simulação quanto prático [3]. No projeto do conversor *Boost*, foram considerados aspectos extremamente importantes, tais como: frequência de comutação, ganho de tensão, modo de operação (condução contínua, condução descontínua ou condução crítica), ondulação de tensão na saída, corrente e potência a serem utilizados no processamento de energia.

Posteriormente, com o intuito de validar as equações de projeto obtidas através da análise teórica e matemática, foram apresentados vários resultados de simulação, analisados em detalhe por meio de gráficos e tabelas. Além disso, foram exibidos resultados experimentais incluindo sinais de tensão e corrente no interruptor, tensão e corrente no diodo, tensão no resistor e no capacitor de *snubber*. Importante destacar que um dos subsídios do ponto de vista prático para o desenvolvimento deste trabalho de iniciação científica, foi um outro projeto de Bic-Jr [4], cujo protótipo encontra-se disponível no laboratório de Eletrônica do CEFET-MG, unidade de Nepomuceno, em perfeitas condições operacionais. Este trabalho também possui conexão com outro projeto de Bic-Jr [5].

## II. ANÁLISE TEÓRICA E MATEMÁTICA

### A. Conversor Boost CC/CC

Esta subseção tem como objetivo fazer uma abordagem teórica da estrutura do conversor CC/CC do tipo elevador de tensão, o *Boost*. Seu princípio de funcionamento está baseado no carregamento de energia num indutor e a posterior transferência de energia juntamente com a fonte de tensão de entrada, para a saída do circuito [6]. Análise de pequenos detalhes são indispensáveis no projeto otimizado dos elementos de filtro e semicondutores do circuito de potência do conversor, os quais resultam em um melhor aproveitamento da eficiência energética desse tipo de circuito. A Fig. 1 exibe a estrutura do conversor *Boost* CC/CC.

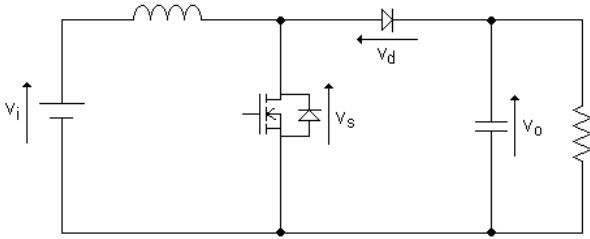


Fig. 1. Estrutura do conversor *Boost* CC/CC.

Ao longo desta etapa foram desenvolvidas equações de projeto para a especificação dos elementos do circuito de potência do conversor *Boost*. No entanto, devido a limitação de espaço, neste artigo serão apresentados somente as equações finais do desenvolvimento teórico e matemático. Maiores detalhes sobre esse estudo, bem como as etapas de operação do conversor, podem ser verificados em [7].

### B. Ganho Estático ( $G$ )

O cálculo do ganho estático pode ser obtido através da relação entre a tensão de saída ( $V_o$ ) e a tensão de entrada ( $V_i$ ) do circuito. Alternativamente, o ganho também pode ser calculado através da relação do tempo de carga ( $t_c$ ) e descarga ( $t_d$ ) do indutor. Matematicamente, o ganho pode ser expresso através da equação (1).

$$G = \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{t_c}{t_d} \quad (1)$$

### C. Tempo de Carga ( $t_c$ ) e Descarga ( $t_d$ ) do Indutor

O tempo de carga e descarga do indutor, pode ser calculado através de parâmetros de entrada pré-estabelecidos, tais como: período de comutação do interruptor ( $T_s$ ), razão cíclica de operação do indutor ( $D_I$ ), indicado em (2) e também do ganho estático ( $G$ ), descrito em (1). Matematicamente, o cálculo do tempo de carga e descarga pode ser expresso através das equações (3) e (4), respectivamente.

$$D_I = \frac{t_c + t_d}{T_s}, D_I \in [0,1] \quad (2)$$

$$t_c = \frac{(G - 1)}{G} \cdot D_I \cdot T_s \quad (3)$$

$$t_d = \frac{D_I \cdot T_s}{G} \quad (4)$$

### D. Indutor de Filtro ( $L$ )

O cálculo do indutor de filtro pode ser descrito matematicamente através da equação (5). Além dos parâmetros descritos anteriormente, para obtenção do seu valor é necessário conhecer a potência de entrada do circuito ( $P_i$ ) e o valor mínimo de corrente no indutor ( $K$ ).

$$L = \frac{V_i \cdot t_{c(max)}}{\left[ \frac{2 \cdot P_i \cdot T_s}{V_i \cdot (t_{c(max)} + t_{d(max)})} - 2 \cdot K \right]} \quad (5)$$

### E. Capacitor de Filtro ( $C_o$ )

Para o cálculo do capacitor de filtro do circuito de potência do conversor *Boost* CC/CC é necessário levar em consideração duas situações de projeto. No primeiro caso, quando o valor mínimo de corrente no indutor ( $K$ ) for menor que a corrente média de saída ( $I_o$ ), deve-se utilizar para cálculo do capacitor de filtro a equação (6). Por outro lado, se o valor mínimo de corrente no indutor for maior ou igual que a corrente média de saída, deve-se utilizar a equação (7). Outro parâmetro importante a ser considerado no cálculo do capacitor de filtro é a máxima ondulação de tensão através do capacitor ( $\Delta V_{c(max)}$ ), definido nas especificações do projeto.

$$C_o = \frac{1}{\Delta V_{c(max)}} \cdot \frac{[V_i \cdot t_{c(max)} + L \cdot (K - I_o)]^2}{2 \cdot L \cdot (V_o - V_i)} \quad (6)$$

$$C_o = \frac{1}{\Delta V_{c(max)}} \cdot \left[ \frac{(V_i \cdot t_{c(max)})^2}{2 \cdot L \cdot (V_o - V_i)} + \frac{(V_i \cdot t_{c(max)}) \cdot (K \cdot I_o)}{(V_o - V_i)} \right] \quad (7)$$

### F. Interruptor

As equações para cálculo da corrente média ( $I_{SWmed}$ ), corrente eficaz ( $I_{SWef}$ ) e tensão máxima ( $V_{SWmax}$ ) no interruptor, podem ser descritas matematicamente em (8), (9) e (10), respectivamente. Além dos parâmetros descritos anteriormente é considerado no cálculo o valor do estresse tensão adicional no interruptor ( $X$ ) e a ondulação da corrente no indutor ( $\Delta I$ ).

$$I_{SWmed} = \frac{t_c}{T} \cdot \left( K + \frac{\Delta I}{2} \right) \quad (8)$$

$$I_{SWef} = \sqrt{\frac{t_c}{T} \cdot \left( K^2 + K \cdot \Delta I + \frac{\Delta I^2}{3} \right)} \quad (9)$$

$$V_{SWmax} = V_o + X \quad (10)$$

### G. Diodo

Análogo a análise do interruptor, as equações para cálculo da corrente média ( $I_{Dmed}$ ), corrente eficaz ( $I_{Def}$ ) e tensão máxima ( $V_{Dmax}$ ) no diodo, podem ser descritas matematicamente em (11), (12) e (13), respectivamente.

$$I_{Dmed} = \frac{t_d}{T} \cdot \left( K + \frac{\Delta I}{2} \right) \quad (11)$$

$$I_{Def} = \sqrt{\frac{t_d}{T} \cdot \left( K^2 + K \cdot \Delta I + \frac{\Delta I^2}{3} \right)} \quad (12)$$

$$V_{Dmax} = V_o \quad (13)$$

## III. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DE SIMULAÇÃO

Esta subseção tem por finalidade apresentar e analisar os resultados de simulação do conversor *Boost* apresentados em (II). Foram consideradas diferentes situações, incluindo individualmente em cada caso mudança no nível de frequência, tensão, potência, e também no modo de operação do conversor (contínuo, descontínuo e crítico). Análogo ao motivo da subseção anterior, neste artigo serão apresentados somente os resultados de simulação considerando os diferentes modos de operação do conversor. Por conseguinte, busca-se a comprovação dos equacionamentos obtidos a partir da análise teórica e matemática da subseção anterior.

Os resultados de simulação apresentados a seguir foram obtidos através do *software* de simulação *Psim*. É importante destacar que para garantir a operação estável em regime permanente da estrutura analisada, foi necessário a inclusão de um resistor de entrada (0,15Ω). Isso porque tal resistor permite o amortecimento da oscilação natural do sistema e pouco afeta a operação do sistema em termos de perdas.

### A. Caso I

Neste primeiro caso, tem-se o conversor operando no modo de condução contínuo. Considerando os dados de entrada da Tabela I e utilizando as equações obtidas anteriormente, resulta os parâmetros de saída da Tabela II.

TABELA I  
PARÂMETROS DE ENTRADA

Parâmetro	Valor
$V_i$	100 V
$V_o$	300 V
$f$	25 kHz
$P$	300 W
$K$	2 A
$D_i$	1
$\Delta V_o$	3 V

TABELA II  
PARÂMETROS DE SAÍDA

Parâmetro	Valor
$t_c + t_d$	40 μs
$t_c$	26,67 μs
$t_d$	13,33 μs
$I_o$	1 A
$\Delta I$	2 A
$G$	3
$L$	1,33 mH
$C$	8,88 μF

Com os dados partir das Tabelas I e II aplicados ao diagrama do circuito da Fig. 2 e por meio do *software* de simulação supracitado foram obtidos os resultados das Figs. 3.

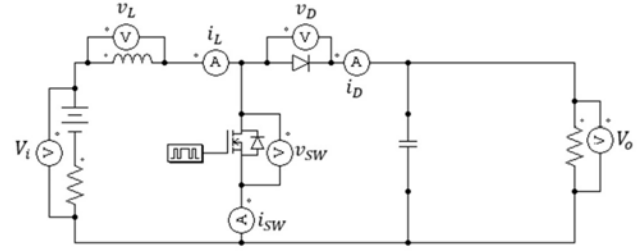


Fig. 2. Diagrama do circuito de potência do conversor *Boost*.

A Fig. 3 (a), revela o comportamento da tensão de saída ( $V_o$ ). Já a Fig. 3 (b), exibe o comportamento de corrente e tensão no indutor ( $i_L$ ) e ( $v_L$ ). A Fig. 3 (c), mostra os sinais de corrente e tensão no interruptor ( $i_{SW}$ ) e ( $v_{SW}$ ). Por final, a Fig. 3 (d) revela os sinais de corrente e tensão no diodo ( $i_D$ ) e ( $v_D$ ). Análise dos sinais apresentados revela que nesse caso o circuito opera no modo de condução contínuo, conforme previsto inicialmente. Além disso, os níveis de ( $V_o$ ) e ( $\Delta V_o$ ) alcançados estão de acordo com o esperado (Tabela I). Isso revela coerência na escolha dos elementos de filtro calculados com base nas condições de projeto definidas na Tabela I e nas respectivas equações de projeto.

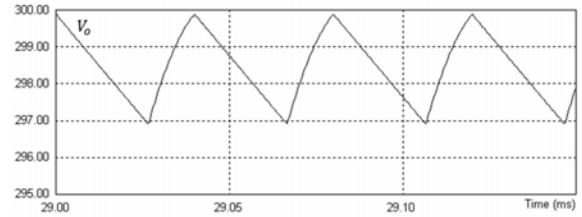


Fig. 3. (a) Tensão de saída – Caso I.

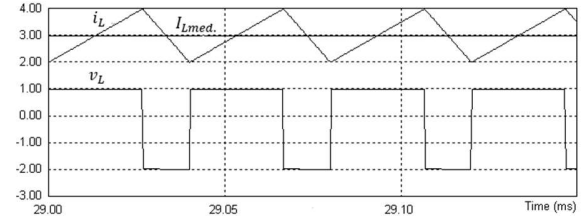


Fig. 3. (b) Corrente e tensão no indutor ( $i_L$ ,  $I_{Lmed}$  e  $v_L \times 0,01$ ) – Caso I.

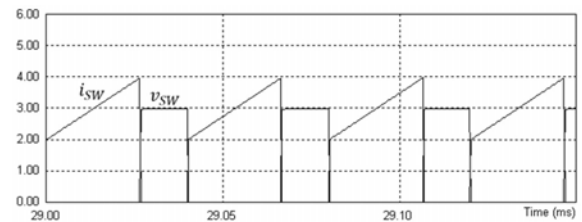


Fig. 3. (c) Corrente e tensão no interruptor ( $i_{SW}$  e  $v_{SW} \times 0,01$ ) – Caso I.

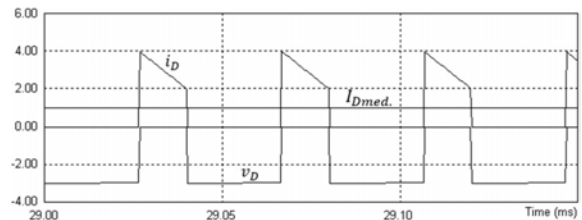


Fig. 3. (d) Corrente e tensão no diodo ( $i_D$  e  $I_{Dmed}$ ,  $v_D \times 0,01$ ) – Caso I.



A Tabela III apresenta a comparação entre diferentes valores teóricos e simulados, onde é possível verificar uma grande aproximação entre tais valores.

TABELA III  
TABELA COMPARATIVA DE VALORES

Parâmetros	Valor teórico	Valor simulado
$I_{Lmed.}$	3 A	2,96 A
$I_{Lef.}$	3,055 A	3,048 A
$I_{SWmed.}$	2 A	1,97 A
$I_{SWef.}$	2,49 A	2,48 A
$I_{Dmed.}$	1 A	0,99 A
$I_{Def.}$	1,76 A	1,71 A
$V_o$	300 V	298,47 V
$\Delta V_o$	3 V	3 V

### B. Caso II

Na segunda situação, tem-se o conversor operando no modo de condução crítico. Comparativamente em relação ao Caso I, temos nesse caso exclusivamente mudança no modo de operação do conversor, de contínuo para crítico. Isso se deve ao fato de  $K$  ser igual a 0 e o  $D_I = 1$ . Todos os demais parâmetros de entrada não foram alterados se comparados ao Caso I. Por conseguinte, têm-se os dados de entrada da Tabela IV, a qual associada às equações de projeto da subseção anterior, retorna os parâmetros de simulação da Tabela V.

TABELA IV  
PARÂMETROS DE ENTRADA

Parâmetro	Valor
$V_i$	100 V
$V_o$	300 V
$f$	25 kHz
$P$	300 W
$*K$	0 A
$D_I$	1
$\Delta V_o$	3 V

TABELA V  
PARÂMETROS DE SAÍDA

Parâmetro	Valor
$t_c + t_d$	40 $\mu s$
$t_c$	26,67 $\mu s$
$t_d$	13,33 $\mu s$
$I_o$	1 A
$\Delta I$	6 A
$G$	3
$L$	444,4 $\mu H$
$C$	9,25 $\mu F$

Nessa Tabela é possível verificar que para atender a nova condição de projeto imposta, temos um indutor de filtro 66,7% menor e um capacitor de filtro 4,2% maior. Análogo ao Caso I, as Figs. 4 exibem os resultados de simulação. Análise dos resultados apresentados para esse caso mostra a manutenção no nível de corrente média no indutor, porém, nota-se um aumento na variação de corrente no mesmo em comparação ao caso anterior, fato que ocorreu devido à redução no valor do indutor de filtro utilizado. Por outro lado, o valor da tensão média de saída permaneceu praticamente inalterado.

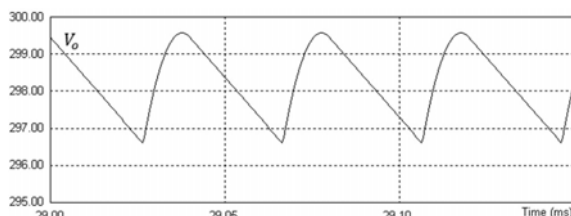


Fig. 4. (a) Tensão de saída - Caso II.

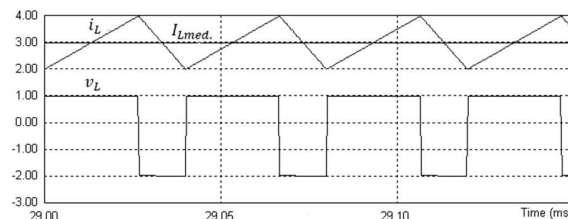


Fig. 4. (b) Corrente e tensão no indutor ( $i_L$ ,  $I_{Lmed.}$  e  $v_L \times 0,01$ ) - Caso II.

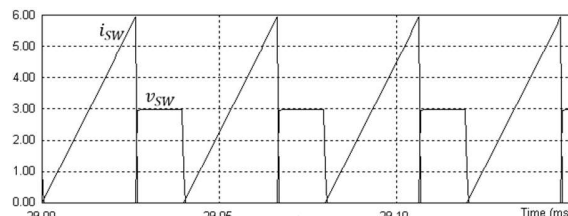


Fig. 4. (c) Corrente e tensão no interruptor ( $i_{SW}$  e  $v_{SW} \times 0,01$ ) - Caso II.

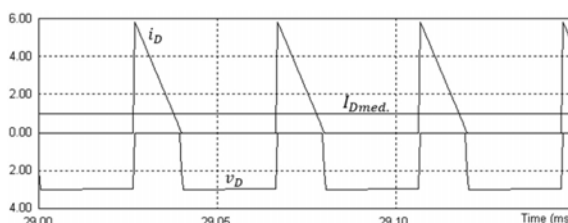


Fig. 4. (d) Corrente e tensão no diodo ( $i_D$  e  $I_{Dmed.}$ ,  $v_D \times 0,01$ ) - Caso II.

A Tabela VI apresenta a comparação entre diferentes valores teóricos e simulados.

TABELA VI  
TABELA COMPARATIVA DE VALORES

Parâmetros	Valor teórico	Valor simulado
$I_{Lmed.}$	3 A	2,98 A
$I_{Lef.}$	3,46 A	3,39 A
$I_{SWmed.}$	2 A	1,97 A
$I_{SWef.}$	2,83 A	2,78 A
$I_{Dmed.}$	1 A	0,94 A
$I_{Def.}$	2 A	1,93 A
$V_o$	300 V	299,12 V
$\Delta V_o$	3 V	2,97 V

### C. Caso III

Em referência ao caso anterior, tem-se novamente mudança essencialmente em relação ao modo de operação do conversor, de crítico para descontínuo. Observando a Tabela VII é possível notar uma alteração na razão cíclica do indutor.

TABELA VII  
PARÂMETROS DE ENTRADA

Parâmetro	Valor
$V_i$	100 V
$V_o$	300 V
$f$	25 kHz
$P$	300 W
$K$	0 A
$*D_I$	0,7
$\Delta V_o$	3 V

TABELA VIII  
PARÂMETROS DE SAÍDA

Parâmetro	Valor
$t_c + t_d$	28 $\mu s$
$t_c$	18,67 $\mu s$
$t_d$	9,33 $\mu s$
$I_o$	1 A
$\Delta I$	8,57 A
$G$	3
$L$	217,8 $\mu H$
$C$	10,40 $\mu F$

Na Tabela VIII é possível verificar que para atender a nova condição de projeto imposta, temos um indutor de filtro 60%

menor e um capacitor de filtro 12,4% maior. As Figs. 5 exibem os resultado de simulação. Análise dos resultados apresentados para esse caso mostra a manutenção no nível de corrente média no indutor, porém um aumento ainda maior na variação de corrente no mesmo em comparação ao Caso II.

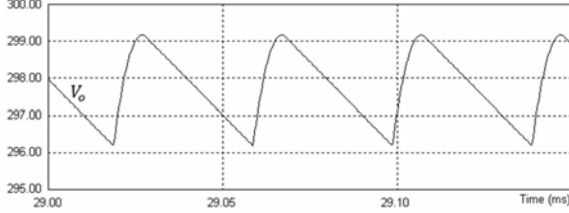


Fig. 5. (a) Tensão de saída - Caso III.

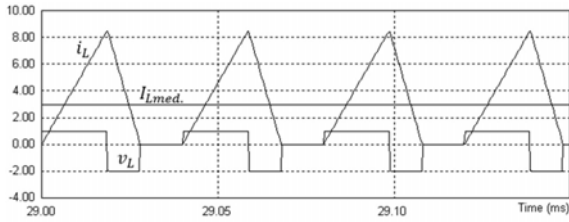


Fig. 5. (b) Corrente e tensão no indutor ( $i_L$ ,  $I_{Lmed.}$  e  $v_L \times 0,01$ ) - Caso III.

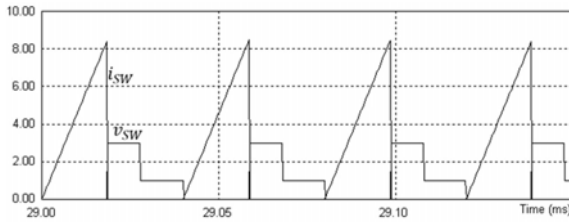


Fig. 5. (c) Corrente e tensão no interruptor ( $i_{SW}$  e  $v_{SW} \times 0,01$ ) - Caso III.

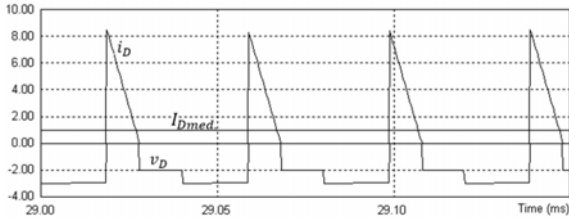


Fig. 5. (d) Corrente e tensão no diodo ( $i_D$  e  $I_{Dmed.}$ ,  $v_D \times 0,01$ ) - Caso III.

A Tabela IX apresenta a comparação entre diferentes valores teóricos e simulados, onde é possível verificar uma grande aproximação entre tais valores.

TABELA IX  
TABELA COMPARATIVA DE VALORES

Parâmetros	Valor teórico	Valor simulado
$I_{Lmed.}$	3 A	2,95 A
$I_{Lef.}$	4,14 A	4,07 A
$I_{SWmed.}$	2 A	1,99 A
$I_{SWef.}$	3,38 A	3,33 A
$I_{Dmed.}$	1 A	0,99 A
$I_{Def.}$	2,39 A	2,33 A
$V_o$	300 V	297,96 A
$\Delta V_o$	3 V	2,98 V

#### IV. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Esta subseção tem como objetivo apresentar resultados experimentais do conversor *Boost* CC/CC. Além disso, serão abordados detalhes práticos importantes relacionados ao seu funcionamento. Os valores obtidos são referentes à operação do conversor em modo de condução contínua. Para este resultado foi utilizado o diagrama do circuito de potência real do conversor *Boost* incluindo *snubber* dissipativo. Cabe destacar que a presença deste circuito é imprescindível para garantir a operação normal do conversor *Boost* em termos de controle do nível de estresse de tensão nos terminais do interruptor. O diagrama do circuito pode ser observado na Fig. 6.

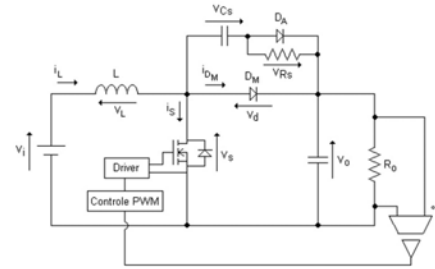


Fig. 6. Diagrama do circuito de potência real do conversor *Boost* incluindo *snubber* dissipativo.

A Tabela X apresenta os parâmetros utilizados no projeto do protótipo analisado (Fig. 7). Já a Tabela XI, exibe os dados dos componentes do circuito de potência obtidos a partir das equações de projeto e dos parâmetros da Tabela X, salve exceção os componentes do circuito *snubber* no qual podem ser calculados conforme [5].

TABELA X  
ESPECIFICAÇÃO DE PROJETO DO CONVERSOR *BOOST* CC/CC.

Parâmetro	Especificação
Tensão de entrada	$V_i = 100 \text{ V}$
Tensão de saída	$V_o = 200 \text{ V}$
Potência de saída	$P_o = 200 \text{ W}$
Frequência de comutação	$f_s = 40 \text{ KHz}$
Máxima ondulação de tensão na saída	$\Delta V_c = 0,1 \cdot V_o$
Estresse de tensão no interruptor	$X = 0,75 \cdot V_o$
Corrente mínima no indutor	$K = 1 \text{ A}$

TABELA XI  
COMPONENTES UTILIZADOS NO PROTÓTIPO EXPERIMENTAL.

Indutor de filtro	$L = 660 \mu\text{H}$
Capacitor de filtro de saída	$C_s = 100 \mu\text{F} / 250 \text{ V}$
Capacitor de <i>snubber</i>	$C_s = 5,4 \mu\text{F}$
Resistor de <i>snubber</i>	$R_s = 156,6 \Omega$
Diodo de <i>snubber</i>	03 diodos <i>Schottky</i> conectados em série SB1100 (Fairchild Semiconductor)
Interruptor ativo	MOSFET IRFP-160 (International Rectifier)
Diodo principal	Diodo ultrarrápido DTV32 (STMicroelectronics)

A Fig. 7 apresenta uma foto da bancada de testes com o kit de módulos para montagem e teste do conversor *Boost* CC/CC incluindo o módulo de um circuito *snubber* dissipativo.

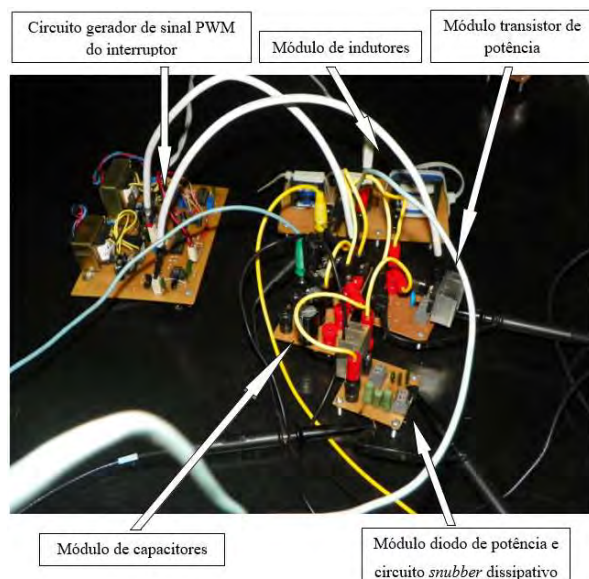


Fig. 7. Foto do protótipo destacando os módulos.

**Dados Experimentais:**  $R_i = 3,5\Omega$ ;  $V_i = 110V$ ;  $f = 40KHz$ ;  $L = 660\mu H$ ;  $C_o = 100\mu F$ ;  $V_o = 200V$ ;  $R_o = 350\Omega$ ;  $P_o = 114,3W$ ;  $R_s = 156,6\Omega$ ;  $C_s = 5,4nF$ ;  $X = 0,5xV_o = 100V$ .

A Fig. 8 apresenta os sinais de tensão nos terminais do interruptor (CH1) e corrente no indutor (CH2). É possível observar que o estresse de tensão neste caso foi mantido em cerca de 50V. A linearidade do sinal de corrente do indutor revela sua operação na região linear da curva de histerese magnética.

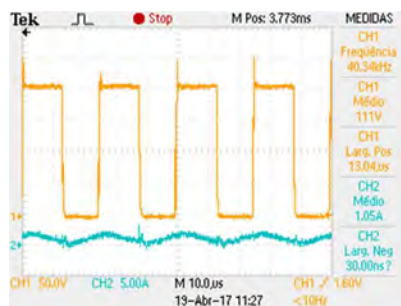


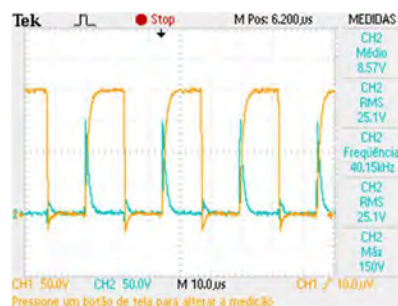
Fig. 8. Tensão nos terminais do interruptor (CH1) e corrente no indutor (CH2).

A Fig. 9 apresenta os resultados de tensão nos terminais do diodo principal (CH1) e corrente no indutor (CH2). Observe que o sinal de tensão do diodo principal é o oposto do sinal de tensão do interruptor.



Fig. 9. Tensão nos terminais do diodo (CH1) e corrente no indutor (CH2).

A Fig. 10 exibe o sinal de tensão nos terminais do capacitor (CH1) e tensão no resistor de *snubber* (CH2). Neste caso, a potência dissipada pelo resistor de *snubber* foi de 4,02 W. Cabe destacar a operação do circuito em modo de condução contínua, visto que, a etapa ressonante não está presente.

Fig. 10. Tensão nos terminais do capacitor (CH1) e do resistor (CH2) de *snubber*.

## V. CONCLUSÃO

A comparação entre os resultados teóricos e matemático, simulados e experimentais, permite validar com eficácia o estudo proposto nesse projeto. Importante ressaltar que quando o conversor opera abaixo da sua potência nominal, tanto o nível de estresse de tensão no interruptor quanto o nível de potência dissipada pelo circuito *snubber* são inferiores aos seus respectivos níveis relacionados à operação do conversor com potência nominal. Por fim, vale destacar a importância de um projeto criterioso para o indutor, pois só assim será possível garantir sua operação na região linear da curva de histerese de seu núcleo magnético. Algo imprescindível para o correto funcionamento do conversor *Boost CC/CC*.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CEFET-MG, FAPEMIG e CNPq pelo apoio financeiro durante a produção deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- [1] Filho, João Mamede. “*Instalações Elétricas Industriais*”. 8ª edição, Rio de Janeiro: Grupo Gen-LTC, 2010.
- [2] Mohan, Ned; Undeland, Tore M.; Robbins, William P. “*Power Electronics: Converters, Applications and design*”. 1ª edition, New York: J. Wiley, c1989. 667p.
- [3] Rashid, Muhammad H. “*Eletrônica de Potência: Circuitos, Dispositivos e Aplicações*”. 1ª edição, São Paulo: Makron Books do Brasil, c1999. 828p.
- [4] Vaz, Alexandre; Faria, Jonas. “*Projeto e Implementação de Kit Didático para Montagem de Conversores CC/CC Chaveados*”. Bic-Jr, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Nepomuceno, 2013.
- [5] Vaz, Alexandre; Santos, Ângelo. “*Projeto Otimizado de Circuito Snubber Dissipativo Aplicado a Conversores CC/CC*”. Bic-Jr, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Nepomuceno, 2015.
- [6] Lander, Cyril W. “*Eletrônica Industrial: teoria e aplicações*”. 4ª edição, São Paulo: Makron Books, 1996. 647p.
- [7] Vaz, Alexandre; Oliveira, Yan. “*Projeto Otimizado dos elementos de filtro e semicondutores do circuito de potência do conversor Boost CC/CC*”. Bic-Jr, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Nepomuceno, 2017.

# Automatização de Braço Robótico para Coleta em Corpos Hídricos com Contaminantes Nocivos a Saúde Humana

Jussiléa Gurjão de Figueiredo  
Faculdade Estácio de Belém  
jussileagf@hotmail.com

Louise Aimée Reis Guimarães  
Faculdade Estácio de Belém  
louise.guima@hotmail.com

Ylan Dahan Benoliel Silva  
Faculdade Estácio de Belém  
ylanbenoliel@gmail.com

**Abstract**—This work aims gather samples of effluents in water bodies, since they may present high concentrations of contaminants harmful to human health, due to the illegal dumping, as well as spill from the industries. Thus, a prototype device was developed, consisting of a robotic arm to perform the collection of water samples without the researchers coming into direct contact with the area. The material of the robotic arm consists of acrylic, in which servo motors are connected assisting in the movement of the arm's articulations, and to send commands the Wemos D1 Mini board is used. Therefore, it will be possible to assess the environmental impact levels of the observation sites and verify whether existing legislation, established by the National Environment Council of Brazil, as an environmental reference, is being applied.

**Index Terms**—Environmental Management, MeArm, Robotic arm, Wemos D1 Mini Board.

**Resumo**—Este trabalho visa realizar a coleta de efluentes em corpos hídricos, pois os mesmos podem apresentar altas taxas de concentração de contaminantes prejudiciais à saúde dos seres humanos, devido ao despejo ilegal, bem como derramamento advindo das indústrias. Desse modo, foi desenvolvido um protótipo de dispositivo, que consiste em um braço robótico para executar a coleta de amostras da água sem que os pesquisadores entrem em contato direto com o meio. O material do braço robótico é constituído de acrílico, nos quais servos motores estão conectados auxiliando na movimentação das articulações do braço, e para o envio dos comandos é utilizada a placa Wemos D1 Mini. Por conseguinte, será possível ponderar os níveis de impactos ambientais dos locais de observação e, assim, verificar se a legislação vigente, estabelecida pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) como forma de referência ambiental, está sendo aplicada.

**Palavras chave**—Braço robótico, Gestão Ambiental, MeArm, Placa Wemos D1 Mini.

## I. INTRODUÇÃO

O crescimento das zonas urbanas, desprovidas de uma infraestrutura adequadamente planejada e o avanço de indústrias em direção às áreas naturais, se viram cada vez mais às voltas com problemas relacionados à poluição, enfrentam questões associadas a destinação incorreta do

lixo orgânico e de dejetos, nas ruas e em esgotos a céu aberto, e terrenos sem qualquer tipo de preparação para o recebimento de rejeitos [1]. A poluição das águas pode ocorrer por meio de lançamento de despejos industriais provenientes das operações desenvolvidas nos diferentes processamentos industriais e a poluição por causa de esgotos domésticos, os quais resultam do uso da água para fins higiênicos, preparo de alimentos, lavagem de pisos e utensílios [2]. Tudo isto ocorre mesmo mediante as normas de proteção e preservação do meio ambiente, como a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 (Brasil, 1998), que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente [1].

Os efluentes, por exemplo, possuem características poluidoras como a presença de substâncias inorgânicas que podem afetar o equilíbrio de ecossistemas. Embora a maior parte seja tratada em estações de tratamento de esgotos (ETEs), um percentual considerável poderá ser despejado de forma irregular no meio ambiente, devido a fatores como tubulações danificadas, despejo ilegal por ação humana e a formação de esgotos a céu aberto.

A água poluída também pode trazer consigo patógenos e outros microrganismos que se desenvolvem com a decomposição da matéria orgânica presente no meio diluído, o que a torna perigosa para o contato direto do ser humano, quando há necessidade de realizar estudos no âmbito de análises laboratoriais de cargas orgânicas.

O derramamento de esgoto doméstico ou industrial em rios é considerado crime ambiental grave, como consequência há a mortalidade dos peixes e à proliferação excessiva de micro-organismos, ocasionando o desequilíbrio no ecossistema local.

Os procedimentos de coleta e metodologias padrões para análise de águas, devido à proximidade do ser humano com um ambiente possível contaminando, podem trazer riscos à saúde dos profissionais que realizam esse tipo de estudo.

O projeto visa no auxílio dos profissionais da área ambiental e analistas químicos em estudos relacionados à qualidade dos corpos hídricos com efluentes sem causar danos à saúde do especialista, possibilitando também a modernização da tarefa de coleta do material.

## II. DESENVOLVIMENTO E DEMONSTRAÇÃO DOS RESULTADOS

### A. Metodologia

O objetivo geral do projeto é o desenvolvimento do protótipo do braço robótico e estrutura de movimentação,

no qual auxiliará na coleta de amostras de corpos hídricos, e no emprego do atuador para automatização do processo. Em vista disso, o braço robótico poderá atuar em uma zona de convívio urbano, auxiliando o especialista na coleta de amostras para análise de parâmetros físico-químicos e microbiológicos, em que os principais parâmetros a serem analisados são: pH, condutividade, demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Oxigênio Dissolvido (OD) e coliformes termotolerantes.

O primeiro passo foi à pesquisa por demanda tecnológica existente para mecanismos de braços robóticos e um estudo aprofundado sobre as características que satisfaçam o objetivo do projeto. Com o avanço da demanda, foi realizada a compra das peças para a montagem do braço.

O segundo passo foi a fase de análise para avaliar qual seria a melhor forma de comunicação entre a estrutura do braço, com servos motores acoplados, e o computador. A comunicação com os servos motores, para realização do envio de comandos, ocorre por meio de portas PWM. Dessa forma, foi optado o módulo *wireless Wemos D1 Mini*, com 11 portas GPIO, incluindo interface SPI, protocolo de dados seriais síncronos utilizados em microcontroladores para comunicação com um ou mais periféricos, e conversor analógico digital. Nesta análise foram avaliadas as características do módulo de desenvolvimento, no qual foi aplicada no projeto, considerando alguns aspectos como velocidade de comunicação, facilidade de manipulação e de prototipificação.

Posteriormente, com a conclusão da atividade de montagem da estrutura do braço, incluindo a parte de comunicação, houve a verificação das medidas e possíveis ajustes do braço.

A idealização eletrônica do projeto começou com o estudo de componentes atuadores que exerceriam a função de movimentação do sistema proposto. Desta forma, o levantamento dos requisitos eletrônicos do projeto compreendeu as necessidades que o sistema demandava, como a fonte de alimentação para a placa *Wemos D1 Mini* e a tensão de entrada para funcionamento dos servos motores que atendam as especificações do mesmo.

Após a aquisição dos componentes eletrônicos, os servos motores, que atuam como reguladores de movimentos das articulações do braço robótico, foram alinhados com a estrutura mecânica e a placa *Wemos D1 Mini*, assim como a realização da calibragem no Laboratório de Automação, Controle e Robótica da Faculdade Estácio de Belém.

O desenvolvimento do *software* do projeto, por meio de um site estruturado em HTML, seguiu os passos da engenharia de *software*, considerando as etapas do ciclo de vida do *software*. As etapas a serem seguidas são: a análise e especificação de requisitos; projeto; implementação; teste; operação e manutenção.

Na primeira fase houve as especificações das tarefas. O resultado dessa análise descreveu as funcionalidades do *software*, dados e informações utilizadas, além dos resultados esperados.

Na segunda fase, ocorreu a definição das características do *software*: estruturas de dados necessárias e detalhes dos procedimentos. A terceira fase foi a codificação dos documentos das fases anteriores. Na fase de teste alguns pontos foram analisados: o desenvolvimento do produto está ocorrendo de maneira correta e se o produto está coerente com o esperado.

Na etapa de operação ocorre a utilização do *software* que aconteceu após a conclusão da primeira e segunda fase.

Na etapa de manutenção é onde ocorrem as possíveis alterações do *software* se existir erros ou adaptações no mesmo. O projeto baseia-se na modelagem por meio da prototipificação de uma estrutura que representará um sistema de atuação automatizada. Para atendimento da demanda, faz-se necessário o levantamento dos requisitos, como forma de assistência do desenvolvimento do protótipo.

### B. Braço Robótico MeArm

O projeto do braço robótico *MeArm* é uma iniciativa *open development* e *open hardware* [5]. Seus códigos e cortes de peças estão disponíveis na íntegra no *GitHub* do projeto, facilitando o acesso da comunidade ao mesmo.

Quando comparado a outros modelos de braços robóticos presentes no mercado, e muitos sendo *closed source*, sem a possibilidade de alterações nas peças, este protótipo apresenta fácil operabilidade.

Em vista disso, a opção de estrutura de braço *MeArm* foi a mais praticável dentro dos prazos e orçamento do projeto. Houve a necessidade de modelagem e duplicação de uma das peças do braço, pois a equipe responsável pela montagem notou a ausência da mesma. Para isso, com auxílio dos membros do Laboratório de Tecnologia Assistiva (LABTA), vinculado a Universidade do Estado do Pará (UEPA), obteve-se a peça desejada a partir da utilização de peças de policloreto de vinila (PVC) tubular, que são aquecidas em fogo, de modo que fiquem dispostas na forma de placa, técnica conhecida como Técnica de Rodrigues. Então, desenha-se o formato da peça desejada e a coloca no esmeril, ferramenta utilizada para correções na proporção da peça.

A peça duplicada ganha destaque no braço estruturado (Fig.1), seguindo as mesmas proporções do projeto. Assim, na primeira parte da montagem do braço (Fig.2), o envio de comandos e alimentação dos servos motores era realizado por meio do microcontrolador *open source* e *open hardware* Arduino Uno. Entretanto, os envios de dados e instruções do Arduino para os servos são de modo serial, não satisfazendo os requisitos obrigatórios do projeto, no qual há necessidade da utilização de protocolos de rede.



Fig. 1. Braço estruturado com a peça duplicada.



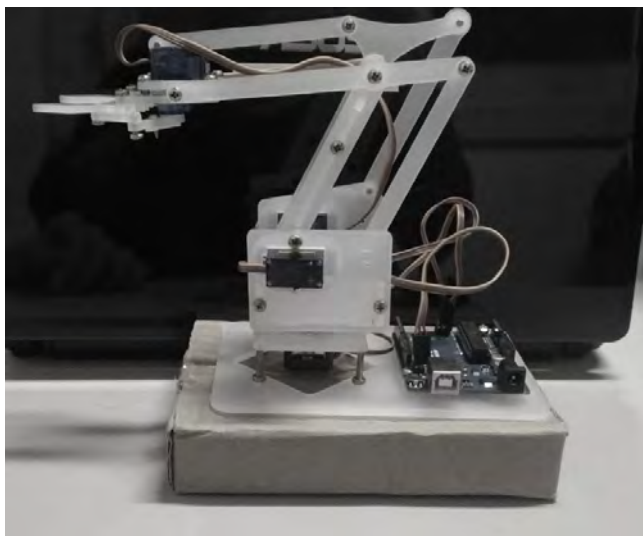


Fig. 2. Primeira montagem do braço robótico.

Dando continuidade à montagem da estrutura do braço, a segunda parte constituiu na substituição do microcontrolador Arduino pela placa *Wemos D1 Mini*, na qual realiza a comunicação *wireless* entre a estrutura do braço robótico com computadores, pois esta placa possui o chip *Wi-Fi ESP8266EX*. Na figura 3, identifica-se a nova ligação entre a placa *Wemos D1 Mini* com servos acoplados no braço.

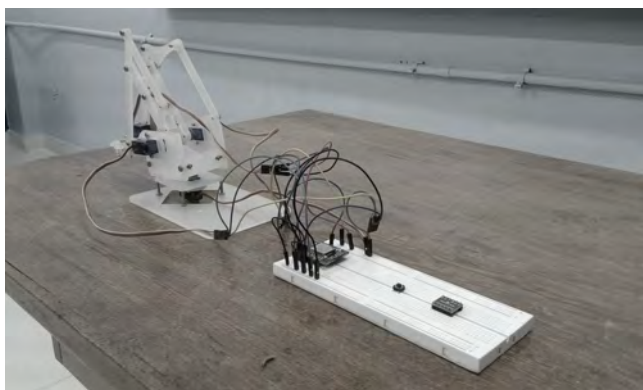


Fig. 3. Placa *Wemos D1 Mini* conectada ao braço.

### C. Site em HTML

A partir o desenvolvimento do projeto, notou-se a necessidade da estruturação dos resultados, bem como o controle do braço robótico, em uma plataforma disponível para comunidade. Com a finalidade das disposições dos dados e envio de comandos para o braço, foi optado por utilizar-se de uma estrutura em *HyperText Markup Language* (HTML).

A linguagem HTML é considerada uma linguagem de marcação, pois é formada por textos e códigos especiais conhecidos como marcas ou *tags*. Esses comandos indicam partes da página e também produzem diferentes efeitos no navegador [4].

A fim de haver o desenvolvimento visual da estrutura em HTML foi necessária a utilização do *Cascading Style Sheets* (CSS). *Cascading Style Sheets* é a linguagem voltada para a criação de folhas de estilo, ou seja, para o conjunto de regras responsáveis pela aparência de um site [4]. O CSS descreve como o HTML deverá dispor os seus elementos na tela ou em outras mídias. Também é usado na definição do estilo das páginas *web*, incluindo o *design*, *layout* e

variações no *display* para diversos formatos e tamanhos de telas [5].

Desse modo, o emprego de HTML com CSS foi alternativa viável junto aos prazos do cronograma do projeto, haja vista que a linguagem possibilita fácil manipulação de *tags*, uma vasta comunidade com bibliotecas *open source* e não há necessidade de um ambiente de desenvolvimento integrado.

Em vista disso, foi manipulada uma biblioteca *open source* para HTML com CSS, disponível na *CodePen*, visando uma melhor inserção e disposição das informações. Os ícones que são utilizados para compor a estrutura do HTML foram retirados de uma base de ícones livres, por meio da ferramenta *FlatIcon*.

Na figura 4, observa-se a tela inicial do projeto, que poderá conter uma mensagem de boas vindas ao ambiente.

Todos os ícones vetorizados do site do projeto são de repositórios *online* grátis.

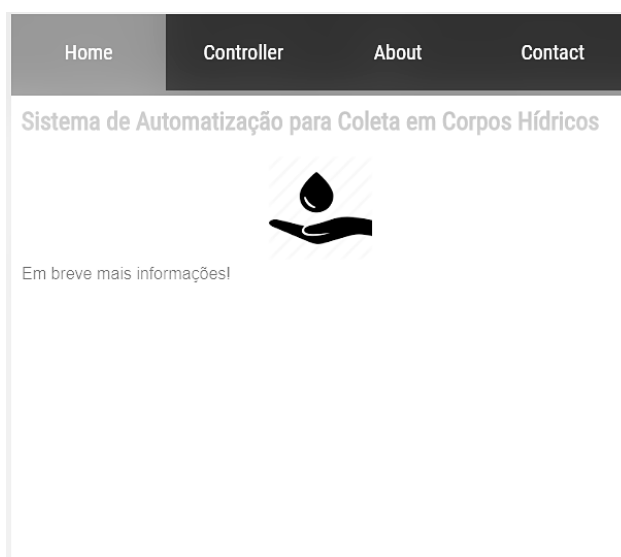


Fig. 4. Disposição da tela inicial.

Objetivando apresentar as propostas do sistema, na figura 5 é retratada a aba de conteúdo sinalizado como “Sobre”, onde o usuário poderá ter ciência das informações acerca do projeto. Na tela da figura 5, observa-se também o ícone de uma câmera fotográfica, na qual sinaliza ao usuário a galeria de fotos do projeto



Fig. 5. Aba de conteúdo sobre o projeto.



Quando o ícone é pressionado, automaticamente o usuário é redirecionado a página da galeria (Fig. 6).

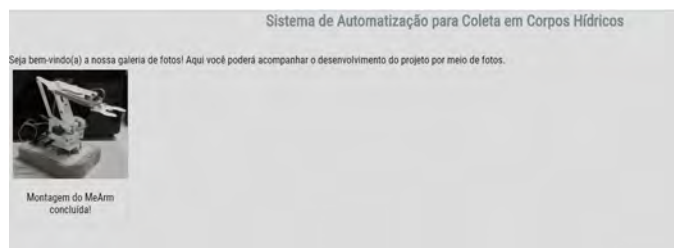


Fig. 6. Pré-visualização da galeria de fotos.

Na figura 7 é vinculada os dados disponibilizados para a comunidade entrar em contato com os membros da equipe do projeto, via *e-mail* ou telefone, em casos de dúvidas, colaborações e outras informações.

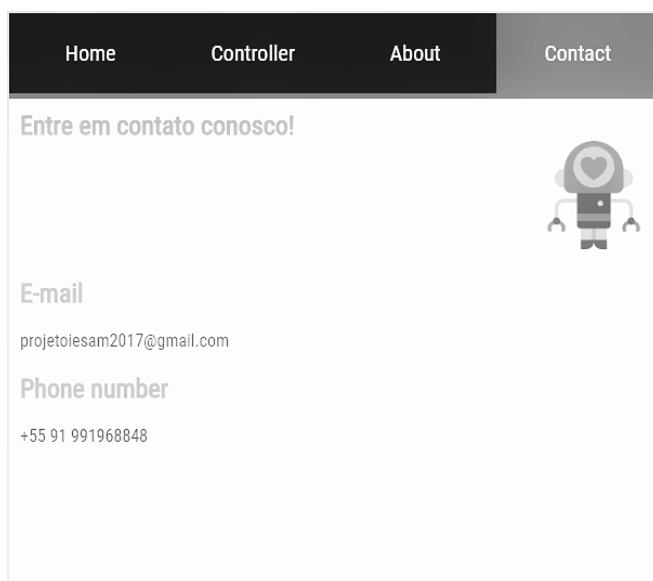


Fig. 7. Estruturação da tela de contato com informações da equipe.

#### D. Placa Wemos D1 Mini

O projeto interdisciplinar do braço robótico desenvolvido na Faculdade Estácio de Belém, vinculado ao curso de engenharia de computação, possui como requisito obrigatório o tópico de redes. Logo, a comunicação dentro do projeto deveria possuir a geração de protocolos de comunicação em rede.

Por conseguinte, houve a definição da utilização da placa *Wemos D1 Mini* (Fig. 8), indicada para utilização em projetos de *IoT* (internet das coisas) e desenvolvimento de projetos eletrônicos em geral, contando com o chip *WiFi ESP8266EX* [6].

Haja vista que a placa de desenvolvimento *Wemos D1 Mini* utiliza-se de um chip *Wi-Fi*, o protocolo que é gerado na comunicação neste projeto é o padrão IEEE 802.11n.

O protocolo IEEE 802.n faz parte do conjunto de protocolos utilizados nas Redes *Wi-Fi*, ou seja, nas redes sem fio, que têm sido utilizadas para atender as necessidades das redes locais, tanto no âmbito residencial como no corporativo de pequeno, médio e grande porte [7].

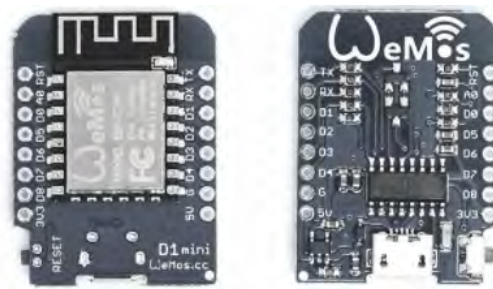


Fig. 8. Placa de desenvolvimento Wemos D1 Mini.

#### E. Comunicação no sistema

Na estruturação do projeto do braço robótico, os servos motores são os agentes reguladores dos movimentos das articulações. Assim, há necessidade de um módulo atuador, no qual enviará informações de controle aos servos motores. Visando alcançar o melhor desempenho de comunicação, foram analisadas opções de *shields* para o microcontrolador Arduino, extensões e módulos de desenvolvimento. Considerando alguns aspectos como performance de comunicação, facilidade de manuseio e de prototipificação, optou-se pelo uso do módulo *Wemos D1 Mini*.

O seu tipo de comunicação gera protocolos padrão IEEE para redes *wireless*, pois o módulo *Wemos D1 Mini* contém um chip *Wi-Fi*. Sendo assim, o módulo necessita estar conectado a uma rede sem fios através de um roteador para o envio de dados.

Na segunda fase de testes com os servos motores, o módulo *Wemos D1 Mini* foi integrado ao projeto, havendo a necessidade do código *Wiring*, utilizado na IDE do Arduino, estar sincronizado com a biblioteca do módulo, disponível no *GitHub*.

Uma interface HTML (Fig.9) foi desenvolvida para ser utilizada no envio de comandos para os servos motores por meio do módulo.

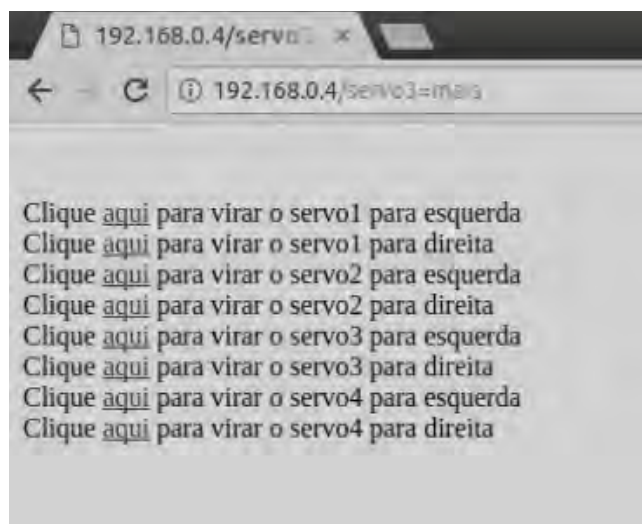


Fig. 9. Layout da página de envio de comandos.

### III. CONCLUSÕES

Com o aumento das regiões urbanas brasileiras e áreas conhecidas como “invasões”, na qual sua grande maioria não possuem sistemas de tratamento de esgoto necessário, podendo haver o despejo direto em rios e canais, houve um aumento considerável da poluição destes mananciais. Centros de pesquisas de universidades e empresas

particulares realizam estudos do nível da contaminação nessas regiões de risco.

Os profissionais da área biológica e ambiental, que realizam procedimentos de coletas em corpos hídricos, seguem apenas um protocolo padrão para a instrumentação dos utensílios de pesquisa, normalmente havendo o contato direto com o local de estudo contaminado.

O projeto proposto neste artigo, por meio do emprego da prototipação, foi o desenvolvimento de um modelo de braço robótico que auxiliará profissionais que realizam pesquisas em corpos hídricos contaminados. Para a estrutura do braço utilizou-se o modelo *open source MeArm*. Os servos motores acoplados no braço foram integrados com a plataforma desenvolvimento *Wemos D1 Mini*, essa plataforma realiza comunicação *wireless, WiFi*, com o protocolo IEEE 802.11n.

Os testes que foram realizados no braço estão relacionados ao desempenho da movimentação. A latência está associada com a velocidade de conexão da rede *Wi-Fi*, na qual o menor tempo de resposta deverá ser diretamente proporcional a uma qualidade melhor da velocidade. Consequentemente, foi averiguado se os comandos endereçados para a plataforma *Wemos D1 Mini* correspondiam com as instruções enviadas pela página *web*. O erro do movimento foi de aproximadamente 5 segundos.

Em relação os testes da bateria, foram feitos com um conjunto de pilhas para verificar se era possível utilizá-las como fonte de alimentação, criando uma possibilidade de fonte e atendendo o requisito portabilidade para o protótipo.

O projeto possui propostas para melhoramentos futuros, como novas calibrações da estrutura, visando diminuir o erro do movimento e a elaboração de uma estrutura similar a um barco que será utilizado para o auxílio do deslocamento da estrutura em rios e canais para pesquisas de campo. Desta maneira, com o avanço das pesquisas de campo, será necessário o desenvolvimento de um banco de dados, o qual armazenará os parâmetros físico-químicos e microbiológicos definidos na metodologia do projeto. Os componentes do braço poderão ser substituídos completamente por peças confeccionadas em PVC tubular, processo explicado no tópico B deste artigo, tornando o braço mais resistente devido à qualidade dos materiais utilizados.

## REFERÊNCIAS

- [1] A. M. R. Galdino, *Introdução ao estudo da poluição dos ecossistemas*. Curitiba: InterSaber, 2015.
- [2] J. C. Derisio, *Introdução ao controle de poluição ambiental*. São Paulo: Oficina de Textos, 2012, pp. 28.
- [3] Pocket Sized Robot Arm meARM V0.4. Disponível: <http://www.instructables.com/id/Pocket-Sized-Robot-Arm-meArmV04/>
- [4] V. S. Segurado, *Projeto de interface com o usuário*. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015.
- [5] CSS Introduction. Disponível: [https://www.w3schools.com/css/css\\_intro.asp](https://www.w3schools.com/css/css_intro.asp)
- [6] Placa Wemos D1 Mini Pro WiFi ESP8266. Disponível: <https://www.filipeflop.com/produto/placa-wemos-d1-mini-pro-wifesp8266/>
- [7] Redes Wi-Fi: O Padrão IEEE 802.11n. Disponível: <http://www.teleco.com.br/pdfs/tutorialwifiieee.pdf>

# Mobilidade Auxiliada por Sensores de Movimento

Christian Vitor Vilas Boas  
Universidade Braz Cubas - UBC  
christianvitor@hotmail.com

Isaias Marrane Rosa  
Universidade Braz Cubas - UBC  
isaiasmarrane@yahoo.com

Renan Bastos dos Santos  
Universidade Braz Cubas - UBC  
renan.engenharia2012@gmail.com

**Abstract** – The purpose of this project is to associate technology and the need of people with motor disabilities. This initiative has been developed since 2016, as assistive technology, it consists of a conceptual prototype of a wheelchair, motorized driven by distance sensor and a battery, able to move back and forth only by the movement of the head of the user, in the making of this prototype were used quality components, resistant, simple low cost, resulting in a chair that moves forward and back according to movement of the user's head.

**Keywords** - assistive technology, motion sensor, mobility, motor deficiency.

**Resumo** – O presente projeto tem por finalidade associar tecnologia e necessidade de pessoas com deficiência motora. Essa iniciativa vem sendo desenvolvida desde 2016, com tecnologia assistiva, foi possível construir um protótipo conceitual de uma cadeira de rodas, onde é acoplado um motor acionado por sensor de distancia e alimentado por uma bateria, capaz de se deslocar para frente e para trás somente pelo movimento da cabeça do usuário, para confecção deste protótipo foram utilizados componentes de qualidade, resistentes, simples e de baixo custo.

**Palavras chave** - tecnologia assistiva, sensor de movimento, mobilidade, deficiência motora.

## I. INTRODUÇÃO

(A tecnologia tem sido eficaz no desenvolvimento de aplicativos úteis, que auxiliam as pessoas em situações diversas, quando se trata de pessoas com deficiência, não poderia ser diferente[5]).

(Em uma pesquisa do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), o número de pessoas com deficiência no país é de 743.421, sendo 342.527 homens e 391.894 mulheres. Entre os homens, a idade com maior incidência é dos 15 aos 64 anos, com 161.545 pessoas, já entre as mulheres a idade com maior incidência é a partir dos 65 anos, com 199.988 pessoas[2]).

Dentre tanta tecnologia utilizada para melhorar a qualidade de vida das pessoas, é possível incluir nesse processo aqueles indivíduos que têm algum tipo de deficiência motora, para isso, é necessário ampliar essa forma de tecnologia e assim, proporcionar a eles independência na sua mobilidade ao realizar tarefas rotineira, não havendo tanta necessidade do auxílio de terceiros. Pode-se perceber na tabela a seguir (TABELA I) o quanto é crescente a discussão deste assunto em revistas e artigos científicos.

TABELA I  
ARTIGOS CIENTIFICOS

Ano	Quantidade
2017	357
2016	312
2015	878
2014	656
2013	511

De forma a serem amparadas as necessidades de mobilidade dessas pessoas, o projeto apresentado utiliza recursos eletroeletrônicos, com sensores e programação, fazendo a leitura dos movimentos do corpo do usuário, assim, a cadeira adaptada pode replicar tais movimentos, facilitando sua acessibilidade, ampliando sua expectativa e qualidade de vida.

## II. CONTROLADOR DE MOVIMENTO

O sensor de movimento HC-SR04, permite que se realize a leitura de distâncias entre 2 e 400 cm, pode ser utilizado tanto para medir distância entre o sensor e o objeto, quanto para acionar portas de um micro controlador.

(Seu funcionamento se baseia no envio de sinais de alta precisão, que aguarda o retorno com base no tempo, utiliza sonar para determinar a distância de um objeto, seu pulso é de 8x40khz [4]). Oferecendo uma excelente detecção do objeto, com precisão de leituras estáveis. Neste sensor, encontra-se uma fonte de

alimentação de 5V DC e uma corrente de 2mA, em atividade de 15mA, a área de detecção é um formato de cone com 30 graus.

Abaixo, segue gráfico (Fig. 1.), mostrando como se comportam as ondas de ultrassom, que fazem contato com o objeto, e de acordo com o tempo de retorno, faz o cálculo da distância, está sendo exemplificado de forma senoidal com amplitude (A) que significa o tamanho da onda e o seu deslocamento no espaço.

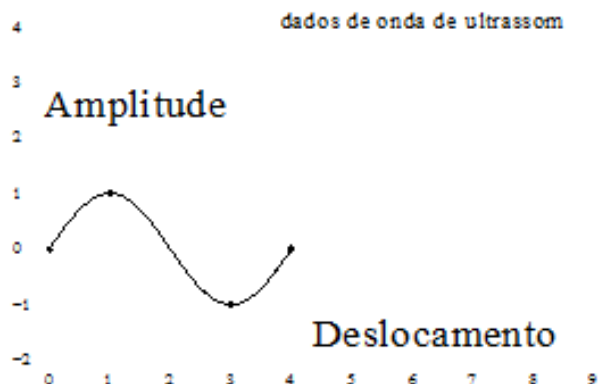


Fig.1. - Exemplificação de ondas senoidal com amplitude em função do deslocamento.

### III. METODOLOGIA

O protótipo é dividido em dois componentes: a cadeira de rodas e o sistema eletrônico. Na cadeira temos: dois motores elétricos e um sensor de movimento HC-SR04. No sistema eletrônico temos: uma placa que utiliza um circuito eletrônico programado em linguagem C para interpretar os sinais recebidos do sensor, uma bateria 12V, uma placa ponte H 298n. A seguir imagens (Fig. 2 e Fig. 3) demonstram as medidas da cadeira utilizada e a imagem (Fig. 4) demonstra o funcionamento do sensor.

### IV. PROTÓTIPO

(O funcionamento do protótipo se dá por dois motores controlados por meio da placa ponte H, junto à programação em linguagem C do circuito eletrônico. Este circuito transmite a informação (movimento realizado pelo usuário), sendo a HC06 que recebe o comando e a HC05 que envia o comando, repassando a ordem para a ponte H. O início do comando de movimentação é enviado por um sensor HC-SR04 coordenando o movimento da cadeira para frente e para trás [3]).

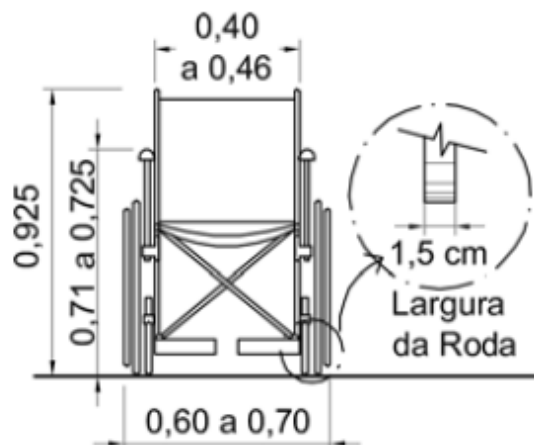


Fig. 2. - Vista frontal do protótipo

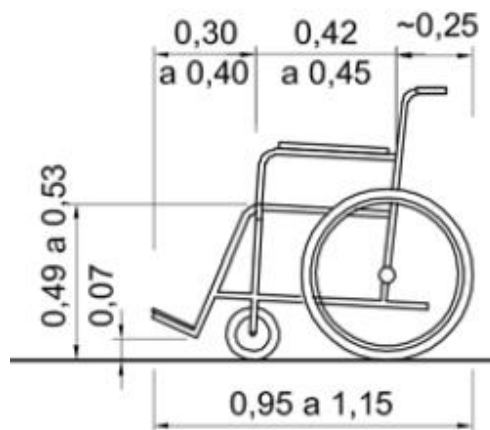


Fig. 3. - Vista lateral do protótipo

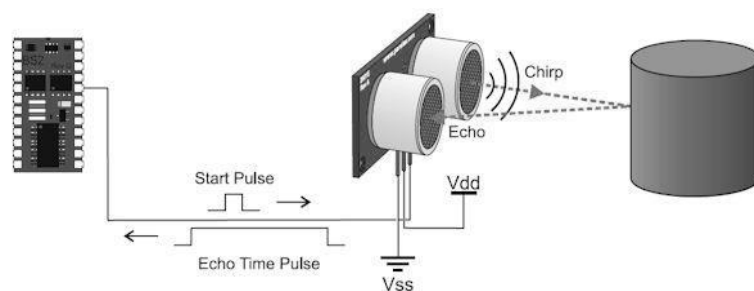


Fig. 4. - Demonstrativo de conceito de funcionamento do sensor de movimento.

### V. RESULTADOS

Após a realização de diversos testes, pode-se concluir que a cadeira anda a 2 km/h, respondendo a um comando de seus sensores de movimento, através de uma leitura, que faz a medição da seguinte forma: com aproximação do sensor na área de 0 cm a 15 cm faz movimento para trás, de 15.1 cm a 19.99 cm fica inerte e de 20 cm a 35 cm faz o movimento para frente.

## VI. CONCLUSÃO

De acordo com o conteúdo apresentado neste projeto, é possível perceber que além de possibilitar e facilitar a acessibilidade de pessoas com deficiência motora em suas atividades diárias, o protótipo pode trazer vários outros benefícios para a vida de seu usuário, tais como: melhora na circulação sanguínea em membros periféricos, melhora na digestão e respiração. Por não ficar sempre na mesma posição, previne uma das maiores causas de amputações em deficientes motores, a úlcera por pressão.

Sendo um projeto de baixo custo, o objetivo é deixar de fácil acesso a todas as pessoas, buscando uma alternativa para melhorar sua qualidade de vida e estimular a criação de futuros projetos que também auxiliem aos mais necessitados.

## REFERÊNCIAS

- [1] ABNT NBR ISO 7176. **Cadeira de Rodas**. Rio de Janeiro, 2009.
- [2] IBGE Censo Demográfico 2010. **Características gerais da população, religião e pessoas com deficiência**. Brasil, 2010
- [3] KATSUHIKO, O. **Engenharia de Controle Moderno** - Editora: Prentice Hall. 4ª Edição 2003.
- [4] MELGAR, E. R.; DIEZ, C. C. **Arduino and Kinect Projects** – Editora: Apress. 1ª Edição 2012.
- [5] SARTORETTO, M. L. e BERSCH, R. **Assistiva Tecnologia e Educação**. Disponível em: <http://www.assistiva.com.br/tassistiva.html>. Acesso em: 22 agosto 2017.
- [6] SMIDT, A. C. G. **Implementação de uma plataforma robótica controlada remotamente**. SÃO CARLOS, 2013.

# Tecnologia Adaptativa em Aparelhos Domésticos

Edson Minoru Yamazaki  
Universidade Braz Cubas – UBC  
minoru.rhcp@gmail.com

Hernani Bernardo Marques  
Universidade Braz Cubas – UBC  
hernanibmarques@hotmail.com

Henrique Junji Shirakawa  
Universidade Braz Cubas – UBC  
henrique.junji@gmail.com

Prof. Orientador: Dr. Antonio C. C. Migliano  
Universidade Braz Cubas – UBC  
antonio.migliano@brazcubas.br

**Abstract** — Nowadays, many blind people do not have the mastery of Braille reading, and this is detrimental to simple daily activities dealing. That's why a technology was developed that helps people through sounds, which will make it easier to perform their tasks. The prototype created was a matrix keyboard with touch sensors, adapted to a microwave for domestic use. In the prototype, there is an 8-bit microcontroller responsible for managing all devices connected to it, examples: sensor board; SD card holder; amplification circuit. During development, some early technologies were changed, a form adopted by the continuous improvement group, thus obtaining a better performance in the final prototype. Function tests were performed on the "START", "CANCEL" and numeric keypad commands. There was no complication in the audio feedback of the prototype. This technology has shown good results, it is planned to expand this technology to other devices or to new applications.

**Index Terms** — Adaptive Technology, Control and Automation, Sensors.

**Resumo** — Atualmente, muitos deficientes visuais não têm o domínio da leitura Braille, o que acaba prejudicando-os em simples atividades cotidianas. Desta forma, foi desenvolvida uma tecnologia que auxilia pessoas por meio de sons, que facilitará executar suas tarefas. O protótipo criado foi um teclado matricial com sensores sensíveis ao toque, adaptado a um micro-ondas de uso doméstico. No projeto, há um microcontrolador de 8 bits responsável de gerenciar todos os dispositivos conectados a ele, como: placa de sensores; placa do cartão SD; circuito de amplificação de sinais. Durante o tempo de desenvolvimento, foram alteradas algumas tecnologias iniciais, obtendo assim um melhor desempenho no protótipo final. Testes de funcionalidade foram realizados nos comandos de "INICIAR", "CANCELAR" e teclado numérico. Não foram observadas falhas de acionamento no retorno de áudio do protótipo. Como essa tecnologia apresentou bons resultados, pretende-se expandir essa tecnologia a outros aparelhos ou até mesmo em novas aplicações.

**Palavras-chave:** Controle e Automação, Tecnologia Adaptativa, Sensores.

## I. INTRODUÇÃO

O ambiente de ensino no País, historicamente, tem mudado de uma perspectiva de tratamento segregado, para o ambiente que favorece a inclusão dos alunos com necessidades especiais. Neste contexto, espera-se que os alunos com algum tipo de necessidade especial participem das várias atividades escolares como qualquer outro, como o uso da Tecnologia da Informação (TI) nas escolas. Mas para deficientes visuais, o acesso a essa tecnologia acaba sendo limitado, tanto seus recursos quanto à adaptação, sempre necessitando de auxílio para executar determinadas funções que são consideradas simples.

Este trabalho tem sua origem no estudo e pesquisa em recursos à acessibilidade em aparelhos domésticos para pessoas com necessidades especiais e a motivação advém justamente dessa constatação, visando propor um modelo de interação entre a máquina e deficiente visual.

À princípio, a intenção era criar um teclado para computador que fosse de simples utilização e de fácil manuseio, mas durante o seu desenvolvimento, foi encontrado uma maior demanda em "objetos cotidianos".

Atualmente, existe muita carência dessa tecnologia nos aparelhos domésticos e há pouquíssimos produtos no mercado que atendam essa demanda. Hoje são encontrados produtos um tanto quanto limitados a algumas funções, ou têm apenas um relevo nos botões e nada muito sofisticado. O que muitos questionam é: "um deficiente visual tem condições de morar sozinho?", "por que existem tão poucos equipamentos no mercado?", "por que depender da visão para operar um aparelho de som?". Utilizando-se desse questionamento, foi elaborado um teclado especial interativo para micro-ondas, oferecendo ao usuário uma experiência nova e diferenciada, fazendo com que o mesmo torne-se independente, sem necessidade de conhecer o alfabeto por tato (BRAILLE), pois com um simples toque no botão é emitido um sinal sonoro indicando qual tecla está sendo pressionada. Para esse projeto foram utilizadas 12 teclas, sendo os numerais de 0 à 9, tecla "iniciar" e tecla "cancelar".

Considerando este princípio, a aplicação pode ser ampliada a outros equipamentos como: telefones; elevadores; e outros aparelhos eletrodomésticos.



## II. TEORIA

No Brasil 23,9% da população declaram possuir algum tipo de deficiência, dentre elas a mais comum é a deficiência visual, atingindo 3,5% dos brasileiros, dados referentes a pessoas cadastradas como portadoras de deficiência visual pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) no ano de 2015. Uma grande dificuldade apresentada pela maioria dos deficientes visuais, em relação à acessibilidade e tecnologia, é a falta de disponibilidade de materiais, livros, artigos sem *audiobook*. Outra reclamação são os banners gráficos de propaganda que aparecem em sites e atrapalham softwares geradores de áudios. A jornalista Elizabet [1] confirma essas dificuldades apresentadas e acrescenta que para todos esses problemas existem leis implantadas para ajudar o deficiente visual. Por fim, a autora conclui que a tecnologia no mundo avança rapidamente e acaba havendo um atraso na interação homem e máquina para as pessoas portadoras de deficiência visual, que ainda dependem de um sistema criado em 1825 [2]. Há estudos realizados em teclados que possuem vibrações em determinadas teclas, que com o uso frequente deste teclado uma pessoa sem visão pode localizar teclas sem dificuldades. Porém esse tipo de tecnologia é relativamente cara e requer um entendimento e estudo antecipado para seu manuseio. Uma pessoa que nunca utilizou e desconhece as instruções contidas no manual do usuário, teria muita dificuldade na adaptação e não iria operar corretamente.

O projeto que será apresentado solucionará esse problema, independente do estudo da linguagem Braille ou do estudo de uma arquitetura fechada que tenha uma linguagem específica. Estudando o funcionamento dos sensores de toque, foi entendido que o mais adequado para esta aplicação é o sensor de toque capacitivo. De acordo com [3], o sensor detecta uma alteração em seu campo eletrostático, causada pelo toque de objetos não metálicos, gerando uma tensão de saída (fig.1).



Fig. 1. Fluxograma genérico do sensor capacitivo utilizado no projeto.

Outra etapa importante para o projeto foi a escolha do microcontrolador. O escolhido faz parte da família de microcontroladores de 8 bits, bastante conhecida e lançada pela ATMELO® que possui 23 I/O (Input/Output), memória Flash de 32KB, memória SRAM 2KB, EPROM de 1KB e tensão de alimentação de 5V com tecnologia CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) baseada na arquitetura AVR (não tem nenhum acrônimo e não tem

nenhum significado especial). Este microcontrolador possui bom desempenho, alcançando 1 MIPS/MHz (1 milhão de instruções por segundo por Mega Hertz) possibilitando assim combinar velocidade de processamento em função do consumo de potência, otimizando o projeto final. Esse controlador permite desde simples operações, como um piscar de leds, ou até mesmo controles mais sofisticados como controle via rede, robôs, entre outros.

## III. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do teclado adaptativo, primeiramente foi estudado que tipo de sensor que seria utilizado no projeto. Para o primeiro protótipo utilizou-se um sensor de funcionamento simples, a base de transistor e resistores (fig. 2). Esse sensor tem o princípio de funcionamento semelhante a um interruptor e para o primeiro protótipo o sensor se atendeu bem as necessidades do mesmo, mas requeria um pouco mais de sensibilidade nos terminais de contato.

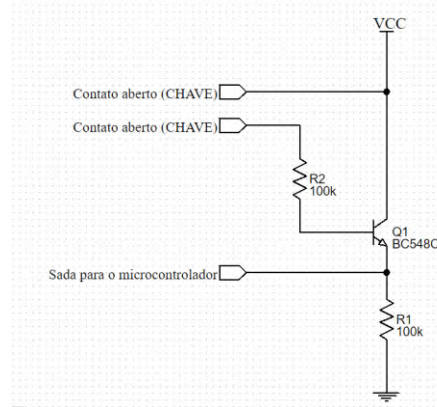


Fig. 2. Sensor de toque simples com transistor e resistores.

Para melhorar a sensibilidade dos terminais, buscou-se novas tecnologias, e a que obteve melhor desempenho e melhor compatibilidade com o sistema foi o sensor capacitivo. Esse sensor foi incorporado em cada tecla por meio de filamentos de cobre autocolantes, geralmente usado em instrumentos musicais, que ao simples toque gera um sinal a ser processado. Como cada sinal do sensor requeria uma entrada do microcontrolador, a opção mais viável para o projeto foi a utilização de um sistema de multiplexação de sinais, com isso a quantidade de sensores utilizados no projeto triplicou, ou seja, houve uma redução do circuito do projeto e um aumento de sensores.

O microcontrolador utilizado no projeto é um controlador de 8 bits da ATMELO®, que é de fácil utilização e se adequou bem tanto ao sistema de multiplexação de sinais quanto a utilização de cartão SD. Para programa-lo utilizou-se a linguagem de programação C via IDE (*Integrated Development Environment*, ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado) [4]. Com isso foi possível alocar simples instruções de comando. Todos os sinais do teclado numérico são multiplexados e enviados ao sistema principal do protótipo por meio da porta AD/DA do microcontrolador. Toda essa informação é processada e dependendo da programação estabelecida é

gerada uma rotina de busca de dados de áudio armazenados no cartão SD. Cada áudio contido no cartão SD tem duração de aproximadamente 3 segundos e média de 50kB por arquivo ou seja em um cartão de 1GB por exemplo podem ser armazenados cerca de 20.000 desse arquivo, ou seja em 1GB de memória do cartão SD é possível armazenar cerca de 20.000 áudios/instruções diferentes.

Assim que o microcontrolador fez toda a rotina de busca de informação no cartão SD é gerado uma variação de tensão (entre 2 ~ 4,5 volts) em uma das saídas. Essa variação de tensão é transformada e amplificada gerando o áudio correspondente a tecla pressionada.

A figura 3 representa um diagrama funcional do projeto.

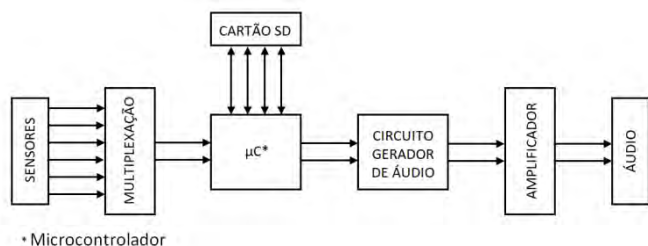


Fig. 3. – Diagrama funcional do projeto.

#### IV. RESULTADOS

Para criar um projeto voltado à deficientes visuais, foi proposto várias tecnologias com a utilização de áudio. A que foi integrada ao projeto foi a utilização de um controlador e um cartão SD para a armazenagem dos áudios a serem utilizados. Houve dificuldade para o primeiro protótipo, pois não há muitos artigos que mencionam o uso de cartão SD. “Para gerar um arquivo audível, o arquivo inicial (mp3, wma ou qualquer outro tipo) deve ser convertido para extensão “.wav” assim o microcontrolador consegue entender e processar o arquivo.

Em relação ao uso do sensor, a primeira tecnologia usada para seu desenvolvimento apresentou-se satisfatória, usando a eletrônica analógica, com o uso de transistor e resistores conseguiu-se obter um sensor simples e eficiente, mas esse tipo de sensor deixou o projeto limitado quanto às entradas do controlador. Para solucionar esse problema foi utilizado um sensor capacitivo e um sistema de multiplexação, o que triplicou o número de botões. Usando esse sistema de multiplexação, reduziu-se o número de entradas digitais e utilizou-se as entradas analógica do microcontrolador, tornando o projeto mais compacto.

Nos primeiro projeto houve uma dificuldade em reproduzir áudios de qualidade, apresentando ruídos e volume de saída bem baixo, como melhoria no último protótipo utilizou-se software para tratamento do áudio e um amplificador apresentando uma qualidade melhor e um volume de saída mais alto.

#### V. CONCLUSÃO

Com resultados positivos obtidos nesse protótipo, fica comprovado que o uso de tecnologias de baixo custo torna-se

uma alternativa viável para a criação de produtos voltados aos portadores de alguma limitação visual.

Grandes empresas fabricante de equipamentos eletrodomésticos focam na grande massa da população, esquecendo que quase 5,4 milhões de brasileiros possui alguma deficiência visual. Esse número é muito expressivo para ser ignorado, se uma dessas empresas, criasse uma linha de equipamento nesse segmento, não teria nenhuma concorrência.

#### VI. REFERÊNCIAS

- [1] DIAS DE SÁ, Elizabeth – *acessibilidade: as pessoas cegas no itinerário da cidadania* - Instituto Benjamin Constant, 2012.
- [2] DUTRA, Claudia Pereira. *Parecer sobre a grafia da palavra “braille”*. **Benjamin Constant**, Rio de Janeiro, ano 11, nº 31, agosto 2005, p. 27.
- [3] TERGOLINA, Rogerio Lamper. *Automação e Controle – apresentação aula 03 sensores Industriais*, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, ano 2015, p. 9.
- [4] Klein dos Santos, Alexandro. *Os IDE's (Ambientes de Desenvolvimento Integrado) como ferramentas de trabalho em informática*. Universidade Federal de Santa Maria. 2016.

# Acionamento remoto de equipamentos via comando de voz

Rafaela Braga Moreira  
Inatel  
rafaelabraga@gea.inatel.br

Micael Lucas Rezende de Souza  
Inatel  
micaellucas@gea.inatel.br

Daniel Luiz Lopes Magri  
Inatel  
danielluiz@gec.inatel.br

Carlos Alberto Ynoguti  
Inatel  
ynoguti@inatel.br

**Abstract**—This document describes the characteristics, development and functionality of the project. Activating equipments by voice command. This system has as fundamental pieces the IoT (Internet of Things) technology and the concept of Domotics.

**Index Terms**—Voice Command, Internet of Things, MQTT Protocol.

**Resumo**—Este documento descreve as características, desenvolvimento e funcionalidade do projeto Acionamento remoto de equipamentos via comando de voz. Esse sistema tem como peças fundamentais a tecnologia IoT (Internet of Things) e o conceito de Domótica.

**Palavras chave**—Comando de voz, Internet das Coisas, Domótica.

## I. INTRODUÇÃO

Recentemente, estudam-se diversos avanços tecnológicos em busca de maior segurança e conforto para residências. Sistemas automatizados capazes de realizar a comunicação entre o residente e os equipamentos de sua casa estão sendo aperfeiçoados e modernizados, a fim de que proporcione, assim como os tópicos já citados, maior economia para o usuário. O termo Domótica resulta da junção da palavra domus (casa) com robótica (controle automatizado de algo). É este último elemento que rentabiliza o sistema, simplificando a vida diária das pessoas, satisfazendo as suas necessidades de comunicação, de conforto e segurança. [?]

Além de conforto, modernidade e até mesmo entretenimento, a Automação Residencial, assim também conhecida, consegue prover acessibilidade a diversos usuários com alguma deficiência de habilidades técnicas, físicas ou cognitivas (de percepção, memória ou raciocínio), tais como idosos e portadores de necessidades especiais. Isso significa adaptar o acesso à utilização das instalações residenciais a pessoas com limitações físicas temporárias ou permanentes [?], ou seja, torná-las independentes em algumas ações comuns do cotidiano, como por exemplo, acender ou apagar uma lâmpada sem a ajuda de alguma outra pessoa.

O projeto a ser descrito neste artigo tem como fundamento principal o conceito de Automação Residencial unido ao de

IoT (Internet of Things) e seu objetivo é prover ao usuário a habilidade de acionar remotamente equipamentos elétricos comuns no dia-a-dia, como por exemplo, lâmpadas e ar condicionado, via comando de voz.

O conceito de IoT citado anteriormente é entendido pela interação de humanos com objeto/equipamento elétrico. A comunicação entre ambos permite o usuário conseguir controlar determinado dispositivo, de diversas maneiras, como por exemplo por comando de voz, aplicativo para smartphones.

No mesmo segmento, estão também as lâmpadas inteligentes, existentes desde 2012.[?] Por meio de um aplicativo para smartphones, consegue-se, além de ligar e desligar as lâmpadas cadastradas no mesmo, controlar a luminosidade, gerar cores distintas e até mesmo realizar programações permitindo ao usuário agendar horários para que a lâmpada ligue ou desligue ou ainda criar ambientes propícios para que elas diminuam ou aumentem sua intensidade, como por exemplo ajustá-la para um ambiente de leitura. As ações desejadas pelo usuário são reconhecidas pela interface do aplicativo que se comunica, via Wi-Fi, com o equipamento. O entrave para se ter uma lâmpada desse tipo está no valor que elas possuem. Por exemplo, um kit de lâmpadas Philips Hue, um dos modelos mais conhecidos, custa US\$199,00 nos Estados Unidos, que se transformam em inacessíveis R\$1299,00 no Brasil.[?]

Outro produto que opera no ramo de Domótica é o Vocca. Ele é um adaptador para lâmpadas comuns capaz de ligá-las e desligá-las usando um comando de voz enviado pelo usuário, sem precisar de conexão Wi-Fi ou qualquer outro equipamento pareado para funcionar. O reconhecimento da voz do usuário é feito no ato da instalação do adaptador e podem ser cadastrados até cinco tipos de comandos distintos para cada um deles. A vantagem do Vocca está claramente na facilidade de instalação e uso. Afinal, diferente de lâmpadas inteligentes, o Vocca não requer um hub conectado à Internet, um aplicativo no smartphone ou mesmo uma fonte de energia própria. Segundo os criadores, o usuário leva somente 1,5 segundos para ligar ou desligar as luzes com o gadget, contra 10,2 segundos usando uma SmartBulb.[?]

O projeto “Acionamento remoto de equipamentos via comando de voz” como já dito anteriormente, propõe o controle do acionamento (ligar/desligar) de equipamentos utilizados no cotidiano através do comando de voz. O exemplo aplicado para a descrição da funcionalidade do projeto, neste artigo, é de se controlar uma lâmpada incandescente conseguindo ligá-la e desligá-la com a voz do usuário.

## II. DOMÓTICA

A Domótica é um sistema inteligente de aprendizado automático aplicado sobre a Automação Residencial com o objetivo de fornecer ao usuário segurança, conforto e eficiência energética.

Em uma Automação Residencial geram-se ações baseadas em regras pré-estabelecidas e o sistema não interage com os habitantes da casa, enquanto um sistema inteligente não só realiza essa interação, como também aprende com seus comportamentos. Vale ressaltar que as pessoas estão sempre mudando seus hábitos, e esses sistemas inteligentes devem acompanhá-los.

Os sistemas de domótica inteligente devem possuir características de um sistema inteligente e interagir com os habitantes do ambiente e compreender seus hábitos constantemente. A domótica é a evolução da Automação Residencial.[?]

## III. INTERNET DAS COISAS (IoT)

Este é um conceito que vem desde os anos 2000, onde havia muitos obstáculos que hoje foram superados através da diminuição dos custos e tamanhos dos rádios, a alta quantidade de endereços possíveis com o IPv6, a criação de Wi-Fi e conectividade sem fio dos dispositivos. Com a evolução das velocidades de banda larga melhorou-se a cobertura de dados móveis e o Grupo de Internet das Coisas da Cisco (IOTG) tem uma previsão de mais de 50 bilhões de dispositivos conectados à rede em 2020.[?]

A tecnologia IoT relaciona-se diretamente com a ideia de objetos do mundo físico estarem conectados em rede. O serviço Broadcast tem como definição o envio de dados em larga escala. Assim este projeto associa o envio de comandos via rede sem fio em diferentes quantidades para controlar outros equipamentos. Esse serviço tem um protocolo diferente para enviar informações comparados aos outros.[?]

## IV. DESENVOLVIMENTO

O objetivo do projeto é controlar remotamente quaisquer equipamentos residenciais, conectados a uma rede sem fio, através de um aplicativo Android com ordens dadas por comandos de voz. Para isso, o aplicativo Android realiza o reconhecimento do comando de voz e envia a string (palavra) interpretada para a unidade Raspberry Pi. Nesta, a informação gera um acionamento em uma de suas saídas como resposta. Como proposta deste projeto a saída é uma lâmpada.

O diagrama em blocos da Figura ?? ilustra a conexão realizada entre as partes do sistema para que o projeto opere de forma eficaz.

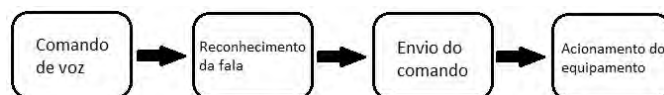


Fig. 1. Diagrama em blocos do sistema.

### A. Comando de voz

O aplicativo Android recebe o comando de voz e o envia para a nuvem do Google que responde com uma string que corresponde a palavra do comando. Essa string é enviada para a unidade Raspberry Pi para o próximo passo.

Para a interação do usuário com os dispositivos do ecossistema de IoT residencial foi desenvolvido um aplicativo para smartphones ou tablets com o sistema operacional Android. Essa aplicação foi criada utilizando o programa Android Studio e escrito na linguagem Java.

Na tela inicial se encontra o menu para a navegação dos recursos. Entre as funcionalidades é possível controlar o acionamento e desativação dos dispositivos conectados na rede via comandos de voz definidos pelo próprio usuário. A pessoa pode criar comandos de voz para controlar o local da forma que mais achar conveniente.

Através do aplicativo, o usuário consegue especificar a ação que se deseja realizar sobre o objeto considerado. O aplicativo lhe permite criar diversos tipos de comandos mútuos, já que podem ser cadastrados vários dispositivos.

Como exemplo para a proposta aplicada, podemos dar o seguinte comando de voz: “Ligar lâmpada um!”. O aplicativo manda esse comando para a nuvem a qual retorna uma string indicando que o objeto “Lâmpada 1” deve ser acionado. Assim o aplicativo monta um Json (pacote de dados) que será enviado para a unidade Raspberry Pi.

A Figura ?? mostra a interface do aplicativo Android exemplificando a proposta inicial.



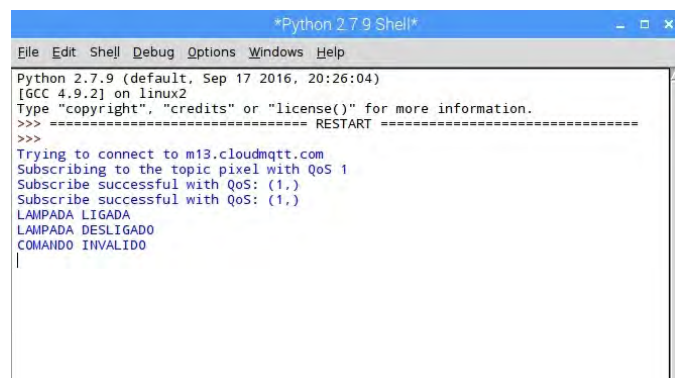
Fig. 2. Interface do aplicativo.



### B. Programação da unidade Raspberry Pi

O programa criado, inserido na unidade Raspberry Pi, tem como objetivo receber as strings em formato Json via serviço Broadcast, onde são comparadas com as strings de referência do banco de dados, criadas pelo próprio usuário, para realizar os acionamentos correspondentes. Essa programação é feita em Python, na própria placa com o software Python 2.7.9 Shell da Linux.

A Figura ?? mostra um exemplo da proposta do projeto em funcionamento.



```

Python 2.7.9 (default, Sep 17 2016, 20:26:04)
[GCC 4.9.2] on linux2
Type "copyright", "credits" or "license()" for more information.
>>> ===== RESTART =====
>>>
Trying to connect to m13.cloudmqtt.com
Subscribing to the topic pixel with QoS 1
Subscribe successful with QoS: (1,)
Subscribe successful with QoS: (1,)
LAMPADA LIGADA
LAMPADA DESLIGADO
COMANDO INVALIDO
|

```

Fig. 3. Comandos simulados.

### C. Raspberry Pi

A principal função da unidade Raspberry Pi é comparar as strings recebidas em formato Json e realizar o acionamento do equipamento correspondente. Esse acionamento pode ser feito através de uma de suas saídas com um drive relé ou enviando um comando por rede sem fio.

Em continuidade da proposta, ao receber um Json indicando que o objeto “Lâmpada 1” tem a ação de “Acender”, a unidade Raspberry Pi compara com seu o banco de dados e aciona a respectiva saída. Essa saída possui um drive relé conectado, permitindo que a lâmpada acenda.

## V. FUNCIONAMENTO

Em visão geral da performance da proposta, o usuário atribui um comando de voz para o aplicativo Android, informando a ação que deseja realizar, e esta é enviada à unidade micro-controladora (Raspberry Pi W Zero) através do protocolo de comunicação do serviço Broadcast. A programação da unidade é responsável por interpretar essa informação e convertê-la em uma resposta de acionamento de um equipamento. Para o desacionamento do mesmo, o usuário fornece outro comando de voz que corresponde à respectiva ação repetido o mesmo processo.

O tempo de resposta do sistema com a proposta citada é de aproximadamente 1.5 segundos, semelhante ao dos dispositivos do Vocca.

A Figura ?? mostra o projeto em funcionamento.

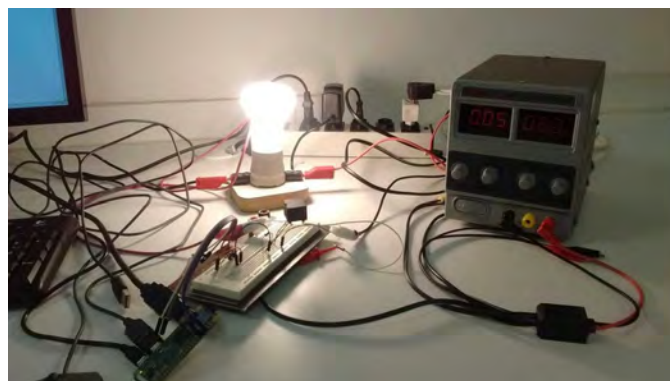


Fig. 4. Lâmpada acesa.

## VI. CONCLUSÕES

Como objetivo final desse projeto, espera-se um sistema conectado a diversos dispositivos, com variados meios de comunicação em uma única rede, podendo ser controlados por comandos múltiplos com diversificadas funções definidas por um ou mais usuários da mesma residência. Esse projeto também não está focado unicamente para as residências, podendo englobar qualquer ambiente fechado com variados dispositivos.

A funcionalidade da proposta do projeto, aqui descrito, demonstra uma boa exemplificação da tecnologia da Automação Residencial e a atuação dos serviços IoTs envolvidos. Esse projeto ainda não se classifica como domótica inteligente, devido à falta do sistema inteligente necessário para isso. É o usuário quem controla o funcionamento da residência e não o sistema.

Como futuras propostas, seria possível não ser somente uma aplicação de Automação Residencial, podendo evoluir o projeto para uma domótica inteligente. Mas para isso ocorrer, será necessária a utilização de um sistema inteligente que possa ter a capacidade de aprender automaticamente os hábitos dos usuários do aplicativo.

Esse projeto possui um tempo de resposta semelhante aos das lâmpadas Vocca, mas com a vantagem de se adaptar para qualquer dispositivo conectado à rede.

## REFERÊNCIAS

- [1] Conceito de automação residencial (domótica). Disponível em: <https://bridgeaudio.company/2015/01/12/conceito-de-automacao-residencial-domotica/>. Acesso em: 01 mar. 2018.
- [2] Blatt, Roberto. Automação residencial e acessibilidade. Disponível em: <http://www.administradores.com.br/artigos/tecnologia/automacao-residencial-e-acessibilidade/78361/>. Acesso em: 01 mar. 2018.
- [3] Higa, Paulo. Philips Hue: as caras lâmpadas inteligentes: Lâmpadas conectadas da Philips são coloridas e têm custo proibitivo. Disponível em: <https://tecnoblog.net/204339/philips-hue-2-geracao-review/>. Acesso em: 23 jan. 2018.
- [4] Alves, Paulo. Adaptador ativa qualquer lâmpada com a voz, sem necessidade de Wi-Fi. Disponível em: <http://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2014/08/adaptador-ativa-qualquer-lampada-com-voz-sem-necessidade-de-wi-fi.html>. Acesso em: 17 jan. 2018.

- [5] Sgarbi, Julio André; TONIDANDEL, Flavio. Domótica Inteligente: Automação Residencial baseada em Comportamento. Disponível em: [http://fei.edu.br/~flaviot/pub\\_arquivos/WTDA06.pdf](http://fei.edu.br/~flaviot/pub_arquivos/WTDA06.pdf). Acesso em: 28 fev. 2018.
- [6] Uma introdução à Internet da Coisas (IoT). Disponível em: [https://www.cisco.com/c/dam/global/pt\\_br/assets/brand/iot/iot/pdfs/lopez\\_research\\_an\\_introduction\\_to\\_iot\\_102413\\_final\\_portuguese.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/global/pt_br/assets/brand/iot/iot/pdfs/lopez_research_an_introduction_to_iot_102413_final_portuguese.pdf). Acesso em: 28 fev. 2018.
- [7] Hautsch, Oliver. O que é broadcast? Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/player-de-video/2026-o-que-e-broadcast-.htm>. Acesso em: 05 mar. 2018.
- [8] Santos, Guilherme Vianna. Como acionar um relé com Arduino ou PIC: Projeto e Funcionamento. Disponível em: <http://eletronicaemcasa.blogspot.com.br/2013/12/como-acionar-um-rele-com-arduino-ou-pic.html>. Acesso em: 26 dez. 2017.
- [9] Pixinine, Juliana. Lâmpadas smart: fique por dentro da tecnologia e conheça vantagens. Disponível em: <http://www.techtudo.com.br/dicas-e-tutoriais/noticia/2015/05/lampadas-smart-fique-por-dentro-da-tecnologia-e-conheca-vantagens.html>. Acesso em: 17 jan. 2018.



# Implementação de um sistema de navegação autônoma para robôs móveis

Daniel Liz Fonseca Castro Borges

Wesley Miguel Dos Santos Peixoto

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
danielliz@gec.inatel.br

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
wesleymiguel@get.inatel.br

Wander Wilson Chaves

Carlos Alberto Ynoguti

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
wander@inatel.br

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
ynoguti@inatel.br

## Abstract

This article describes the construction of a robot that navigates environments and has the smallest accumulation of errors generated by sensorial and mechanical failures. To serve as a guideline for the user has developed a web page and an application for Android devices, both contain a map of the environment where the robot is and indicates its current position.

**Keywords:** Robot. Web page. Android devices. Map.

## Resumo

Neste artigo é descrito a construção de um robô que navega por ambientes e que tivesse o menor acúmulo de erros gerados por falhas sensoriais e mecânicas. Para servir de orientação para o usuário foi desenvolvido uma página Web e um aplicativo para dispositivos Android, ambos contêm um mapa do ambiente onde o robô está e que indica sua posição atual.

**Palavras chave:** Robô. Página web. Dispositivos Android. Mapa.

## I. INTRODUÇÃO

Com os crescentes avanços na robótica atual surgiram vários problemas de difícil solução neste campo. Um dos principais é a navegação autônoma de robôs móveis. (NIKU, 2001).

As várias técnicas de navegação autônoma que existem hoje, podem ser classificadas em dois grupos: medidas relativas da posição e medidas absolutas da posição. As medidas relativas se baseiam em um valor de referência definido anteriormente, já as medidas absolutas dependem de um valor de referência. (Rodrigues, Diogo Pereira. [1]).

Nos dois grupos encontra-se vantagens e desvantagens, por exemplo, no grupo de medidas relativas da posição existem técnicas mais simples, no entanto o acúmulo de erro é maior. Já no grupo de medidas absolutas da posição, tem-se a vantagem da maior precisão, contudo apresenta grande complexidade de implementação dos sistemas. As impressoras

3D utilizam o sistema de medidas absoluto, já os carros autônomos da google usam o sistema de medidas relativo. Neste trabalho foi adotado o sistema de medidas relativo pela facilidade de implementação e custo dos sensores usados.

São três os principais problemas da navegação autônoma: o problema de rastreamento de posição, o problema de localização global e o problema do robô raptado.

No problema de rastreamento de posição, é considerado que a posição inicial do robô é conhecida. Entretanto devido aos erros dos sensores a localização é prejudicada. O objetivo é estimar os erros e calcular a posição de forma mais precisa possível. Este foi o principal problema enfrentado durante o desenvolvimento do projeto.

No problema de localização global, é considerado que a localização inicial do robô é desconhecida. O objetivo é desenvolver uma estratégia para estimar a sua posição inicial.

O problema do robô raptado é praticamente o mesmo do problema de localização global, a diferença é que nesse problema, considera-se que a qualquer momento o robô poderá ser transferido para outra posição sem ser informado e então terá que ser estimada sua nova posição.

## II. DEFINIÇÃO DE UM SISTEMA DE NAVEGAÇÃO AUTÔNOMA

### A. Definição

Na figura 1 são mostrados os passos da navegação autônoma: (Thrun, 2002)

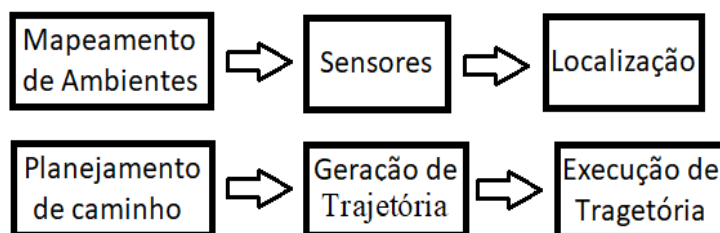


Fig. 1. Diagrama do funcionamento do sistema de navegação

Fonte: Elaborada pelos autores.

Como mostra o diagrama o primeiro passo é mapear o ambiente, e através dos sensores e do mapa pré-programado estimar a localização do robô. Então com a localização determinada o programa planeja a melhor rota até o ponto desejado, gera esta rota e envia para que o robô possa executá-la. Para estimar o deslocamento do robô foi deduzida uma fórmula que relaciona o comprimento da roda com o número de pulsos que o sensor detecta.

### B. Utilização

Hoje em dia essa tecnologia é muito utilizada em todo mundo. Como principal exemplo pode se citar os “Self-Driving cars”, popularmente conhecido no Brasil como carros autônomos que ganham cada vez mais destaque no mercado automobilístico. A empresa KUKA AG uma líder mundial no ramo da robótica lançou alguns modelos de plataformas transportadoras totalmente autônomas.

## III. ESTRUTURA

### A. Chassi

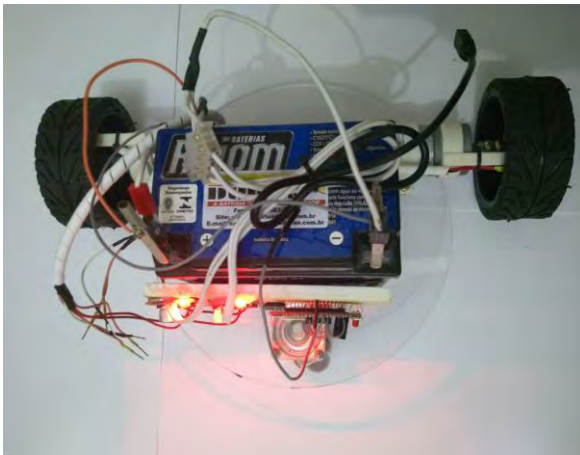


Fig. 2. Robô visto de cima

Foi desenvolvido um chassi em acrílico para o robô, este foi cortada em uma máquina de corte a laser, foram feitos vários furos para o encaixe do suporte para os motores e a roda de apoio traseira.

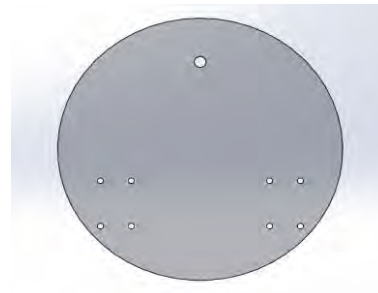


Fig. 3. Chassi desenvolvido para o robô

### B. Braçadeira para os motores

Para segurar os motores foi desenvolvida uma braçadeira feita em uma impressora 3D com o material ABS (Acrilonitrila butadieno estireno).

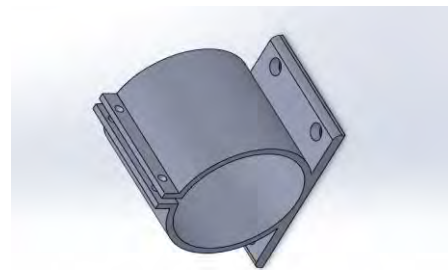


Fig. 4. Braçadeira para os motores

### C. Apoio para o encoder

Para posicionar os sensores de leituras do encoder na posição correta foi desenvolvida uma braçadeira que se prende ao motor, está foi feita em uma impressora 3D com o material ABS.



Fig. 5. Apoio para o encoder

### D. anéis de contato para o encaixe na base de carregamento

Foi desenvolvido dois anéis em meia lua para o contato com a base de carregamento, estes feitos de um metal condutor, um para a parte de baixo da base e outro para a parte de cima, os mesmos vão servir para que o robô carregue sua bateria quando o robô estiver em sua base.

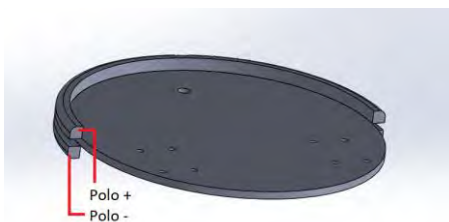


Fig. 6. Anéis de contato para o encaixe na base de carregamento

### E. Motores

Foram usados motores compactos e potentes, com caixa de redução acoplada que diminui sua velocidade e aumenta seu torque. Os motores apresentam uma velocidade máxima de 83 RPM, tem uma capacidade máxima de 11.10 Kgf.cm e são alimentados com 12V.



Fig. 7. Motor

### F. Rodas

Foram usadas rodas com o diâmetro de 100mm e largura de 41mm, estes são reforçados com fibra de nylon radialmente o que garante maior fidelidade ao percurso percorrido pelo robô.



Fig. 8. Roda YBS com pneu radial

### G. Hub sextavado

Para o acoplamento da roda ao motor foram usados hub sextavado de 12mm e eixo de 6mm.



Fig. 9. Hub sextavado

### H. Base de carregamento

Para que o robô recarregasse sua bateria foi projetado um encaixe para a parede onde basicamente em qualquer circunstância que o robô encostasse já iria garantir o contato entre os anéis de contato e a base. Este foi feito em uma impressora 3D no material ABS, na parte de baixo e na parte de cima foram colocados um filete condutor.

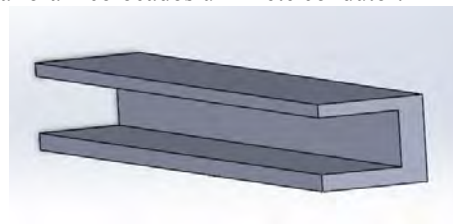


Fig. 10. Base de carregamento

## IV. HARDWARE

### A. Ponte H

Para o controle dos motores foi utilizado a ponte H bridge motor 30A, é um circuito eletrônico que pode ser facilmente conectado a microcontrolador que utilizamos. Esta ponte H é baseada no chip VN1HSP30 que possibilita controlar velocidade e o sentido da rotação de motores que trabalham com alta corrente.

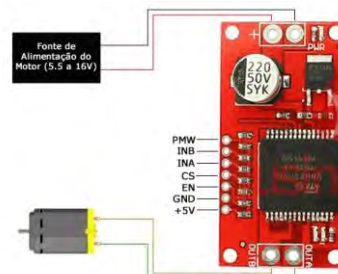


Fig. 11. Esquema de ligação Ponte H

### B. Encoder

Como foram escolhidos motores DC para mover o robô, foi necessário usar sensores de contagem de pulsos (*encoder*), que emitem uma luz infravermelho através de um disco com vários furos, e captada por um sensor. Quando o eixo roda, os furos vão interrompendo a luz que chega ao sensor, e a contagem destas interrupções é então utilizada para estimar a posição do objeto. Para estimar a distância percorrida foi feita a dedução de uma fórmula utilizando noções intuitivas de funções pelo método de tentativa e erro. Esta fórmula relaciona o diâmetro da roda com a quantidade de pulsos.

$$\text{Pulsos} = (\text{distância} * 40) / 31,4159$$

Fig. 12. Fórmula que relaciona a distância a ser percorrida com a quantidade de pulsos necessários.

Fonte: Elaborada pelos autores.

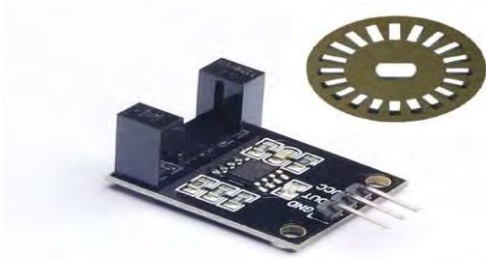


Fig. 13. Encoder utilizado

### C. Microcontrolador

Como microcontrolador foi utilizado o módulo WiFi ESP8266 NodeMCU. Este inclui um microcontrolador, 128KBytes de RAM, suporte interno a serviços de comunicação serial como SPI, I2C e UART, 16 pinos GPIO digitais, uma entrada analógica, e seu grande diferencial para aplicações IoT: suporte a WiFi bastante completo e fácil de usar.



Fig. 14. Módulo WiFi ESP8266 NodeMCU

### D. Bateria

Para a alimentação de todo o robô foi usada uma bateria de MOTO RAIOM RTX8N-BS 7AH 12V SELADA, O consumo geral do robô ficou em aproximadamente 3,2 amperes em operação constante, logo a bateria escolhida tem uma autonomia de aproximadamente 2,18 horas em atividade.

### E. Regulador de Tensão

Como a bateria escolhida nos fornece 12 volts, foi necessário fazer um regulador de tensão que transformasse 12 volts em 5 volts para a alimentação do microcontrolador e dos sensores ópticos. O transistor escolhido para essa função foi o AMS1117 versão SMD:



Fig. 15. AMS1117

Esquemático:

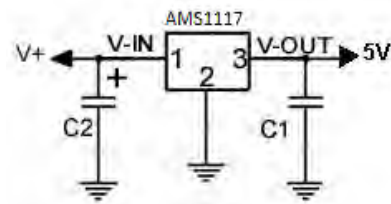


Fig. 16. Esquemático AMS1117

O cálculo dos capacitores (C1 e C2) é simples, para que estes filtrem o sinal de forma correta, C2 tem que ser dez vezes C1, o valor que escolhermos para C2 foi 1000  $\mu$ F, logo o valor de C1 é 100  $\mu$ F.

### F. Conversor de Nível Lógico

Foi usado um conversor de nível lógico rc, se trata de um pequeno dispositivo que desce o nível lógico de 5v para 3.3v ou aumenta o nível de 3.3 para 5v. Como o NodeMcu tem como nível lógico de saída 3.3v este dispositivo foi usado para aumentar o nível lógico da saída do microcontrolador para 5v e com isso conseguir uma comunicação efetiva entre o microcontrolador e a ponte H.



Fig. 17. Conversor de Nível Lógico RC

## V. SOFTWARE

### A. Movimentação

Para a movimentação do robô foi utilizado um algoritmo que para o conjunto mecânico que foi montado apresenta uma precisão de dois centímetro para dois metros, este algoritmo conta os pulsos do encoder e então quando o número de pulsos de um motor ultrapassa o outro o algoritmo desliga o motor que girou mais rápido e mantém o outro ligado até que alcance o número de pulsos do motor anteriormente desligado, após isso ele ativa os dois motores juntos novamente.

No algoritmo desenvolvido é passado como parâmetro para uma função a distância em centímetros que se deseja que o robô ande, e dentro da função ela faz a conversão desse valor para o número de pulsos.

A ação de deligar um motor e ligar o outro é feito de maneira muito rápida o que traz uma sensação de movimento contínuo.

Foi usado o algoritmo de Dijkstra para que robô pudesse calcular o melhor caminho entre dois pontos considerando um mapa anteriormente construído em forma de um grafo.



### B. Comunicação

Para que o usuário soubesse em que ponto da trajetória o robô estava foi desenvolvida uma página Web e um aplicativo para dispositivos Android, ambos possuem um mapa pré-programado e se comunicam com o robô através da rede WiFi, para isso e para toda comunicação entre os componentes do projeto foi utilizado o protocolo de comunicação conhecido como MQTT.

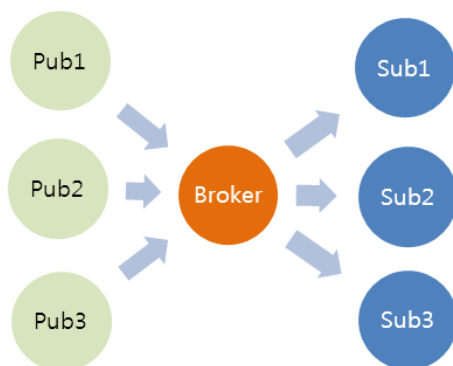


Fig. 18. Funcionamento MQTT

A imagem acima mostra o funcionamento do MQTT onde Pub1, Pub2 e Pub3, são os clientes que enviam dados para o servidor Broker, sendo que Sub1, Sub2 e Sub3 são clientes inscritos nos tópicos e recebem os dados.

Inicialmente na comunicação foi desenvolvido um programa no ESP8266 NodeMCU que recebe uma String, executa determinada ação pré-estabelecida e envia uma resposta confirmando que executou a ação.

Após completar o algoritmo de comunicação que ficará no ESP8266 NodeMCU, foi preciso desenvolver um algoritmo que ficasse no computador para fazer o controle do NodeMCU.

Para isso usou-se a linguagem de programação Python. E foi criado um programa que enviasse uma determinada String para o ESP8266 NodeMCU.

Neste projeto o ESP8266 NodeMCU, o algoritmo em Python, a página web e o aplicativo android são clientes que enviam dados e clientes inscritos em seus respectivos tópicos no servidor broker.

### C. Código Final

Foram feitos vários testes com vários algoritmos até estabelecermos um algoritmo que atendesse as nossas expectativas.

O algoritmo do NodeMCU é responsável por realizar a comunicação através do WiFi com o algoritmo em Python que ficará hospedado em um computador. Além de interpretar os comandos recebidos, controlar os motores e orientar o robô de acordo com a direção de deslocamento.

O Algoritmo em Python é responsável por ler um arquivo de texto onde estará salvo o grafo que servirá como um mapa para o robô, então depois da leitura do ponto em que se deseja chegar o algoritmo de Dijkstra calcula a melhor rota para que se chegue até o ponto e manda as devidas instruções para o

ESP8266 NodeMCU que interpreta e executa as ações necessárias.

### D. Página Web e Aplicativo Android



Fig. 19. Página web



Fig. 20. Aplicativo Android

Para servir de orientação para o usuário foi desenvolvido uma página Web e um aplicativo para dispositivos android, ambos contêm um mapa do ambiente onde o robô está e que indica sua posição atual.

O usuário pode selecionar o destino do robô por meio das duas interfaces, que usando o protocolo MQTT envia um comando para o programa em Python que calcula a melhor

rota, retorna para interface o percurso que será feito pelo robô e depois manda as instruções para ESP8266 NodeMCU conforme explicado anteriormente.

Após receber as instruções o ESP8266 NodeMCU as executa e envia uma resposta também para a página web e para o aplicativo android indicando a posição atual do robô para que o usuário verifique se o percurso está sendo percorrido corretamente.

## VI. CONCLUSÕES

Conclui-se que foi desenvolvido um robô com estrutura mecânica e algoritmos eficazes para navegação autônoma, que a partir de um mapa conhecido é capaz de traçar e executar a melhor rota até um determinado local automaticamente. O sistema de navegação fica em um computador externo ao robô, a página web ou o aplicativo para dispositivos android mostra o estado atual do robô através de uma animação simples que facilita saber com uma precisão aceitável a localização do robô.

## VII. REFERÊNCIAS

- [1] Rodrigues, Diogo Pereira. “Técnicas de Navegação”. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP.
- [2] Instituto Newton C. Braga. Disponível em <http://www.newtoncbraga.com.br/>.
- [3] Bezerra, C. H. 2004. Localização de um Robô Móvel usando Odometria e Marcos Naturais. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal : s.n., 2004.
- [4] Waymo. Disponível em: <https://waymo.com/>.
- [5] NUA Robotics. Disponível em: <http://unbouncepages.com/nuarobotics/>
- [6] PEÑAFIEL, Diana Sabina Albán. “Desenvolvimento De Um Sistema De Navegação Em Ambientes Internos Para Um Robô Pessoal”. (Dissertação) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.
- [7] CORREA, Diogo Santos Ortiz. “Navegação Autônoma De Robos Móveis E Detecção De Intrusos Em Ambientes Internos Utilizando Sensores 2D E 3D”. (Dissertação) Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.
- [8] (The Guardian. Disponível em: <https://www.theguardian.com/technology/self-driving-cars>)



# Sistema de Monitoramento e Análise de Dados do Ar-Condicionado por Tecnologia IoT

João Leonardo Andrade Morganti Silva  
Laboratório de IoT - Inatel  
joao.leonardo@gec.inatel.br

Matheus Tenório Resende Ricaldoni  
Laboratório de IoT - Inatel  
matheustenorio@gea.inatel.br

Carlos Alberto Ynoguti  
Laboratório de IoT - Inatel  
ynoguti@inatel.br

**Abstract**—Ever since the 21st century, the air conditioning became a vital domestic appliance for the environment comfort. With that, the exacerbated consumption started a great economic-environmental discussion about the electric energy usage. This article brings the study of a prototype that intends to monitor the air conditioning remotely through home automation together with Internet of Things tech, to manage its electrical consumption and use data science to analyze the behavior of the equipment in the studied environment. In this system, it is used the MQTT protocol to transmit the data about the equipment and the working environment. Starting from an online platform, the user will have access, in real time, to those datas. Temperature, current, and presence sensors were used to obtain the data, a microcontroller to the communication between the sensors and the cloud and the uses of the languages Python, JavaScript and HTML to program the user platform.

**Index Terms**—Air conditioning, Consumption, IoT, MQTT.

**Resumo**—A partir do século XXI, o ar-condicionado se tornou um eletrodoméstico primordial para o conforto do ambiente. Com isso, o consumo exacerbado do aparelho sucedeu numa grande discussão econômica-ambiental a respeito do uso da energia elétrica. Este artigo traz o estudo de um protótipo que visa monitorar o ar-condicionado remotamente através da automação residencial junto a tecnologia de Internet das Coisas, para assim gerenciar seu consumo elétrico e utilizar a ciência de dados para analisar o comportamento do aparelho no ambiente estudado. Neste sistema, é utilizado o protocolo MQTT para a transmissão dos dados a respeito do aparelho e do ambiente em que trabalha. A partir de uma plataforma online, o usuário terá acesso, em tempo real, a essas informações. Foram utilizados sensores de temperatura, corrente e presença para a obtenção dos dados, um microcontrolador para a comunicação entre os sensores e a nuvem e o uso das linguagens Python, JavaScript e HTML para a programação da plataforma do usuário.

**Palavras chave**—Ar-condicionado, Consumo, IoT, MQTT.

## I. INTRODUÇÃO

O condicionamento moderno de ar, originalmente criado em 1902 para atender a problemas na linha de produção de indústrias sob altas temperaturas, passou por diversos mecanismos de resfriamento climático até chegar aos modelos atuais [1]. Utilizado inicialmente apenas em lugares importantes como prédios do governo estadunidense, escritórios, cinemas e indústrias, o ar-condicionado ganhou o interesse da grande massa na segunda metade do século XX com o desenvolvimento dos aparelhos residenciais e automotivos [2]. A partir da década de 90, após o Protocolo de Montreal assinado em 1987 que determina a redução de substâncias nocivas a camada de ozônio, ações sustentáveis ganham força no setor

de climatização e determinados modelos de ar-condicionado passam a ser proibidos em diversos países [3].

Desde então, várias alternativas têm sido desenvolvidas para controlar o gasto desnecessário destes equipamentos, tais como a utilização de placas de energia solar para a alimentação do aparelho, sistemas remotos de climatização e automação residencial no geral. Este projeto visa apresentar uma nova maneira de conciliar a tecnologia à sustentabilidade [4].

A tecnologia IoT permite desenvolver esses sistemas e, de acordo com Andy Stanford-Clark, engenheiro na IBM e um dos idealizadores da *Internet of Things*, “nós humanos sempre fomos adeptos a colocar nossa mente e habilidades nos objetos que usamos, quase que como uma extensão da nossa consciência” [5].

A partir da causa sustentável e do avanço tecnológico este artigo apresenta o desenvolvimento de um projeto que busca expandir as aplicações que a internet pode oferecer à sociedade.

## II. IoT

**Definição:** IoT pode ser definida como a comunicação *machine to machine* (M2M) via internet, permitindo que diferentes objetos usados no dia a dia (como carros, eletrodomésticos e até mesmo roupas e calçados conectados a sensores ou outros dispositivos) sejam capaz de transmitir dados, conseguindo executar tarefas ou apenas para serem monitorados. Para receber essas informações, é necessário um aplicativo de smartphone ou um web site, que deve receber, analisar e gerenciar as informações [6].

**Aplicação:** a Internet das Coisas é utilizadas em diversas áreas, facilitando a vida das pessoas ou otimizando processos industriais. Exemplo:

**Automação Residencial:** Várias pessoas apoiam a ideia de uma casa inteligente, podendo controlar todas as luzes, monitorar a temperatura dos cômodos e ajustar como sua preferência. O usuário pode controlar e monitorar sua casa de qualquer lugar, sendo possível até preparar um banho na temperatura desejada.

**Agronomia:** Produtores podem automatizar seus agonegócios, monitorando remotamente e em tempo real o processo de plantio. Com isso, é adaptar um sistema de irrigação para controlar a melhor rega da colheita e assim conseguir tomar decisões imediatas garantindo um controle mais eficiente.

**Automotivo:** Atualmente já existem carros que conseguem estacionar sozinhos e esse processo já está caminhando para veículos autônomos. Há também sensores que acompanham o desempenho do veículo, avisando sobre manutenções preventivas. Essa integração de IoT entre veículos e vias, permite, por exemplo, que entregas sejam feitas de forma mais eficiente e inteligente, evitando congestionamentos.

**Cidades Inteligentes:** As cidades inteligentes que hoje estão em pauta só serão possíveis graças a Internet das Coisas. Lixeiras vão poder “avisar” os caminhões de coleta quando estiverem cheias, poupando tempo e dinheiro destinado à serviços públicos. Sensores poderão ser colocados em bueiros para facilitar a limpeza das ruas e o sistema de drenagens, evitando inundações. Quanto mais objetos conectados, mais inteligente será a gestão da cidade e a qualidade vida dos cidadãos.

*Internet of Things* não é mais uma tendência ou uma previsão, mas sim uma realidade que está transformando as indústrias, os negócios e as vidas das pessoas.

### III. DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento do projeto é dividido em três módulos: Dados, Controle e Interface.

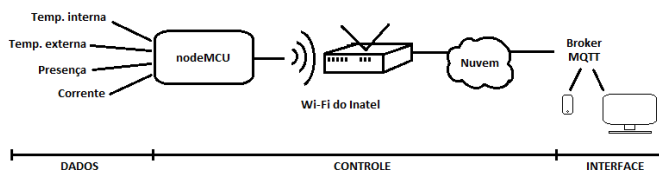


Fig. 1. Diagrama em blocos do sistema

#### A. Dados

Os dados são referentes aos periféricos que enviam informações para o microcontrolador a partir de sensores. Informações como: temperatura externa e interna, consumo de corrente do ar-condicionado e verificação de presença no ambiente.

A temperatura interna e externa serão captadas pelo DHT 22, onde um sensor ficará na sala que estará o ar-condicionado e o outro do lado de fora do ambiente climatizado.

O sensor de presença tem o objetivo de verificar se há pessoas na sala onde a temperatura é controlada para evitar o desperdício de energia. Caso não tenha nenhuma movimentação na sala por um certo tempo, o sensor indica ao microcontrolador que não há ninguém na sala e assim irá controlar as ações do ar-condicionado com o intuito de economizar energia elétrica.

O sensor de corrente fará apenas a leitura do consumo do aparelho, a fim de monitorá-lo para analisar o seu gasto de energia.

Todos os sensores estarão conectados pelo microcontrolador nodeMCU.

#### B. Controle

É o responsável por interligar os outros módulos. Para realizar todo gerenciamento do projeto, foi utilizado o microcontrolador NodeMCU. Cada sensor está conectado a um microcontrolador que, por sua vez, envia os dados recebidos para um mesmo ponto de acesso (*Gateway*). As GPIOs (basicamente um conjunto de pinos responsável por fazer a comunicação de entrada e saída de sinais digitais) do NodeMCU operam na faixa de 3,3V. Portanto alguns sensores precisam de circuitos padronizadores para poder operar na mesma faixa de tensão do MCU, fazendo assim a leitura dos dados corretamente, evitando queimar alguma GPIO.

Para receber essas informações do NodeMCU, foi utilizado o protocolo MQTT, que são conectados a um Broker (servidor MQTT na nuvem) e monitorados em tempo real. Para fazer esse monitoramento, é utilizado um Broker gratuito (iot.eclipse.org) e assinado os tópicos em que cada sensor está publicando. Ex: as mensagens do sensor de corrente estão sendo publicadas no tópico “consumoAr”, então o cliente deve assinar o tópico “consumoAr” para fazer o monitoramento desses dados.

#### C. Interface

Foi criada para permitir a visualização de dados pelo usuário, permitindo a análise das informações em um website no computador ou em um aplicativo de celular, que já estará configurado acessar a plataforma e monitorar o ar-condicionado.

O *front-end* conta com a planta de cada sala do prédio analisado e seus respectivos parâmetros, como a temperatura interna e externa do ambiente, se há algum indivíduo na sala e o estado do ar-condicionado (ligado/desligado).

No *back-end*, a plataforma acessa o *Broker* MQTT por um *Wrapper* web do eclipse paho (biblioteca de código aberto que fornece implementações de clientes MQTT), recebendo todas as informações dos sensores ligados ao nodeMCU.

Na figura 2 é possível observar a interface web disponível para o usuário monitorar o ambiente e o ar-condicionado. Nela, está exposto o mapa do segundo andar do prédio II do Inatel e apresenta as características do sistema no Laboratório de IoT.

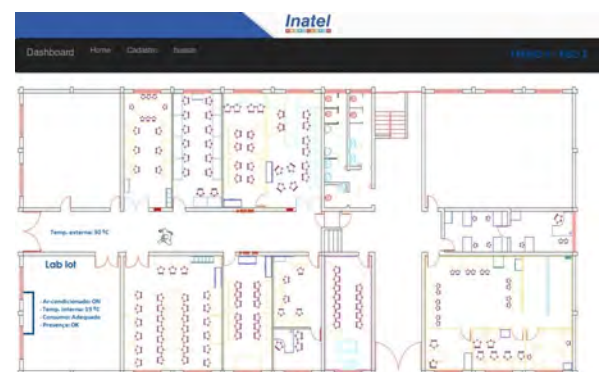


Fig. 2. Interface web do usuário.

#### IV. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Para a construção do sistema foram utilizados os seguintes elementos:

##### A. Sensor de Corrente

O sensor de corrente utilizado no projeto é o sensor não invasivo 100 SCT-013 [7]. Ele foi escolhido devido à facilidade de uso e de não precisar romper o cabo de energia do ar-condicionado para poder fazer a leitura. Este sensor mede de 0 a 100 A, podendo trabalhar em temperaturas de  $-25^{\circ}\text{C}$  a  $70^{\circ}\text{C}$ . Sua saída possui variação de corrente, então é preciso de um resistor de carga para poder apresentar uma variação de tensão para leitura pelo microcontrolador.



Fig. 3. Sensor de corrente 100A SCT-013.

##### B. Sensor de Temperatura e Umidade

O sensor de temperatura e umidade usado no projeto é o DHT 22, que é uma evolução do sensor DHT 11 [8]. Ambos possuem apenas um pino de dados para comunicação com um microcontrolador, mas internamente são muito diferentes. O DHT 22 foi escolhido devido à sua precisão de  $0,5^{\circ}\text{C}$  na leitura da temperatura, lendo de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $80^{\circ}\text{C}$ , além de ser um sensor de baixo consumo de corrente e de possuir um conversor analógico/digital para comunicação com o microcontrolador.



Fig. 4. Sensor de Temperatura e Umidade DHT 22.

##### C. Sensor de Presença

O sensor de movimento e presença utilizado no projeto é o módulo PIR DYP-ME003 [9]. Este sensor consegue detectar objetos em movimento numa distância de até 7 metros e trabalha em temperaturas de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $80^{\circ}\text{C}$ . Foi escolhido porque consegue cobrir todo o espaço desejado da sala e pelo seu custo benefício.



Fig. 5. Sensor de Presença PIR DYP-ME003.

Este módulo é composto por duas faixas com materiais infravermelhos. Quando há variações na detecção do sinal infravermelho entre essas duas faixas, a saída é acionada por um determinado tempo. Na parte externa do módulo existe uma espécie de tampa, comumente chamada de lente fresnel, que tem a função de ampliar o campo de visão do sensor.

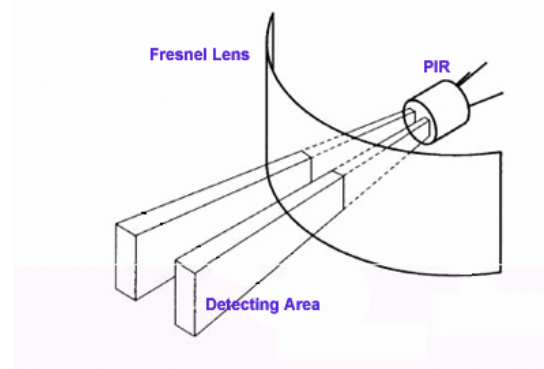


Fig. 6. Módulo PIR DYP-ME003.

##### D. Microcontrolador

Foi utilizado no projeto o microcontrolador NodeMCU pela sua praticidade de programar podendo usar a IDE do Arduino, pelo seu custo benefício e por ter um módulo WiFi e um cliente MQTT já embutidos [10]. O nodeMCU também conta um conector micro usb para a conexão com o computador, 11 pinos GPIO com função de PWM (modulação de largura de pulso), I2C SPI (protocolos de seriais síncronos, com um mestre e vários escravos) e conversor analógico/digital. Sua

tensão de operação é de 4,5 a 9 V, taxa de transferência de 110-460800bps e wireless padrão 802.11 b/g/n.



Fig. 7. Microcontrolador NodeMCU.

### E. Protocolo MQTT

Foi escolhido o protocolo MQTT por ser frequentemente utilizado no cenário da Internet das Coisas e pela sua praticidade. Sua principal função é fazer máquinas conversarem, consistindo em um protocolo de mensagens leves, baseado na topologia *publish/subscribe* para envio das mensagens. O *publisher* é quem publica a informação, o *subscriber* é quem recebe essa informação. O *Broker* é o servidor MQTT na nuvem que pode ser acessado de qualquer lugar do mundo via web, que por sua vez gerencia toda a troca de mensagens, deixando o microcontrolador livre pra gerenciar outras coisas [11].

Existem duas partes importantes para publicar as mensagens MQTT [12]:

- *Topic*: identifica a informação, assim quem vai receber essa mensagem deve colocar o mesmo tópico no qual foi publicada.
- *Payload*: informação que se deseja enviar.

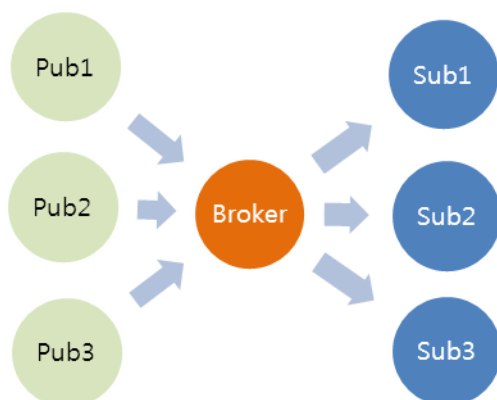


Fig. 8. Topologia *Publish/Subscribe*.

### F. Ar-condicionado

Foi escolhido, para os testes e a criação do protótipo inicial, o próprio Laboratório de IoT, localizado no segundo piso do prédio II do Inatel, que conta com aproximadamente 45,5 metros quadrados.



Fig. 9. Mapa do Laboratório de IoT retirado da interface web.

A sala dispõe de um ar-condicionado que supre as necessidades do ambiente e foi utilizado para o desenvolvimento do sistema. O aparelho possui os seguintes parâmetros:

TABELA I  
AR-CONDICIONADO HITACHI RPC48B3P

Power supply	220V / 60Hz / 1F
Cooling / Heating	42.000 Btu/h
Capacity	12,31 kW
Input power	0,26 kW
Fan current	1,2 A

### V. CONCLUSÕES

Foi desenvolvido um sistema de controle e monitoramento do ar-condicionado a partir do conceito de *Internet of Things*. Utilizando a tecnologia MQTT é possível operar a interface web remotamente e a partir disso oferecer diferentes alternativas para a sociedade interagir com a tecnologia.

O protótipo do Sistema de Monitoramento e Análise de Dados do Ar-Condicionado por Tecnologia IoT nos permite recolher os parâmetros de temperatura externa, temperatura interna, presença e consumo e estudar, através do conceito de *Data Science*, alternativas sustentáveis de aproveitamento de energia elétrica.

## REFERÊNCIAS

- [1] "Conheça a história e evolução do ar-condicionado - Blog - ar-condicionado.com.br", Blog - arcondicionado.com.br, 2018. [Online]. Available: <http://blog.adias.com.br/conheca-a-historia-e-evolucao-do-ar-condicionado/>. [Accessed: 03- Jan- 2018].
- [2] "A História do Ar-Condicionado", Webarcondicionado.com.br, 2018. [Online]. Available: <http://www.webarcondicionado.com.br/a-historia-do-ar-condicionado>. [Accessed: 03- Jan- 2018].
- [3] "Protocolo de Montreal no combate aos fluidos refrigerantes nocivos", Webarcondicionado.com.br, 2018. [Online]. Available: <http://www.webarcondicionado.com.br/protocolo-montreal-combate-aos-fluidos-refrigerantes-nocivos>. [Accessed: 03- Jan- 2018].
- [4] W. Digital, "O Que é Automação de Ar Condicionado? Veja AQUI!", Foneplan Audio, Vídeo e Automação, 2018. [Online]. Available: <http://foneplan.com.br/blog/automacao-de-ar-condicionado/o-que-e-automacao-de-ar-condicionado/>. [Accessed: 03- Jan- 2018].
- [5] M. Reis, "Internet das Coisas (IoT) Tudo o que você precisa saber - PROOF", PROOF, 2018. [Online]. Available: <http://www.proof.com.br/blog/internet-das-coisas/>. [Accessed: 02- Mar- 2018].
- [6] "O que é IoT - a Internet das Coisas?", Sala de Imprensa SAP Brasil, 2018. [Online]. Available: <https://news.sap.com/brazil/2016/05/12/o-que-e-iot-a-internet-das-coisas/>. [Accessed: 01- Mar- 2018].
- [7] A. Thomsen, "Medidor de corrente não invasivo com Arduino - FilipeFlop", FilipeFlop, 2018. [Online]. Available: <https://www.filipeflop.com/blog/medidor-de-corrente-sct013-com-arduino/>. [Accessed: 05- Dec- 2017].
- [8] A. Cia, "Sensor de temperatura e umidade DHT22 (AM2302)", Arduinoecia.com.br, 2018. [Online]. Available: <https://www.arduinoecia.com.br/2015/02/sensor-de-temperatura-e-umidade-dht22.html>. [Accessed: 12- Dec- 2017].
- [9] A. Cia, "Sensor de presença com módulo PIR DYP-ME003", Arduinoecia.com.br, 2018. [Online]. Available: <https://www.arduinoecia.com.br/2014/06/sensor-presenca-modulo-pir-dyp-me003.html>. [Accessed: 16- Dec- 2017].
- [10] A. Thomsen, "Como programar o módulo ESP8266 NodeMCU - FilipeFlop", FilipeFlop, 2018. [Online]. Available: <https://www.filipeflop.com/blog/esp8266-nodemcu-como-programar/>. [Accessed: 12- Dec- 2017].
- [11] MQTT Publish/Subscriber - Protocolos para IoT - Embarcados", Embarcados - Sua fonte de informações sobre Sistemas Embarcados, 2018. [Online]. Available: <https://www.embarcados.com.br/mqtt-protocolos-para-iot/>. [Accessed: 05- Dec- 2017].
- [12] P. Bertoleti, "Controle e Monitoramento IoT com NodeMCU e MQTT - FilipeFlop", FilipeFlop, 2018. [Online]. Available: <https://www.filipeflop.com/blog/controle-monitoramento-iot-nodemcu-e-mqtt/>. [Accessed: 12- Dec- 2017].
- [13] "NodeMCU - Como criar um Web Server e conectar a uma rede WIFI - BLOG MASTERWALKER SHOP", BLOG MASTERWALKER SHOP, 2018. [Online]. Available: <http://blogmasterwalkershop.com.br/embarcados/nodemcu/nodemcu-como-criar-um-web-server-e-conectar-a-uma-rede-wifi/>. [Accessed: 16- Dec- 2017].
- [14] M. Lopes, "Ar-condicionado: empresas apostam em tecnologia para torná-lo sustentável - TEM Sustentável", TEM Sustentável, 2018. [Online]. Available: <http://www.temsustentavel.com.br/ar-condicionado-empresas-apostam-em-tecnologia-para-torna-lo-sustentavel/>. [Accessed: 05- Jan- 2018].
- [15] "Sustentável, ar-condicionado utiliza água e energia solar para refrigerar", Webarcondicionado.com.br, 2018. [Online]. Available: <http://www.webarcondicionado.com.br/sustentavel-ar-condicionado-utiliza-agua-e-energia-solar-para-refrigerar>. [Accessed: 05- Jan- 2018].
- [16] "Tipos de aparelhos", Webarcondicionado.com.br, 2018. [Online]. Available: <http://www.webarcondicionado.com.br/tipos-de-aparelhos>. [Accessed: 05- Feb- 2018].
- [17] "Ar-condicionado Inverter: o que é e como funciona? — Komeco", Komeco.com.br, 2018. [Online]. Available: <https://komeco.com.br/blog/consumidor/ar-condicionado-inverter-o-que-e-e-como-funciona.html>. [Accessed: 05- Jan- 2018].



# Visão geral da tecnologia Bluetooth 5

Joice Caroline Felix  
Inatel  
joicecaroline@get.inatel.br

Vitor Rodrigues Di Toro  
Inatel  
vitorrodrigues@gec.inatel.br

Carlos Alberto Ynoguti  
Inatel  
ynoguti@inatel.br

Daniel Mazzer  
Inatel  
mazzer@inatel.br

**Abstract**—The aim of this article is to present the new capabilities of bluetooth 5.0 technology, focusing on the new mesh network functionality, evaluating the main features, functionalities and feasibility. We also make a brief comparison between the new version, bluetooth 5.0, and the previous version, bluetooth 4.2.

**Index Terms**—Mesh Network, Bluetooth Mesh, Bluetooth 5, IoT, Internet of Things.

**Resumo**—Pretende-se neste artigo apresentar as novas capacidades da tecnologia *bluetooth* 5.0, focando na nova funcionalidade de rede *mesh*, avaliando as principais características, funcionalidades e viabilidade. Realizando um breve paralelo entre a nova versão, *bluetooth* 5.0, e a anterior, *bluetooth* 4.2.

**Palavras chave**—Rede Mesh, Bluetooth Mesh, Bluetooth 5, IoT, Internet of Things.

## I. INTRODUÇÃO

Em 1994 a empresa L.M. Ericsson viu a necessidade de conectar seus dispositivos móveis a outros dispositivos sem a utilização de cabos. Prevendo a relevância deste trabalho, procurou outras quatro grandes empresas, IBM, Intel, Nokia e Toshiba, afim de desenvolverem um padrão aberto de tecnologia sem fio, que fosse capaz de interconectar dispositivos de comunicação e acessórios de computação através de um rádio de curto alcance, baixa potência e baixo custo [1].

A partir desta iniciativa, criou-se o grupo *Bluetooth Special Interest Group*, *Bluetooth SIG*, que deu início ao projeto *bluetooth*; um protocolo aberto, com suporte a diversas aplicações distintas, capaz de permitir que dispositivos de diferentes origens se conectem e transmitam dados com alta confiabilidade e segurança [1].

Atualmente, a tecnologia se encontra na versão 5.0, que foi idealizada para suportar e auxiliar a grande tendência de aplicações *IoT* (*Internet of Things*), que visa proporcionar inteligência computacional a objetos, a fim de coletar e transmitir dados, automatizar tarefas, simplificar afazeres e até permitir que tudo isso seja feito remotamente, mantendo um baixo consumo de energia, aumentando a eficiência energética (quando comparado com as versões anteriores) dando suporte a redes dinâmicas (*mesh*) e aumentando velocidade do tráfego e a área alcance do sinal. Junto a isto, a interoperabilidade com diversos dispositivos e maturidade alcançada no ecossistema *bluetooth*, a torna um grande atrativo para as indústrias de tecnologia, do setor automobilístico, da área de saúde e equipamentos médicos, dentre inúmeras outras [2].

A tecnologia *bluetooth* se faz presente em virtualmente todos os *smartphones*, *notebooks*, carros, dispositivos de entre-

tenimento e *wearables*. Segundo a *Bluetooth SIG*, atualmente, mais de 8,2 bilhões de dispositivos suportam a tecnologia [3].

Afim de alcançar uma melhor compreensão da versão 5.0 do *bluetooth* este artigo se propõe a fazer uma breve explicação dos conceitos fundamentais da tecnologia e se focar no principal diferencial da última versão, o suporte à rede *mesh*, priorizando o entendimento da estrutura do perfil *mesh*.

## II. A TECNOLOGIA BLUETOOTH

A tecnologia *bluetooth*, provê uma maneira rápida e fácil de criar conexões *wireless* de curto alcance, baixa potência e baixo custo, possibilitando a interconexão e interação de diversos dispositivos localizados a uma curta distância [1] [4] [5].

### A. Estrutura da rede clássica

Uma rede *bluetooth* típica, segue o paradigma de mestre e escravo. O nó mestre é o responsável por requisitar e transferir dados, além de controlar os nós escravos; enquanto os nós escravos apenas executam o que é determinado pelo mestre.

A unidade básica de uma rede *bluetooth* é uma *piconet*, que consiste em um dispositivo mestre e até sete dispositivos escravos ativos, localizados a uma distância limite. Esta distância varia a cada versão da tecnologia.

Quando a distância de comunicação é ultrapassada, um nó escravo pode ser utilizado como ponte, possibilitando interligar dispositivos a uma distância maior ou de redes diferentes. Quando se interligam diferentes *piconets* obtém-se uma *scatternet*, como mostrado na Figura 1.

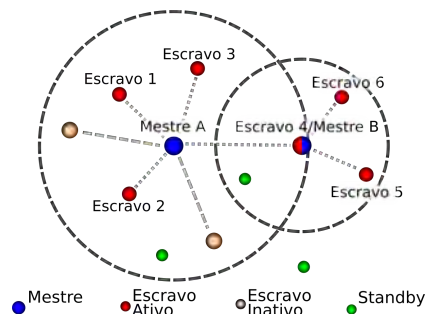


Fig. 1. Scatternet, formada pelas Piconets A e B [7].

Uma *piconet*, além de manter até sete dispositivos ativos, também pode manter até 255 dispositivos em repouso (*idle*), que são comutados para o estado ativo quando requisitados pelo mestre, permitindo uma maior economia de energia e consequentemente aumento o tempo de duração da bateria.



### B. Pilha de Protocolos do Bluetooth

O padrão *Bluetooth* se distingue estruturalmente de todos os demais modelos conhecidos, como o modelo OSI e o TCP/IP, isto é, a arquitetura de protocolos do *bluetooth* segue um modelo próprio, que pode ser observado na Figura 2.

A camada inferior, ou camada de rádio, é responsável por transmitir e lidar com as modulações de RF, sendo bem similar a camada física do modelo OSI e do modelo 802. Visando um sistema para aplicações em massa, a principal funcionalidade da camada física gira em torno da economia de energia.

A camada de controle de enlace (*link control*), é responsável por determinar como os dispositivos se comunicam com outros aparelhos *bluetooth* e definir o modo como o mestre controla os *time slots* e como o *slots* são agrupados em quadros. A camada de controle de enlace do *bluetooth* é bem semelhante à subcamada MAC do modelo OSI, porém com a adição de algumas propriedades e características da camada física [1].

O protocolo gerenciador de enlace e o protocolo L2CAP (*Logical Link Control Adaptation Protocol*) possuem funcionalidades tipicamente da camada de enlace do modelo OSI. O protocolo gerenciador de enlace é implementado no *chip bluetooth* e é responsável por estabelecer canais lógicos entre dispositivo, gerenciamento de energia, emparelhamento, criptografia e qualidade de serviço. O protocolo L2CAP é implementado no dispositivo que hospeda o *chip bluetooth*, e é responsável por oferecer enquadramento do tamanho das mensagens variadas e confiabilidade na comunicação, servindo como camada de ligação entre as camadas superiores e inferiores [1].

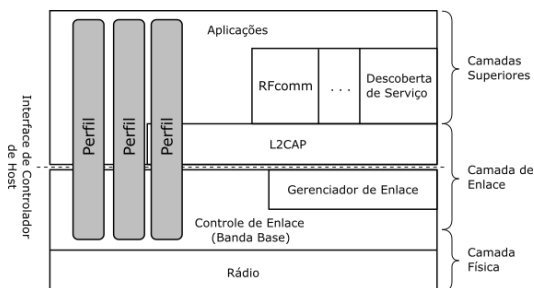


Fig. 2. Arquitetura de protocolos do *Bluetooth* [1].

A camada superior é onde estão localizadas todas as aplicações; a fim de manter a interoperabilidade e compatibilidade, as aplicações funcionam utilizando os perfis. Os perfis, localizados verticalmente, facilitam o desmembramento de protocolos, pois nem todas as aplicações necessitam de todos os protocolos para serem executadas, assim cada aplicação possui um perfil dedicado melhorando sua eficiência e garantindo sua eficácia.

### C. Frequência e Canais de Operação

Para facilitar a implantação da tecnologia *bluetooth*, escolheu-se trabalhar na frequência não licenciada de 2,4 GHz, com faixa de operação indo de 2,4 GHz a 2,48 GHz, divididos em 40 canais, com BW de 1 MHz, espaçados a 1 MHz. Os

canais 0 ao 36 são dedicados para tráfego de informações enquanto os canais 37 ao 39 são dedicados para sinalização.

A utilização da frequência não licenciada de 2,4 GHz acarretou um grande problema, diversas tecnologias concorrentes ou complementares operam livremente nesta mesma faixa de frequência o que gera muita interferência e afeta a qualidade do sinal.

As primeiras versões do *bluetooth* interferiam excessivamente com outras tecnologias, principalmente com a 802.11 (*Wi-Fi*), o que fez o *bluetooth* ser banida por algumas empresas, obrigando o grupo *Bluetooth SIG* a procurar uma solução que diminuíssem as interferências de comunicação [1] [8].

A primeira solução adotada foi a técnica de salto em frequência (*frequency hopping*), que consiste em alternar entre os canais de comunicação de forma aleatória, a uma taxa de 1600 vezes por segundo, reduzindo o número de interferências com tecnologias de frequência fixa; visto que as interferências ocorrem de forma aleatória e ocasional, como pode ser observado na Figura 3.

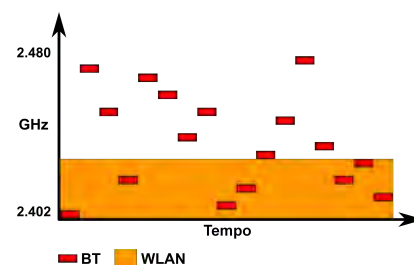


Fig. 3. Colisões resultantes do uso da técnica de salto em frequência [6].

Como a técnica de salto em frequência não foi tão efetiva quanto o esperado, pois continuava a interferir excessivamente com outras tecnologias, a nova proposta de solução foi adaptar a comunicação, de modo a evitar os canais que já estejam ocupados por alguma tecnologia de RF. Esta técnica de adaptação dos canais comunicação é chamada de salto adaptativo em frequência.

A técnica do salto adaptativo em frequência permite avaliar o ambiente de transmissão, identificando fontes fixas de interferência e excluindo-as da lista de canais disponíveis. Os canais excluídos recebem o nome de *bad channels*. Deste modo, é possível mapear e escolher a melhor frequência de transmissão antes de iniciar a comunicação entre dispositivos, como ilustrado na Figura 4.

Mesmo a sendo bastante notável a eficiência da solução de salto adaptativo em frequência, ela depende diretamente da técnica utilizada para mapear os canais. O dispositivo *bluetooth* deve ser capaz de indicar precisamente quais os canais devem ser evitados, porém este nem sempre é completamente eficiente, encontrando assim a necessidade de se implantar um gerenciador de links para auxiliar na verificação dos canais.

Um exemplo de cenário onde utiliza-se a técnica de salto adaptativo em frequência seria de um ambiente onde exista 3 roteadores *Wi-Fi*, cada um deles utiliza o canal 1, 6 ou 11 para a transmissão de dados e supondo que neste mesmo

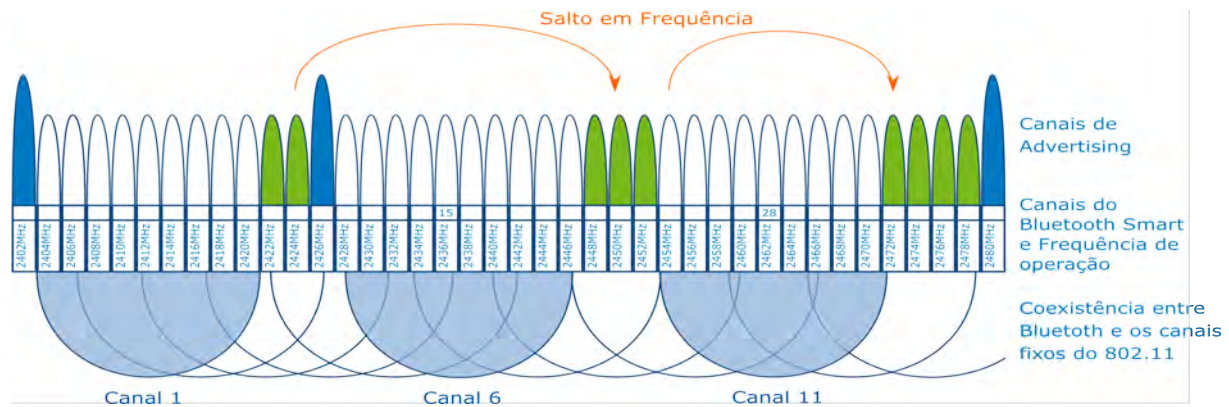


Fig. 4. Técnica de salto adaptativo em frequência aplicada devido aos canais coexistentes do Wi-Fi [11].

ambiente aja dispositivos *bluetooth* que desejam se comunicar, eles detectaram o possível conflito de frequência e evitaram utilizar os canais 0 ao 8, 11 ao 20 e 24 ao 32, que serão marcados como canais desfavoráveis (*bad channels*). Deste modo toda a transmissão será feita preferencialmente pelos canais 10, 21 ao 23 e 33 ao 36, como ilustrado na Figura 4.

### III. BLUETOOTH VERSÃO 5.0

Anunciado em 16 de Junho de 2016, pelo grupo *Bluetooth SIG*, a versão 5.0 do *bluetooth* tem como principal foco aplicações voltadas para *IoT* e sistemas inteligentes [10].

As principais melhorias implementadas na versão 5.0 do *bluetooth*, em comparação com a versão 4.2, podem ser observadas na Tabela I.

TABELA I  
COMPARAÇÃO ENTRE AS VERSÕES 4.2 E 5.0 DO *Bluetooth* [5].

CARACTERÍSTICA	VERSÃO 4.2	VERSÃO 5.0
Velocidade de Transmissão	1 Mb/s	2 Mb/s
Tamanho da Mensagem	31 Bytes	255 Bytes
Raio de Cobertura <i>Outdoor</i>	50 m	200 m
Raio de Cobertura <i>Indoor</i>	10 m	40 m

Além disso, a versão 5.0 do *bluetooth* provê uma melhor utilização dos canais durante transmissões, através do melhoramento da técnica de SAM (*Slot Availability Mask*), que possibilita a detecção e a prevenção de interferência oriundas de faixas de frequência vizinhas, afim de conseguir uma melhor co-existência entre dispositivos que competem pelas mesmas faixas de frequência, evitando retransmissões e permitindo uma melhor interoperação entre estes dispositivos [5] [12].

Para dar suporte à rede *mesh* a arquitetura da tecnologia *bluetooth*, mostrada na Figura 2, não sofreu alterações, pois a única mudança ocorrida na versão 5.0 foi a adição do suporte ao novo perfil criado, o *Mesh Profile*, que define e implementa a estrutura *mesh*. Desta forma é garantida a retrocompatibilidade com as versões anteriores, pois a versão 5.0 suporta todos os demais perfis suportados pelas versões anteriores.

#### A. Mesh Profile

A tecnologia de rede *bluetooth mesh* permite a intercomunicação de dispositivos no modo *many-to-many (m:m)*, o que a torna ideal para o desenvolvimento de sistemas integrados e soluções inteligentes, podendo interconectar até milhares de nós de forma confiável e segura [4] [5] [13].

Para compreender o funcionamento do perfil *mesh* é de suma importância a compreensão de alguns conceitos, sendo eles: Estado (*state*), Mensagem (*message*), Elemento (*element*), Modelo (*model*) e Topologia da rede Mesh, explicados nos itens a seguir.

#### B. State

O estado (*state*) representa a condição de um dispositivo. O estado mais simples é o estado *OnOff*, que pode possuir os valores de *On* ou *Off*, ideal para ser utilizado em uma lâmpada simples, por exemplo.

Um estado ainda pode ser de dois tipos, simples ou composto. Um estado simples trata-se de um estado monovalorado, como o estado *OnOff*, um estado composto é um estado multivalorado, por exemplos o estado *Color* de uma lâmpada *Hue*, que pode ter sua cor definida pelo nível de saturação e intensidade do brilho [14].

Com base no estado pode-se classificar um dispositivo em servidor ou cliente. O servidor é o dispositivo que possui um estado, por exemplo uma lâmpada, e o cliente é o dispositivo que consome e/ou manipula um estado, por exemplo um celular que controlaria esta lâmpada.

#### C. Message

Toda comunicação em uma rede *mesh* se dá por meio de troca de mensagens, tanto para sinalização e gerência da rede quanto para execução de qualquer comando ou ação realizada pelo usuário.

O conjunto de mensagens conhecidas por um dispositivo varia conforme o seu estado (*state*), pois é por meio de mensagens que um estado é consumido ou alterado.

#### D. Model

O modelo (*model*) é responsável por definir as funcionalidades básicas de cada nó, além dos estados necessários para o funcionamento, as mensagens conhecidas por cada estado e todas as demais características associadas ao comportamento do nó.

Segundo as especificações da *Bluetooth SIG*, um nó deve obrigatoriamente conter ao menos um modelo, porém não existe um número máximo de modelos em um nó. As especificações definem três modelos base distintos e cada aplicação implementa os modelos necessários com base em suas funcionalidades.

Os modelos base são o *Server Model*, o *Client Model* e o *Control Model*, com as seguintes características:

**Server Model** (Modelo de Servidor): define o conjunto de mensagens conhecidas pelo nó servidor e o comportamento do elemento após receber uma mensagem e antes de enviar uma mensagem. O nó servidor é definido como o nó que contém ao menos um estado (*state*) e é acessível por um ou mais clientes.

**Client Model** (Modelo de Cliente): define o conjunto de mensagens conhecidas pelo nó cliente, utilizadas para solicitar, alterar ou consumir o estado de um nó servidor. O nó cliente é definido como o nó que não possui estado e acessa um único nó servidor.

**Control Model** (Modelo de Controle): contém as funcionalidades de um modelo de cliente para se comunicar com um ou mais servidores, contém as funcionalidades de um modelo de servidor para se comunicar com um ou mais clientes e pode conter a lógica de controle, que coordena as interações entre os modelos interconectados.

Os modelos de cliente e servidor estão representados nas Figuras 5 e 6 e o modelo de controle está representado na Figura 6.

#### E. Element

Um elemento (*element*) é a menor entidade endereçável de um nó, também é responsável “abrigar” os modelos do nó. Como representado na Figura 5, na Figura 6 e na Figura 7.

Cada nó possui obrigatoriamente um elemento primário e pode ter um ou mais elementos secundários; convencionalmente, elementos secundários são utilizados para diferenciar diferentes partes de uma mesmo dispositivo. Por exemplo, uma régua de alimentação inteligente, que nada mais é do que a junção de diversas tomadas inteligentes em um único dispositivo, onde cada “tomada” é representada por um elemento, o que as torna diferenciáveis; pois elemento é único em um nó e responde à um endereço *unicast* próprio.

O elemento primário é endereçado a partir do primeiro endereço *unicast* atribuído ao nó durante o provisionamento e cada elemento secundário adicional é endereçado usando o próximo endereço válido. Esses endereços de elementos *unicast* permitem que os nós identifiquem qual elemento dentro de um nó está transmitindo ou recebendo uma mensagem; o número de elementos e suas estruturas são estáticos, isto é, não podem sofrer alterações enquanto o nó fizer parte de uma rede.

#### F. Paradigma Servidor, Cliente e Controle

Um nó da rede *mesh* funciona com base no paradigma Servidor, Cliente e Controle, baseados nos modelos explicados anteriormente. Estes modelos definem as características básicas do comportamento de cada dispositivo.

Para exemplificar o funcionamento deste paradigma, pode-se observar a Figura 5 e Figura 6.

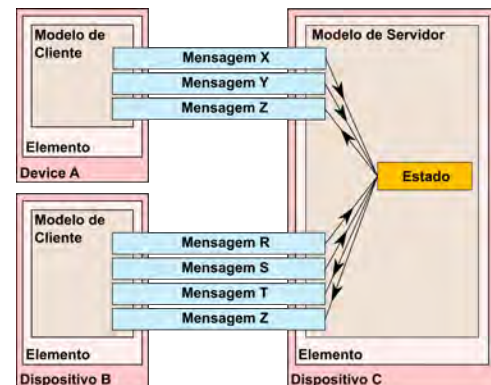


Fig. 5. Comunicação entre os modelos Cliente e Servidor [14].

Na Figura 5 mostra-se um dispositivo que implementa o modelo de servidor, o dispositivo C, com um único estado e que suporta as mensagens R, S, T, X, Y e Z; e dois outros dispositivos que implementam o modelo de cliente. O dispositivo A suporta as mensagens X, Y e Z, enquanto o dispositivo B suporta suporta as mensagens R, S, T e Z [14].

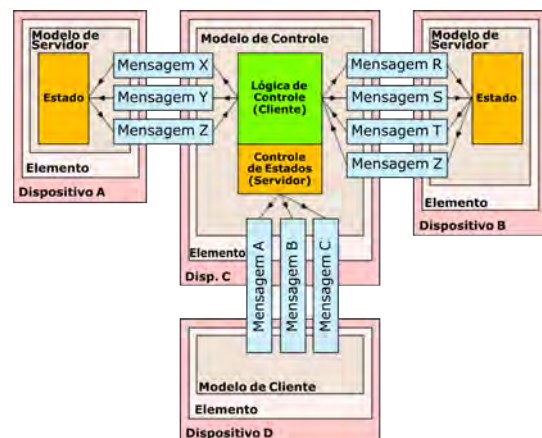


Fig. 6. Comunicação entre os modelos Cliente, Controle e Servidor [14].

Na Figura 6 mostra-se o modelo de controle, implementado no dispositivo C que pode se comunicar com os modelos de servidor, dispositivos A e B, passando-se por um cliente, através das mensagens X, Y e Z e das mensagens R, S, T e Z, respectivamente. O dispositivo C ainda pode se comunicar com o modelo de cliente, dispositivo D, passando-se por um servidor, através das mensagens A, B e C. De forma prática, o dispositivo D consegue controlar os dispositivos A e B graças ao dispositivo C que faz a “tradução” das mensagens [14].



Um exemplo prático da utilização do modelo de controle, apresentado na Figura 6, seria um controlador da iluminação de um ambiente. O controlador de iluminação precisa funcionar como cliente, para os sensores de luminosidade do ambiente, sensores de corrente da lâmpada e para cada lâmpada; e como servidor para cada dispositivo que possa controlar e/ou consultar a luminosidade do ambiente, como aplicativos de *smartphones* e dispositivos dedicados à esta função.

### G. Exemplo de Dispositivo

Para melhor exemplificar o conceito do uso de modelos dentro de elementos e como os modelos determinam os estados e o comportamento de um dispositivo, será tomado como exemplo uma hipotética régua de alimentação inteligente, com duas tomadas. O dispositivo idealizado possui um único rádio *bluetooth*, com o recurso de baixo consumo de energia (*low energy*), e duas tomadas independentes, que podem ser controladas separadamente.

No ponto de vista da rede *mesh*, a régua é um único nó e cada tomada é um elemento deste nó. Cada elemento contém os modelos que cada tomada inteligente requer para funcionar, como o modelo *Generic Power Level*, para gerenciar o estado e a tensão de cada tomada, e o *Sensor Server*, que permite o usuário obter o consumo instantâneo. Também existe neste exemplo o modelo *Health Server*, utilizado para fornecer um diagnóstico do dispositivo, e o *Configuration Server*, que existe única e exclusivamente no elemento primário e é o responsável por fazer a configuração do nó junto a rede *mesh* [14]. Esta estrutura de elemento e modelos é mostrado na Figura 7.

Nos modelos são definidos o conjunto de estados utilizados na manipulação de cada elemento, também é no modelo que se define as mensagens suportadas por cada estado.

No exemplo, o modelo *Generic Power Level Server* define os estados *Generic OnPowerUp*, *Generic Default Transition Time* e *Generic Power Current*, que é encadeado aos estados *Generic Level*, *Generic Power Last*, *Generic Power Default* e *Generic OnOff*. Por meio desses estados e utilizando as mensagens neles implementadas, o usuário pode definir qual a tensão RMS recebida pela carga, qual tensão padrão que a carga receberia assim que comutada para o estado de ligada, definir se a carga está on não recebendo corrente, entre outras funcionalidades.

Os modelos *Configuration Server*, *Health Server* e *Sensor Server* possuem um único estado cada. O *Configuration State*, utilizado para configurar o nó na rede, o *Health State* utilizado para saber se um dispositivo ainda está ativo na rede e o *Sensor State*, utilizado para informar a leitura atual do sensor.

As mensagens implementadas em cada estado, atuam como *getters* e *setters*, permitindo a manipulação e a obtenção do valor corrente de cada estado.

Vale ressaltar também que apesar da representação dos elementos *Health Server* e *Configuration Server*, na Figura 7, apresentarem a existência de uma única mensagem de entrada,

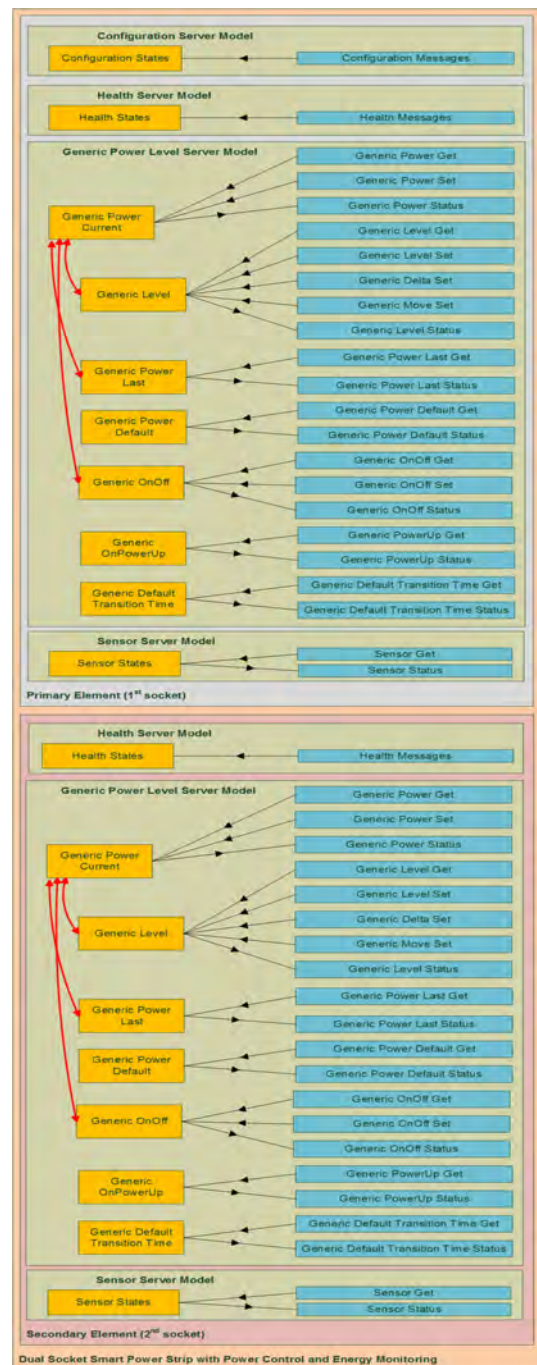


Fig. 7. Estrutura de elementos e modelos do exemplo ilustrativo [14].

ambos os modelos podem conter mensagens de saída, utilizadas para comunicar que o dispositivo permanece “vivo”/ativo na rede, e para troca de informações quanto à configuração do nó na rede *mesh*, respectivamente [14].

### H. Topologia

Quanto à topologia da rede *bluetooth mesh*, os dispositivos podem conter uma ou mais funcionalidades, como mostradas na Figura 8. Estas funcionalidades são:

*Friend*(suporte): suportam um ou mais nós *low power*,

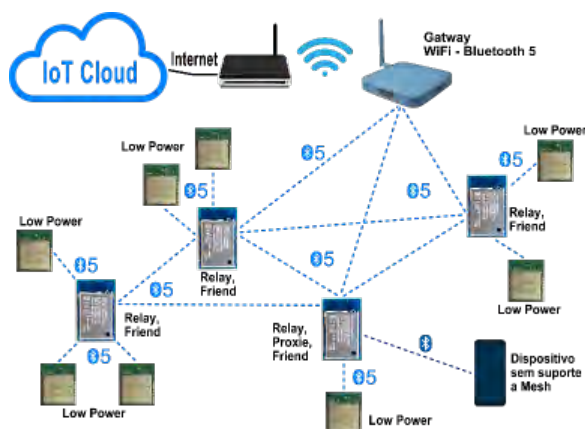


Fig. 8. Exemplo de rede *mesh*, contendo: nó *relay*, nó *proxy*, nó *friend*, nó *low power*, *gateway* e dispositivo *bluetooth* sem suporte a *mesh*.

armazenando e fornecendo, sempre que requisitados, todos os dados endereçados a cada nó *low power*, além de mantê-los atualizados quanto a trocas de chaves de acesso.

**Low Power** (baixo consumo): são caracterizados como dispositivos finais que utilizam o ciclo de trabalho reduzido e limitados quanto às suas funções. Para garantir atualizações das chaves de segurança, coordenar as transmissões e conexões é utilizado um nó *friend*, possibilitando a operação de baixa potência.

**Proxy**: são responsáveis por realizar a compatibilidade entre dispositivo *bluetooth mesh* e dispositivos *bluetooth* que contém apenas as versões anteriores da tecnologia, recebendo e transmitindo dados.

**Relay** (retransmissor): possui a capacidade de replicar mensagens entre diferentes nós da rede, a fim de ampliar a rede. Os nós *Relay* também são responsáveis por interconectar toda a rede, permitindo assim que ela se adapte de acordo com sua necessidade.

**Gateway**: é um nó capaz de traduzir mensagens entre a rede *mesh* e um dispositivo *non-bluetooth*, também podendo funcionar como um nó *Relay* para os demais nós da rede, tendo menor prioridade para esta tarefa. As especificações e métodos de tradução do nó *gateway* estão fora do escopo *SIG*.

#### IV. CONCLUSÃO

A capacidade do *bluetooth* 5.0 vai muito além do suporte à rede *mesh*, tendo ganhos e melhorias em todas as características existentes nas versões anteriores, como garantia do tempo máximos de entrega dos pacotes, aumento nas taxas de transmissão, aumento na área de alcance do sinal e uma melhoria significativa na interferência dos canais de transmissão. No entanto seu principal foco está nas redes de dispositivos voltados para IoT, fato este que promoveu a criação do perfil *mesh*.

O perfil *mesh* por sua vez demonstra-se muito conciso, mas com uma alta complexidade de compreensão e implementação, o que pode dificultar, ao menos no início, a utilização da rede *mesh* com diversos dispositivos, principalmente para aqueles cuja aplicação que necessite de *firmware* totalmente personalizado.

Apesar desta dificuldade inicial, os benefícios e facilidades advindos da utilização da rede *mesh* devem sobrepujar as dificuldades enfrentadas pelas empresas e desenvolvedores, visto que o grande potencial da tecnologia pode ajudar a salvar vidas, diminuir custos de operação, permitir monitoramentos mais precisos entre outros benefícios, tanto para empresas como para o usuário doméstico.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Tanenbaum, A. and Wetherall, D. (2011). Computer networks. 5th ed. Boston: Pearson Prentice Hall.
- [2] O. Vermesan and P. Friess. (2014). [eBook]. Internet of Things Applications - From Research and Innovation to Market Deployment. Aalborg: River Publishers. Disponível em: [http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IoT-From%20Research%20and%20Innovation%20to%20Market%20Deployment\\_IERC\\_Cluster\\_eBook\\_978-87-93102-95-8\\_P.pdf](http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IoT-From%20Research%20and%20Innovation%20to%20Market%20Deployment_IERC_Cluster_eBook_978-87-93102-95-8_P.pdf). [Acessado em 20 de Fevereiro de 2018].
- [3] Bluetooth 5 Quadruples Range, Doubles Speed, Increases Data Broadcasting Capacity by 800%. (2016, June). Bluetooth SIG Inc. Washington, EUA. [Online]. Disponível em: <https://www.bluetooth.com/news/pressreleases/2016/06/16/-bluetooth-5-quadruples-rangedoubles-speedincreases-data-broadcasting-capacity-by-800> [Acessado em 12 de Janeiro de 2018].
- [4] Bluetooth Mesh Overview. (2017, July). Bluetooth SIG Inc. Washington, EUA. [Online]. Disponível em: <https://www.bluetooth.com/-/media/files/marketing/bluetooth%20mesh%20overview.ashx> [Acessado em 2 de Janeiro de 2018].
- [5] Bluetooth Core Specification 5.0 FAQ. (2017, July). Bluetooth SIG Inc. Washington, EUA. [Online]. Disponível em: <https://www.bluetooth.com/-/media/files/specification/bluetooth-5-faq.ashx?la=en> [Acessado em 2 de Janeiro de 2018].
- [6] Adaptive Frequency Hopping for Reduced Interference between Bluetooth® and Wireless LAN. (2013, May). Design And Reuse. [Online]. Disponível em: <https://www.design-reuse.com/articles/5715/adaptive-frequency-hopping-for-reduced-interference-between-bluetooth-and-wireless-lan.html> [Acessado em 1 de Março de 2018].
- [7] UFRJ - GTA. (2011). Bluetooth A Tecnologia. [Online]. Disponível em: [https://www.gta.ufrj.br/grad/10\\_1/bluetooth/tecnologia.html](https://www.gta.ufrj.br/grad/10_1/bluetooth/tecnologia.html) [Acessado em 12 de Janeiro de 2018].
- [8] Bluetooth Adaptive Frequency Hopping on a R&S CMW. (n.d.). [eBook]. Mühlendorfstraße 15/181671 Munich, Germany: Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG. Disponível em: [https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl\\_downloads/dl\\_application/application\\_notes/1c108/1C108\\_0e\\_Bluetooth\\_BR\\_EDR\\_AFH.pdf](https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/1c108/1C108_0e_Bluetooth_BR_EDR_AFH.pdf) [Acessado em 4 de Fevereiro de 2018].
- [9] F. C. A. T. X. de Oliveira and H. B. Filho. "Spread Spectrum: Processos de Transmissão". (02-Nov-2015). [Online]. Disponível em: [http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialss/pagina\\_2.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialss/pagina_2.asp). [Acessado em 04 de Fevereiro de 2018].
- [10] Bluetooth SIG. (2017). Bluetooth Core Specifications. [Online]. Disponível em: <https://www.bluetooth.com/specifications/bluetooth-core-specification> [Acessado em 3 de Fevereiro de 2018].
- [11] Microchip. Bluetooth Low Energy Channels. [Online]. Disponível em: <http://microchipdeveloper.com/wireless/ble-link-layer-channels> [Acessado em 3 de Fevereiro de 2018].
- [12] Bluetooth Core Specification. (2016, December). Bluetooth SIG Inc. Washington, EUA. [Online]. Disponível em: [https://www.bluetooth.org/DocMan/handlers/DownloadDoc.ashx?doc\\_id=421043](https://www.bluetooth.org/DocMan/handlers/DownloadDoc.ashx?doc_id=421043) [Acessado em 27 de Dezembro de 2017].
- [13] The Case for Bluetooth Mesh. (2017, July). Bluetooth SIG Inc. Washington, EUA. [Online]. Disponível em: <https://www.bluetooth.com/bluetooth-technology/topology-options/le-mesh/case-mesh> [Acessado em 2 de Janeiro de 2018].
- [14] Mesh Profile Specification. (2017, July). Bluetooth SIG Inc. Washington, EUA. [Online]. Disponível em: [http://www.bluetooth.org/docman/handlers/downloaddoc.ashx?doc\\_id=429633](http://www.bluetooth.org/docman/handlers/downloaddoc.ashx?doc_id=429633) [Acessado em 27 de Dezembro de 2017].

# Controle da Topologia de Redes de Sensores sem Fio para Otimização do Consumo de Energia

Izabela Gomes Tardioli Edielson Prevato Frigieri Antonio Alves Ferreira Junior Rosimara Beatriz Arci Salgado

Inatel

Inatel

Inatel

Inatel

izabelatardioli@get.inatel.br

edielsonpf@gmail.com

antonioa@inatel.br

rosimara@inatel.br

**Abstract**—Currently, the devices interact with each other through the Internet, a concept called Internet of Things (IoT). These devices receive, store, and transmit data. The purpose of this article is to minimize transmission power in each device (node) with the entire IoT network connected, considering the link uncertainty. To perform this energy control, the Prim algorithm was used to find the optimum network topology. For the uncertain link robustness design, the network fading of sensors is considered to generate fluctuations around the mean level of the local signal, which is modeled with the log-normal distribution. A random network was generated to simulate scenarios, considering the standard deviation of transmission power and the network survival parameter.

**Index Terms**—Power control, log-normal distribution, Internet of Things, wireless sensor network.

**Resumo**—Atualmente, os dispositivos interagem entre si através da Internet, conceito denominado Internet das Coisas (*Internet of Things- IoT*). Esses dispositivos recebem, armazenam e transmitem dados. A proposta desse artigo é minimizar a potência de transmissão em cada dispositivo (nó) com toda a rede *IoT* conectada, considerando a incerteza de enlace. Para fazer esse controle de energia foi utilizado o algoritmo de Prim para encontrar a topologia ótima de rede. Para o projeto de robustez de enlace incerto, o desvanecimento em rede de sensores foi considerado para gerar flutuações em torno do nível médio do sinal local, que é modelado com a distribuição log-normal. Uma rede aleatória foi gerada para simular cenários, considerando o desvio padrão da potência de transmissão e o parâmetro de sobrevivência da rede.

**Palavras chave**—Controle de energia, distribuição log-normal, Internet das Coisas, rede de sensores sem fio.

## I. INTRODUÇÃO

A Internet das coisas tem estado em desenvolvimento há décadas, embora o conceito *Internet of Things* não tenha sido usado até 1999 [1]. Os computadores, ou quaisquer dispositivos conectados à Internet, eram quase totalmente dependentes de seres humanos para obter informações. Atualmente, os computadores reúnem grande quantidade de dados sem ajuda do ser humano. A proposta da *IoT* é minimizar o desperdício, a perda e o custo de dados.

Para obter o funcionamento de uma rede *IoT* considera-se a restrição de energia dos dispositivos conectados. Para o melhor desempenho dessa rede deve-se ter a melhor potência de transmissão, ou seja, mínimo de potência de transmissão em cada nó, com toda a rede conectada [2]. Para fazer esse controle de energia, deve-se modificar a topologia da rede sem fio com base na relação entre os vizinhos e de acordo

com determinados critérios. Para esse fim, foi usado o método proposto por Silva et. al. que utiliza o algoritmo de Prim para encontrar a topologia ótima da rede [3].

Com aplicações em telecomunicações, agricultura de precisão, logística, redes inteligentes, segurança, vigilância, monitoramento de habitat, saúde, entre outras, a pesquisa de rede de sensores está se tornando cada vez mais prática, em que o nível de realismo em todos os aspectos da pesquisa dessa rede está ficando mais importante. Dessa forma, a utilização de modelos precisos de perda de propagação é, portanto, de extrema importância nessa pesquisa [4].

A maioria das redes exibe algum tipo de desvanecimento, ou seja, uma variação estocástica na potência do sinal recebido que pode ser causada por propagação, dispersão ou obstrução de multicaminho. Desvanecimento é um fenômeno espacial, ou seja, o nível de desvanecimento depende da posição de um nó e somente varia ao longo do tempo se os nós transmissores e/ ou receptores (ou objetos em seus arredores) se movem [5].

O tempo de vida de rede de sensores é afetado significativamente pela atribuição ideal de níveis de potência de transmissão e a extensão das retransmissões devido a falhas de pacotes que dependem da modelagem correta da perda de caminho.

Em geral, a perda de caminho não é determinística, em vez disso, é estocástica. Além disso, pode ser diferente ao longo do tempo e pode mudar rapidamente de acordo com a frequência/cenário usado.

O desvanecimento em rede de sensores gera flutuações em torno do nível médio do sinal local, que é modelado com a distribuição log-normal. As medições do nível do sinal são amostras de valor real discretos em decibels. Portanto, deseja-se estimar o nível de sinal médio local ao encontrar a média das amostras. Essa estimativa deve ser em decibels (dB) porque são frequentemente usados nas várias funções de um sistema, como acesso ao canal, controle de potência e transferência [4]. Este artigo, portanto, propõe otimizar energia para rede de sensores sem fio com incerteza de enlace utilizando distribuição probabilística.

## II. DESENVOLVIMENTO

Considere uma rede de sensores um grafo indireto  $\mathcal{G} = (\mathcal{N}, \mathcal{L})$  composto por um conjunto de nós  $\mathcal{N}$  e um conjunto de enlaces indiretos  $\mathcal{L}$ . Todos os nós têm o objetivo de mandar seus pacotes para um nó *sink*, responsável por retransmitir



a informação local da rede para um ambiente ou uma rede externa.

#### A. Conexão de enlace

A sensibilidade do receptor  $s$  é a intensidade do sinal de limiar necessário para a recepção e é conhecida como constante a priori [6], a mesma para todos os nós. Particularmente, para uma recepção de sucesso, tem-se:

$$P_i^t - PL(d_{ij}) \geq s, \forall (i, j) \in \mathcal{L}, i \in \mathcal{N}. \quad (1)$$

$$l_{ij}(P_i^t) = \begin{cases} 0 & \text{if } \rho_{ij} < s \\ 1 & \text{if } \rho_{ij} \geq s \end{cases}, \forall (i, j) \in \mathcal{L}, i \in \mathcal{N} \quad (2)$$

onde  $\rho_{ij} = P_i^t - PL(d_{ij})$  é o nível da potência recebida ao nó  $j$  quando  $i$  transmite com potência  $P_i^t$  e  $PL(d_{ij})$  é a perda de caminho associada ao enlace  $(i, j)$ .

#### B. Distribuição log-normal

Existem variações aleatórias na perda de propagação devido à desordem ambiental, resultado de bloqueio de objetos no caminho de propagação ou de mudanças em objetos refletidos e espalhados. Com um resultado, perda de propagação de diferentes localizações tem a mesma distância T-R que pode variar consideravelmente.

Portanto, a característica não determinística da perda de propagação deve ser capturada usando modelos estatísticos, o que é o mais comum é a distribuição log-normal [4], dada como:

$$PL(d) = PL(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (3)$$

onde  $X_\sigma$  é a uma variável aleatória de distribuição Gaussiana de média zero com desvio padrão  $\sigma$  (ambos em dB). Em aplicações práticas, valores de  $n$  e  $\sigma$  são calculados usando a regressão linear dos dados medidos.

#### C. Declaração do problema de otimização

A potência total de uma rede pode ser calculada como:

$$\Gamma_{total} = \sum_{i \in \mathcal{N}} P_i^t. \quad (4)$$

Ao encontrar o caminho de distância mínimo que liga todos os nós ao nó *sink*, é possível ajustar uma potência de transmissão mínima para todos os nós, reduzindo o consumo total de energia na rede.

#### D. Fase de otimização de potência: formulação do modelo

Minimizar:

$$z = \sum_{i \in \mathcal{N}} P_i^t \quad (5)$$

sendo  $z_{ij}$  a variável que indica se o enlace  $(i, j)$  foi selecionado.

Sujeito à:

$$y_i \geq PL(d_{ij}), \forall j \in \mathcal{N}, \forall i \in \mathcal{N} \quad (6)$$

$$y_i \leq P_i^t - s, \forall i \in \mathcal{N} \quad (7)$$

$$y_i \geq 0, \forall i \in \mathcal{N} \quad (8)$$

$$P_{min}^t \leq P_i^t, \forall i \in \mathcal{N} \quad (9)$$

#### E. Projeto da rede de sensores com enlace incerto

O objetivo é analisar a distribuição dos pesos da Árvore Geradora Mínima (*Minimum Spanning Tree- MST*) de uma determinada rede quando os pesos de ramo (custos) não são conhecidos com certeza. Esse tipo de problema é um problema de otimização de rede multidata em que o valor atribuído a um ramo é uma variável aleatória. Para representar esse tipo de problema,  $G$  é uma rede com  $n$  vértices e ramos  $\{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ . Uma variável aleatória discreta  $X_{e_i}$  é associada com cada ramo  $e_i$ . Além disso, suponha que todas as variáveis aleatórias dos ramos  $X_{e_i}$  comportam-se independentemente e  $X = \{X_{e_1}, \dots, X_{e_m}\}$ . Desta forma, o modelo pode ser reescrito da seguinte forma:

Minimizar:

$$z = \sum_{i \in \mathcal{N}} P_i^t \quad (10)$$

Sujeito à:

$$y_i \geq PL(d_{ij}), \forall j \in \mathcal{N}, \forall i \in \mathcal{N} \quad (11)$$

$$\mathbb{P}(y_i > P_i^t - s) \leq \alpha, \forall i \in \mathcal{N} \quad (12)$$

$$y_i \geq 0, \forall i \in \mathcal{N}$$

$$P_i^t \geq P_{min}^t, \forall i \in \mathcal{N}$$

A restrição representada pela equação (12) não pode ser resolvida diretamente pelo algoritmo de otimização e portanto deve ser alterada. Uma vez que a soma das variáveis aleatórias Gaussianas também é Gaussiana, o lado esquerdo dessa restrição pode ser reescrita utilizando a mesma técnica que Johnston [6], normalizando a equação (12), obtendo a equação (13).

$$\mathbb{P}(y_i > P_i^t - s) \quad (13)$$

$$\begin{aligned} &= \mathbb{P}\left(\frac{y_i - \mu_i}{\sigma_i} > \frac{(P_i^t - s) - \mu_i}{\sigma_i}\right) \\ &= 1 - \phi\left[\frac{P_i^t - s - \mu_i}{\sigma_i}\right] \end{aligned}$$

Consequentemente, o problema da restrição pode se reformulado como:

$$\mathbb{P}(y_i > P_i^t - s) \leq \alpha \quad (14)$$

$$\begin{aligned}
1 - \phi \left[ \frac{P_i^t - s - \mu_i}{\sigma_i} \right] &\leq \alpha \\
-\phi \left[ \frac{P_i^t - s - \mu_i}{\sigma_i} \right] &\leq \alpha - 1 \\
\phi \left[ \frac{P_i^t - s - \mu_i}{\sigma_i} \right] &\geq 1 - \alpha \\
\frac{P_i^t - s - \mu_i}{\sigma_i} &\geq \phi^{-1}(1 - \alpha)
\end{aligned}$$

Portanto, a potência de transmissão, para cada nó da rede, pode ser calculada da seguinte forma:

$$P_i^t \geq \phi^{-1}(1 - \alpha)\sigma_i + \mu_i + s$$

Logo, o modelo pode ser reescrito da forma:

$$z = \sum_{i \in N} P_i^t \quad (15)$$

$$P_i^t \geq \phi^{-1}(1 - \alpha)\sigma_i + \mu_i + s, \forall i \in N \quad (16)$$

$$y_i \geq 0, \forall i \in N$$

$$P_i^t \geq P_{min}^t, \forall i \in N$$

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Programou-se o modelo proposto na linguagem de programação Python e utilizou-se o solver Gurobi para otimização da rede. Uma rede aleatória foi fixada e foi gerado experimentos aumentando o desvio padrão e o parâmetro de sobrevivência da rede.

Foi gerado um cenário fixo no qual os nós possuem a mesma posição. Para garantir isso, foi preciso configurar a semente do gerador de números aleatórios utilizados para gerar a posições dos nós. Uma vez que os nós estão em posição fixa, otimizou-se a rede com desvio padrão zero. Os resultados da potência de transmissão de todos os nós foram anotados. Em seguida, aumentou-se gradativamente o desvio padrão e otimizou-se a rede novamente, anotando a potência final dos nós. Depois outro experimento foi realizado aumentando o parâmetro de sobrevivência da rede, modelado como sendo  $\phi^{-1}(1 - \alpha)$ .

A potência máxima inicial de cada nó é de 27 [dBm], ou seja  $y_{max} = 27$  [dBm]. Este modelo é derivado do modelo apresentado no artigo de Silva et. al. [3]. Os níveis de potência de Silva são menores do que os níveis de potência do modelo deste artigo, pois o modelo de Silva considera apenas a potência média e a sensibilidade do rádio. Conforme pode ser visto na Tabela I, o resultado para  $\sigma=0$  representa o modelo proposto por Silva et. al. [3], que não considera as variações do canal. Este trabalho propõe um modelo de otimização robusto no qual considera as variações do canal a partir do valor da variancia  $\sigma^2$ . Desta forma, para qualquer valor de  $\sigma > 0$ , o valor de potência dos radios tendem a ser maiores que o obtido

pela solução sem variância, conforme pode ser visto na Tabela I.

As Tabelas I e II mostram a potência de transmissão dos nós de diferentes cenários com valores em dBm. Nota-se níveis maiores de potência para o modelo robusto cuja a variância da rede é considerada.

Atrável dos gráficos da Figura 1 é possível verificar o comportamento do modelo proposto. Fixando o nível de sobrevivência da rede, a medida que aumenta-se a variância do canal, ou seja, o desvio padrão da atenuação do percurso, o modelo tende a especificar uma maior potência de transmissão a fim de garantir a sobrevivência da rede.

Da mesma forma, os gráficos da Figura 2 mostram o comportamento da rede ao fixar a variância do canal. Neste caso, ao diminuir o parâmetro de sobrevivência da rede, ou seja aumentando o valor de  $\alpha$ , o desvio padrão da potência de transmissão aumenta. Dessa forma, o modelo também tende a especificar um maior nível de potência de transmissão necessária nos rádios.

TABELA I

POTÊNCIA DE TRANSMISSÃO EM [dBm] DOS NÓS COM DESVIO PADRÃO VARIÁVEL E PARÂMETRO DE SOBREVIVÊNCIA FIXO.

$\alpha=0,9$	$\sigma=0$	$\sigma=0,25$	$\sigma=0,75$	$\sigma=1$
Ptx[0]	19,5397	19,8656	20,5175	20,8434
Ptx[1]	8,8201	9,1469	9,8005	10,1273
Ptx[2]	19,5397	19,8580	20,4946	20,8129
Ptx[3]	8,8201	9,15623	9,8287	10,1648
Ptx[4]	20,3121	20,6378	21,2894	21,6152

TABELA II

POTÊNCIA DE TRANSMISSÃO EM [dBm] DOS NÓS COM DESVIO PADRÃO FIXO E PARÂMETRO DE SOBREVIVÊNCIA VARIÁVEL.

$\sigma=0,5$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,8$	$\alpha=0,9$	$\alpha=0,99$	$\alpha=0,999$
Ptx[0]	19,5407	19,9678	20,1915	20,7203	21,1118
Ptx[1]	8,8279	9,2517	9,4737	9,9984	10,3869
Ptx[2]	19,5197	19,9506	20,1763	20,7098	21,1047
Ptx[3]	8,8279	9,2640	9,4925	10,0325	10,4323
Ptx[4]	20,3170	20,7414	20,9636	21,4890	21,8779

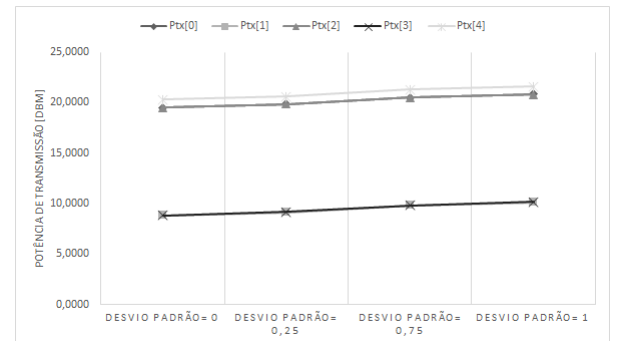


Fig. 1. Potência de transmissão dos nós com parâmetro de sobrevivência da rede= 0,1.

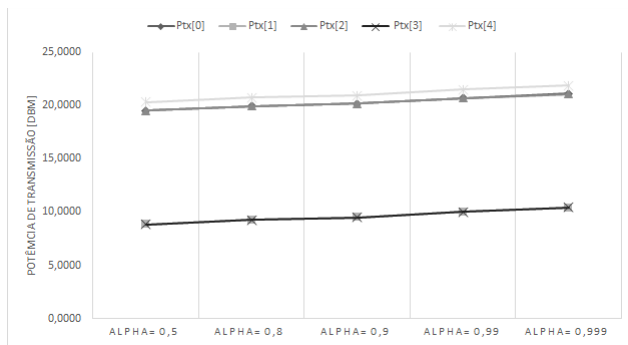


Fig. 2. Potência de transmissão dos nós com desvio padrão= 0,5.

#### IV. CONCLUSÕES

Neste artigo foi proposto um método robusto de controle da topologia de redes de sensores sem fio com enlaces incertos para otimização do consumo de energia.

Após analisar diferentes cenários, considerando variações probabilísticas de potência e parâmetro de sobrevivência da rede, observou-se os valores de potência de cada nó.

Com base nos resultados, é possível afirmar que parâmetro de sobrevivência controla o desvio padrão da potência de transmissão da rede. Quanto maior o parâmetro, menor é o

desvio padrão. Quanto menor o parâmetro, maior o desvio padrão. Ou seja, quanto maior for o parâmetro, maior será a robustez da rede.

O algoritmo otimizou a potência de transmissão de cada nó considerando os valores de desvio padrão e parâmetro de sobrevivência, respeitando a equação calculada (16). Portanto, o modelo faz o que se propõe.

#### REFERÊNCIAS

- [1] RFID Journal, "That 'Internet of Things' Thing", p. 1, 2010.
- [2] R. Asorey-Cacheda, A. García-Sánchez, F. García-Sánchez, J. García-Haro and F. González-Castano, "On Maximizing the Lifetime of Wireless Sensor Networks by Optimally Assigning Energy Supplies", *Sensors*, vol. 13, no. 8, pp. 10219-10244, 2013.
- [3] Silva, E. Gomes and E. Frigieri, "Controle da Topologia de Redes de Sensores sem Fio para Economia de Energia Baseado no Algoritmo de Prim", *Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação*, vol. 6, no. 1, pp. 9-14, 2016.
- [4] S. Kurt and B. Tavli, "Path-Loss Modeling for Wireless Sensor Networks: A review of models and comparative evaluations.", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 59, no. 1, pp. 18-37, 2017.
- [5] M. Haenggi, "Link Modeling with Joint Fading and Distance Uncertainty", 2006 4th International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks.
- [6] M. Johnston, Hyang-Won Lee and E. Modiano, "Robust Network Design for Stochastic Traffic Demands", *Journal of Lightwave Technology*, vol. 31, no. 18, pp. 3104-3116, 2013.

# Estudo e aplicação de dispositivos para administrar minicursos de IoT

Bruno Pereira Garcia Caputo  
Inatel  
brunocaputo@gec.inatel.br

Rafaela Monteiro Terra  
Inatel  
rafaelatterra@gec.inatel.br

Carlos Alberto Ynoguti  
Inatel  
ynoguti@inatel.br

**Resumo**—O objetivo deste artigo é relatar as experiências referentes ao aplicativo Blynk e da plataforma Arduino UNO. As pesquisas foram realizadas com o intuito de criar um minicurso que ensine aos estudantes o conceito da Internet das coisas, utilizando as ferramentas citadas. Ao fim deste trabalho de pesquisa é apresentado o curso desenvolvido, descrição das ferramentas utilizadas, seus funcionamentos e os dados obtidos.

**Palavras chave**—Blynk, Arduino, IoT.

**Abstract**—The objective of this article is to report the experiences related to the Blynk app and the Arduino UNO platform. The research was carried out with the purpose of creating a minicourse that teaches students the concept of the Internet of Things, using the aforementioned tools. At the end of this research is presented the course developed, description of the tools used, their workings and the data obtained.

**Index Terms**—Blynk, Arduino, IoT.

## I. INTRODUÇÃO

Internet das Coisas representa a ligação entre objetos conectados à rede de internet com infinitas possibilidades de conexão, criando um ecossistema onde qualquer situação possa ser controlada, rastreada e acompanhada. Estes objetos quando conectados à nuvem, coletam e transmitem dados, que apresentam soluções em potencial para melhorar a vida das pessoas. Dentre essas melhorias estão a economia de energia, segurança, saúde, entre outros aspectos do cotidiano.

Com a popularização dos telefones móveis, é possível abranger o desenvolvimento de aplicações integrando a IoT e que têm a finalidade de controlar coisas conectadas à rede.

Dentre os projetos que podem ser desenvolvidos com a utilização das ferramentas ensinadas no minicurso, o que mais se destaca é a automação residencial. A busca por comodidade fez com que o controle destes sistemas através de um *smartphone* exija um aplicativo que possa executar as tarefas. Sendo assim, os minicursos ministrados são focados tendo base em aplicações deste nível e que possam acrescentar algo no conhecimento dos cursistas.

### A. O minicurso

Para ensinar os alunos sobre o que está por trás da IoT, um minicurso foi idealizado para oferecer uma nova interação entre os alunos e a Internet das Coisas, através da apresentação do tema e do download do aplicativo Blynk em seus *smartphones*.

Ao longo do ano de 2017 foram ministrados dois minicursos durante eventos feitos dentro do Inatel, o Incitel e a Fetin.

Na Feira Tecnológica do Inatel (a Fetin), o curso contou com a presença de alunos estrangeiros que vieram visitar o instituto. Como a dinâmica de assistência aos alunos deu certo, foi expandido o público a ser atendido pelo minicurso. O curso aconteceu para os voluntários da Casa Viva, com a proposta de que durante as aulas ministradas por esses voluntários, eles apresentem o que foi aprendido às crianças e adolescentes que fazem parte desse projeto do Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel), que atende alunos de escolas públicas de Santa Rita do Sapucaí.

Para utilizar o aplicativo proposto pelo curso, todos devem cadastrar sua conta de e-mail (o aplicativo permite que o usuário possa ter acesso com a conta do Facebook). Uma vez logados, o app gera um *AUTH TOKEN* (um código que funciona como um endereço) para possibilitar uma conexão entre o *smartphone* e os comandos da IDE do Arduino. Feito esse procedimento, é necessário alterar algumas linhas no código, como por exemplo, indicar o nome e a senha da rede WiFi em que os dispositivos estão conectados. Após essas configurações, compila-se o código no microcontrolador e quando executados os comandos no aplicativo, é possível fazer várias experiências com o material usado, dentro da área de IoT.

Nas experiências, executam-se algumas atividades através do aplicativo como acender, desligar e aumentar a intensidade de um led. Também foram adotadas experiências com LEDs RGB, que possuem um conjunto de três leds encapsulados, cada um com uma cor distinta: vermelho, verde e azul. Eletronicamente, cada cor pode variar sua intensidade numa escala de 0 a 255 de tensão sendo que, quando combinadas as três cores, é possível a formação de mais de 16 milhões de combinações diferentes. É possível, assim, demonstrar aos alunos as alterações de cor com um simples toque no aplicativo, possibilitando-lhes a visualização da proposta trazida pela IoT.

### B. Aprimoramento do minicurso

Sabendo que as ferramentas utilizadas não têm a melhor performance, deu-se início à pesquisas relacionadas a um novo método para realizar as aplicações propostas.

Após pesquisas, chegou-se a conclusão de que a utilização do protocolo MQTT conectado a uma Raspberry Pi e um computador teria uma melhor comunicação e uma complexidade diferente. MQTT é um protocolo destinado a enviar e

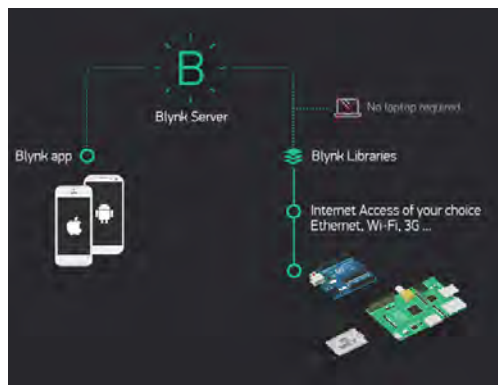


Fig. 1. Arquitetura de funcionamento do Blynk

receber mensagens entre dispositivos IoT. O modo de trabalho desse protocolo é como publicador e subscritor, o que significa que o usuário pode tanto receber quanto enviar a informação e tudo isso é feito com o servidor em nuvem denominado *Broker*.

Para o MQTT, existem três elementos principais:

- O Computador, que atuará como Broker;
- O Raspberry Pi, que executará, por exemplo, a linguagem Python;
- O ESP8266 (Shield WiFi), que controlará o Led.

Para o funcionamento, é necessário que o Raspberry Pi envie mensagens para o Broker para informar o que fazer com o dispositivo conectado ao ESP8266.

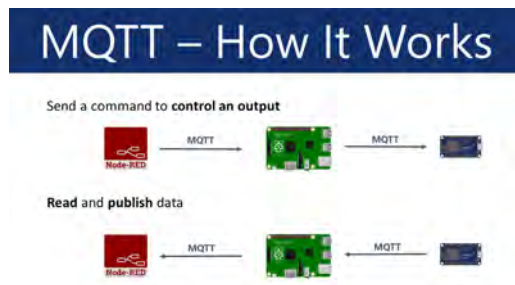


Fig. 2. Comunicação com MQTT

## II. METODOLOGIA

Dentre os inúmeros objetivos da criação do minicurso, um dos principais é permitir que os novos alunos possam ter maiores oportunidades no mercado de trabalho através de um conhecimento técnico específico na IoT.

A primeira parte do desenvolvimento do projeto foi o estudo do aplicativo Blynk. Após feitas diversas pesquisas sobre a relação do aplicativo e a IoT, também foi identificado que para que seja possível desenvolver as experiências, é necessário uma plataforma que possibilite o usuário se conectar numa rede de Internet. Estando o *smartphone* e a plataforma utilizada conectados na mesma rede, uma comunicação entre os dispositivos é feita.

## III. DESENVOLVIMENTO

### A. Blynk

Blynk é um aplicativo disponível para Android e iOS, que tem a função de que o usuário desenvolva projetos básicos na área da Internet das coisas. Possui um painel de controle digital onde pode-se criar uma interface gráfica, que controla o hardware remotamente, recebendo ou enviando informações que podem ser vistas na tela do app.

Blynk é parcialmente open source (é possível alterar seu código fonte livremente): o servidor e as bibliotecas possuem código aberto, enquanto o aplicativo móvel é código fechado.

O funcionamento do app consiste em três composições:

- App Blynk: Parte principal, onde o usuário monta sua interface para controle manual (front-end);
- Servidor Blynk: É o responsável pela comunicação entre o dispositivo móvel e o hardware;
- Bibliotecas Blynk: Há bibliotecas para todas as plataformas compatíveis com o aplicativo.



Fig. 3. Tela de desenvolvimento de projeto no Blynk

Além do aplicativo, servidor e bibliotecas, é necessário uma conexão com uma rede e uma plataforma.

Inicialmente o aplicativo foi escolhido para o minicurso devido seu fácil manejo e permitir que a comunicação com uma plataforma microcontrolada possa ser realizada sabendo o básico de alguma linguagem de programação. Também é possível que as plataformas sejam controladas remotamente, de forma que os dados obtidos a partir das experiências possam ser analisados pelos alunos em tempo real, permitindo a visualização do princípio da internet das coisas.

### B. Arduino e Shield WiFi

Como o Blynk não está vinculado a uma placa ou shield específico, pode ser usado qualquer suporte de hardware. Por esse motivo, a fim de um fácil entendimento de como é o funcionamento da IoT, optou-se por utilizar-se o Arduino como conexão, por seu fácil manuseio e melhor usabilidade.

Arduino é uma placa composta por um microcontrolador Atmel, circuitos de entrada/saída e pode ser facilmente conectado a um computador e programado via IDE (Integrated Development Environment, ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado), utilizando uma linguagem baseada em C/C++, sem a necessidade de equipamentos extras além de um cabo USB. Para que as experiências com a IoT fossem feitas, utilizou-se o *Shield WiFi* ESP8266 da Sparkfun, uma plataforma eletrônica *open source* em hardware.

Um Shield é o mesmo que um periférico específico. No caso do utilizado para as experiências, ele é para uso com o Arduino ou outras plataformas com a mesma configuração.

O ESP8266 aceita programação por comandos AT (forma básica de configurá-lo e acioná-lo quando está sob controle de um equipamento externo) via interface serial e atualização de firmware.

Possui as seguintes especificações:

- Utilização com placas Arduino R3;
- Conexão rede wireless: 802.11 b/g/n;
- Modos WiFi Direct (P2p) e soft-AP;
- Processador integrado de 32 bits de baixo consumo;
- Botão Reset;
- Antena embutida e conector U-FL para antena externa.

### C. Raspberry Pi e MQTT

Após realizados alguns minicursos, surgiu a ideia de realizar uma atualização, alterando os equipamentos para um modo mais eficiente e de melhor processamento. Com alguns estudos e referências pesquisadas pelos mentores do curso, chegou-se a conclusão que futuramente uma Raspberry Pi e o protocolo de comunicação MQTT deveriam ser usados para deixar a experiência mais realista e sair um pouco do básico e aumentar a complexidade.

Raspberry é um computador do tamanho de um cartão de crédito e é baseado em um SoC (System on a Chip, todos os sistemas de um computador dentro de um circuito integrado) da Broadcom, modelo BCM2835. O chip inclui um processador ARM1176JZF-S de 700 MHz, GPU VideoCore IV, e 512 MB de memória RAM, não inclui uma memória não-volátil mas possui uma entrada de cartão SD para armazenamento de dados. Com essas informações é possível visualizar que essa plataforma é mais robusta que o Arduino, plataforma utilizada atualmente.



Fig. 4. Placa Raspberry Pi 3

A raspberry não consegue trabalhar sozinha do mesmo modo que o Arduino junto ao ESP8266, então uma forma de comunicação encontrada é o MQTT. Ele é um protocolo de conectividade máquina-a-máquina, de mensagens leves para sensores e pequenos dispositivos móveis otimizados para redes TCP/IP de alta latência. O padrão de troca de mensagens é fundamentado no modelo publicador/subscritor. Nesse padrão, quando um elemento da rede deseja receber uma determinada informação, ele a subscreve, e quando deseja enviar, ele publica. Para fazer esse processo, é necessário uma requisição

para um outro integrante da rede capaz de gerar as publicações e subscrições, conhecido como broker, o intermediário no processo de comunicação. A identificação das mensagens no MQTT se dá através de tópicos. O tópico lembra o conceito de URI (uma cadeia de caracteres compacta usada para identificar ou denominar um recurso na Internet), com níveis separados por barras ("/"). Elementos da rede podem enviar diversos tópicos para o broker e subscritores podem escolher os tópicos que desejam subscrever.

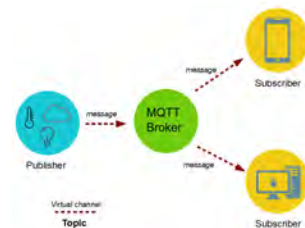


Fig. 5. Publicador-Subscritor MQTT

## IV. CONCLUSÃO

Tendo em vista todos os aspectos observados, a IoT permite aos futuros desenvolvedores uma maior criatividade e inovação na área tecnológica já que é um tema muito abordado atualmente.

A medida em que os minicursos foram ministrados, foram notadas algumas dificuldades, devido ao fato de que alguns alunos nunca tiveram contato com a programação para o Arduino. Todas essas dificuldades foram superadas e foi dada uma assistência maior a esses alunos, ao ser disponibilizada uma carga horária do minicurso voltada para o Software.

As experiências passadas para os cursistas no ano de 2017 foram com a plataforma Arduino e é esperado que nos anos seguintes a aprimoração estudada venha a fazer parte do curso, sendo ele destinado às pessoas que têm um conhecimento intermediário do assunto.

Em todas as aulas, procurou-se mostrar aos alunos a grandeza da IoT, a importância em saber seus princípios e como tornou-se a grande tecnologia do futuro. Portanto, é clara a revolução tecnológica que a sociedade passa e é preciso uma boa e adequada adaptação a ela, começando a estudar desde o básico e criando um conhecimento para desenvolver novas tecnologias promissoras.

## REFERÊNCIAS

- [1] Como utilizar o Blynk com o MQTT. <https://community.blynk.cc/t/solved-mqtt-and-blynk/15808>
- [2] Como utilizar o Blynk com uma Raspberry. <https://community.blynk.cc/t/howto-for-raspberry-pi/332>
- [3] Como utilizar o Blynk para aplicações IoT. <http://docs.blynk.cc/#intro>.
- [4] IoT dentro da empresa. <http://devtecnologia.com.br/>
- [5] Tudo sobre MQTT. <http://mqtt.org/>
- [6] Tudo sobre Raspberry. <https://www.raspberrypi.org/>
- [7] Utilização da Raspberry, Arduino, NodeMCU e MQTT. <https://imasters.com.br/open-hardware-2/brincando-com-raspberry-pi-arduino-nodemcu-e-mqtt/?trace=1519021197&source=single>



# Redes de Sensores Sem Fio aplicadas no combate de incêndios florestais

Tarciso Gregório Bernardo de Belo

Evandro Luís Brandão Gomes

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
tarcisogregorio@get.inatel.br

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
evandro@inatel.br

**Abstract**—This document is an article that explain the use of wireless sensor networks for forest fires. Using the ESP8266 microcontroller or system-on-chip(SoC) to do the communication wireless, temperature humidity sensor DHT11 , and sensor MQ2.

**Index Terms**—Wireless sensor networks, ESP8266, DHT11, MQ2 and forest fires.

**Resumo**—Este documento é um artigo que explica o uso de redes de sensores sem fio para incêndios florestais. Usando o microcontrolador ESP8266 ou sistema em chip (SoC) para fazer a comunicação sem fio, sensor de umidade de temperatura DHT11 e outros sensores.

**Palavras chave**—Redes de Sensores semFio, ESP8266, DHT11, MQ2, e incêndios florestais.

## I. INTRODUÇÃO

Atualmente as queimadas e os incêndios florestais estão entre os principais problemas ambientais enfrentados pelo Brasil. As emissões (carbono e outros gases) resultantes de queimadas em florestas colocam o país entre os principais responsáveis pelo rápido aumento dos gases que causam o efeito estufa do planeta. Contribui também para o aquecimento global e as mudanças climáticas. As queimadas e incêndios florestais poluem a atmosfera, causam prejuízos econômicos e sociais e aceleram os processos de desertificação, desflorestamento e de perda da biodiversidade[1]. O objetivo deste artigo é apresentar um sistema de combate e prevenção de incêndios florestais através de uma rede de sensores para fazer o sensoriamento e detecção das queimadas de forma rápida, auxiliando e agilizando o apoio de uma equipe especializada em combate a incêndio em florestas.

## II. INCÊNDIOS FLORESTAIS.

### A. Definição

Incêndios Florestais são queimadas que ocorrem em vegetações ou florestas, gerando assim grandes perdas ao meio ambiente e a sociedade. Na grande maioria dos casos as causas dos incêndios florestais são irreparáveis, ou seja, nunca mais as florestas voltam ao seu estado normal.

### B. Causas e Consequências

O principal causador de incêndios é o homem; por meio de pontas de cigarro atiradas na beira das estradas, fogueiras mal apagadas, ou mesmo incêndios criminosos provocados intencionalmente, queima de lixos, balões, lançamento de foguetes e linhas elétricas com mau funcionamento. Mas existem também fatores naturais que favorecem a ocorrência de incêndios florestais, tais como: períodos de seca, falta de chuva e tempestades com alto índice de raios.

Os incêndios florestais têm graves consequências na natureza. Entre essas estão a destruição do ecossistema e do habitat dos seres vivos são das mais graves. Ou seja, muitos seres vivos perdem o local onde vivem, assim como a sua fonte de alimento ao serem dispersados por um incêndio. A morte de seres vivos também é uma das graves consequências dos incêndios. Estas mortes podem ser causadas pela inalação do fumo, às queimaduras graves causadas pelo fogo e a perda das fontes de alimento.

Outras consequências de grande relevância são os deslizamentos e cheias. Um solo que perdeu o seu cobertor vegetal é mais propenso a sofrer erosão, pois as raízes que o prendiam deixaram de cumprir a sua função, perdendo também a sua permeabilidade o que provoca a retenção de água quando chove, criando assim superfícies que acumulam água causando inundações.

A perda da permeabilidade pode ocorrer de duas formas: por um lado, o solo tem características porosas, isto é, o solo é formado por partículas agregadas entre si com espaços que podem ser preenchidos por água e sais minerais, quando ocorre o incêndio esses poros acabam por fechar não permitindo a infiltração da água. Por outro lado, o material resultante da queima acumula-se no solo formando uma camada que impede a passagem da água.

A contaminação dos lençóis freáticos também é uma preocupação, pois toda a água que é utilizada pelos seres vivos advém, de alguma forma, da chuva, se devido à infiltração de substâncias tóxicas causadas pelos incêndios, os lençóis freáticos são contaminados, toda a água disponível acaba eventualmente por também ser contaminada [1].

### C. Breve Histórico dos Principais Incêndios Florestais

Incêndios florestais tem causado grandes perdas ambientais, econômicas e ecológicas ao longo dos anos, no Brasil e em outras partes do mundo. A seguir estão listados alguns dos principais casos de incêndios florestais seus danos e prováveis causas mundialmente conhecidos.

País: Brasil

No período de 1983 a 1988, no Brasil, os incêndios destruíram uma área de 201.262 hectares de reflorestamento, que representa aproximadamente 154 milhões de dólares para o seu replantio, fora o prejuízo direto. Há ocorrências verificadas nos anos de 1994 e 1995, com destaque para o ano de 1994 quando as condições climáticas foram extremamente favoráveis aos incêndios. Incêndios de proporções catastróficas já abalaram o Paraná, sendo o de maior dramaticidade, ocorreu no ano de 1963, quando praticamente todo o Estado foi atingido, causando a morte de dezenas de pessoas e destruição de milhares de hectares de florestas[2].

País: Portugal

O incêndio florestal que atingiu Pedrógão Grande, na região de Leiria, no centro de Portugal, durou mais de 24 horas. O balanço divulgado em 18/07/2017, 61 pessoas morreram e 62 ficaram feridas, de acordo com a mídia portuguesa. O incêndio foi considerado uma das maiores tragédias dos últimos 50 anos no país [3]. A hipótese de incêndio criminoso foi descartada e as equipes de resgate, contaram com cerca de 1.600 integrantes. Mais da metade das vítimas (30) morreram carbonizadas dentro de seus carros na estrada entre Figueiró dos Vinhos e Castanheira de Pera, que foi tomada pelo fogo no dia 17/07/2017. As 'trovoadas secas' foram apontadas como uma das principais causas do incêndio. Trovoadas secas são chuvas que evaporam antes de chegar ao solo, mas que são acompanhadas por raios que provocam faíscas ao tocar a superfície. Na ausência de água e na presença do vento, as chamas se espalham rapidamente. Os "ventos descontrolados" transformaram um fogo de pequenas dimensões em "um incêndio impossível de controlar".

As chamas se espalharam a partir de quatro focos pela região, que fica próxima a Coimbra e entre as duas maiores cidades portuguesas: Lisboa e Porto[3].

## III. REDES DE SENSORES

### A. Definição

Uma Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) é uma rede composta de sensores ativos que transmitem seus dados através de sinais de rádio frequência, com o objetivo de monitorar fenômenos naturais. As redes de sensores têm grande aplicação em locais de difícil acesso ou áreas perigosas. A figura 1 mostra um exemplo de uma RSSF.

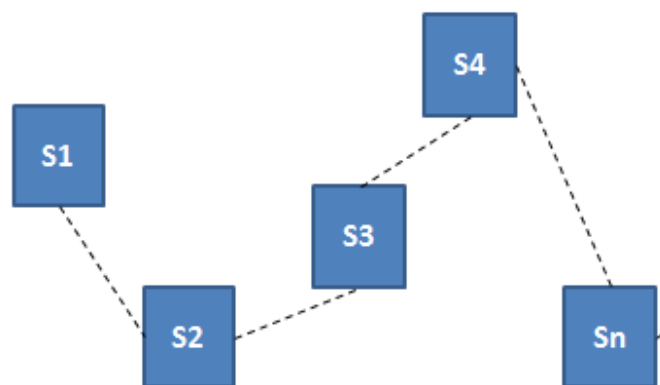


Fig. 1. Exemplo de RSSF.

A rede de sensores não limita a área de cobertura do sistema, pois os sensores se comunicam um com os outros (exemplo: S1 para S2, S2 para S3, para S4 ..... Sn e desta para uma estação base).

### B. Principais Tecnologias e Padrões

Um elemento indispensável em uma RSSF são os nós sensores, ou seja, dispositivos autônomos capazes de fazer o sensoriamento, processamento e comunicação dos dados coletados. Os nós coletam dados via sensores, processam localmente ou coordenadamente entre vizinhos podendo enviar a informação para o usuário ou, em geral para uma central, como mostra a figura 2.

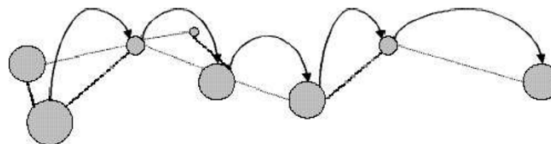


Fig. 2. Comunicação na RSSF.

As redes de sensores se comunicam com outras redes. Isso ocorre através de nós chamados *gateways*. Mensagens percorrem a rede de sensores até chegar a um *gateway* que irá encaminhá-las, para uma rede como a Internet, até um computador onde está a aplicação de monitoramento destes dados. A figura 3 ilustra um modelo genérico de uma RSSF conectada a uma rede através de um nó *gateway* [5].

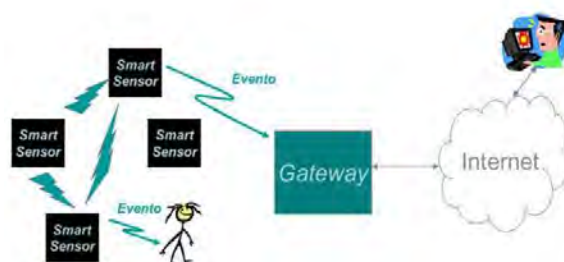


Fig. 3. Modelo de uma RSSF com *gateway*.

A figura 4 ilustra uma rede de sensores que possui um nó sorvedouro ou sink e um nó gateway, mostrando que os componentes podem ser diversos neste tipo de rede.

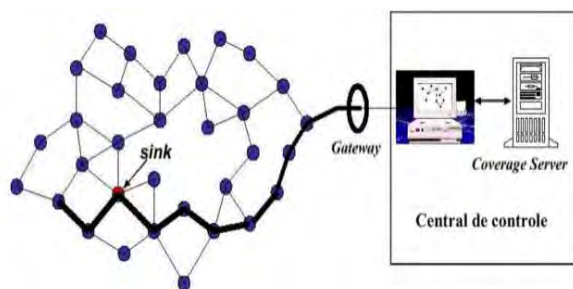


Fig. 4. Modelo de rede com nós gateway e sink.

O padrão muito usado nas RSSF é o IEEE 802.11, conhecido também como Ethernet sem fio ou WiFi (*Wireless Fidelity*). Este padrão foi proposto visando estabelecer uma forma para redes locais sem fio, para comunicação de dados com taxas de transferência de até 2 Mbits/s. A primeira versão do padrão foi publicada em 1997, prevendo a possibilidade de uso tanto de rádio frequência quanto de infravermelho para a comunicação. Em 1999, o IEEE publicou duas extensões ao padrão, conhecidas por 802.11a e 802.11b, possibilitando taxas de transferência de até 54 Mbits/s e 11 Mbits/s respectivamente. Estas novas versões usam exclusivamente rádio frequência. Esta tecnologia é direcionada para interligação de diferentes tipos de dispositivos computacionais como sensores e computadores. Um esquema de ligação nesta rede é ilustrado na figura 5.

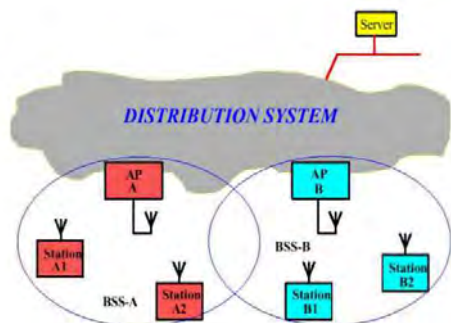


Fig. 5. Ligação numa rede IEEE 802.11

## IV. IMPLEMENTAÇÃO

### A. Estação de Sensoriamento

O módulo WiFi ESP8266 é um Sistema em um Chip (SOC - System on a Chip - Sistema em um chip) com protocolo TCP/IP integrado que consegue dar a qualquer microcontrolador acesso a uma rede WiFi. O ESP8266 é capaz tanto de hospedar uma aplicação quanto descarregar todas as funções de redes WiFi a partir de outro processador de aplicação. Este módulo tem um ótimo custo x benefício e possui uma comunidade de usuários bastante grande, e continuamente em crescimento.

Esse módulo possui um processador poderoso o suficiente para ser capaz de fazer integração com sensores e outras aplicações específicas usando seus GPIOs (*General Purpose Input Output*), com necessidade de pouco desenvolvimento. Por ser um chip bastante completo, ele requer pouquíssimos componentes na placa, o que torna a placa muito pequena, o que é ideal para um sensor remoto.

Existem muitas informações sobre este módulo na internet, todas elas são fornecidas pela grande comunidade de usuários que empregam este módulo em seus projetos[6].

Ao longo de um período muito pequeno de tempo e a uma velocidade muito grande, muitas empresas fabricaram diferentes modelos do ESP8266, para satisfazer os seus clientes. Na figura 6, podem ser vistos alguns modelos da família do ESP8266.



Fig.6. Modelos do ESP 8266.

### B. Sensores

Sensores são dispositivos capazes de detectar grandezas tais como: temperatura, umidade, pressão, etc. Os sensores usados neste projeto, foram o MQ2 e DHT11. Usamos esses sensores porque eles são capazes de detectar grandezas que nos auxiliam a detectar incêndios e seu funcionamento está descrito a seguir.

O DHT11 é um sensor de temperatura e umidade que permite fazer leituras de temperaturas entre 0 a 50 graus Celsius e umidade relativa do ar entre 20 a 90%, com uma sinal digital em sua saída. Sua tecnologia garante excelente estabilidade e confiabilidade [7].

O elemento sensor de temperatura é um termistor do tipo NTC e o sensor de Umidade é do tipo HR202, onde o circuito interno faz a leitura dos valores e se comunica com um microcontrolador através de um sinal serial de uma via (um fio). A figura 7 mostra este componente, o DHT11.



Fig.7. Sensor DHT11.

O MQ2 é um sensor de gás inflamável (GPL - Gás liquefeito de petróleo, o famoso gás de cozinha) e fumaça capaz de detectar concentrações de gases combustíveis e fumaça no ar.

É um módulo confiável e simples de usar em projetos de automação residencial, por exemplo.

Quando a concentração de gases fica acima do nível ajustado por um potenciômetro presente na placa deste sensor, a saída digital fica em estado alto, caso contrário fica em estado baixo.

Para ter uma resolução melhor e medir a variação da concentração dos gases no ar é possível usar a saída analógica e conectar a um conversor AD, que normalmente está presente nos microcontroladores. A figura 8a apresenta a parte de frente do MQ2 e figura 8b a parte de trás.



Fig.8. Sensor MQ2, parte de frente.



Fig.8. Sensor MQ2, parte de trás.

### C. Gateway (Roteador)

Usamos um roteador como gateway (ponte), a partir do qual o ESP8266 tem acesso a rede. Após o ESP8266 ter acesso a rede os dados colhidos pelos sensores conectados podem ser acessados por meio do seu endereço IP. Convém mencionar cada elemento conectado a rede recebe um endereço IP que é dado pelo roteador, isto para evitar colisão de endereços de IP no gateway.

Podemos definir *gateway* como um nó intermediário para conexão, ou seja, é uma máquina intermediária destinada (criada com uma função específica) geralmente, a de interligar redes, separar domínios de colisão, ou mesmo traduzir protocolos. Exemplos de *gateway* podem ser

os *routers* (ou roteadores) e *firewalls*, já que ambos servem de intermediários entre o utilizador e a rede. Um *proxy* também pode ser interpretado como um *gateway* (embora em outro nível, aquele da camada em que opera), já que serve de intermediário também [8]. A figura 9 apresenta um exemplo com o uso de um *gateway* na rede.

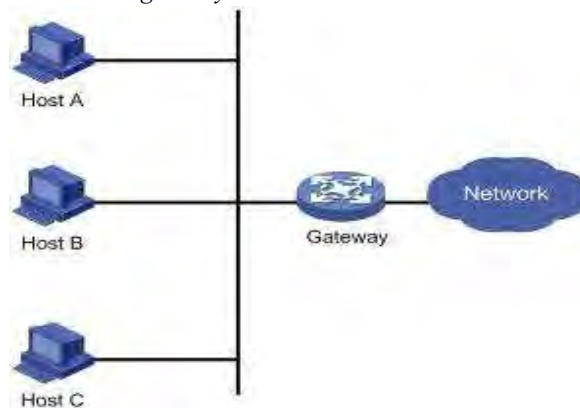


Fig. 9. Exemplo de um gateway.

### D. Estação de Trabalho

A estação de trabalho é o local onde os dados serão analisados para a tomada de decisão e para serem mostrados ao usuário final. Se as condições climáticas ficarem anormais (dependendo da região, isto porque cada região tem as suas características, tais com temperatura, umidade e etc), medidas serão tomadas, tais como acionar o corpo de bombeiros para que o fogo possa ser combatido. Na estação de trabalho os dados dos sensores colocados em pontos estratégicos da floresta são visualizados na tela de um computador, usando um navegador (*browser*), como por exemplo: *Google Chrome*, *Internet Explorer*, *Safari*, entre outros. Os dados são visualizados de forma gráfica, assim como mostra a figura 10.

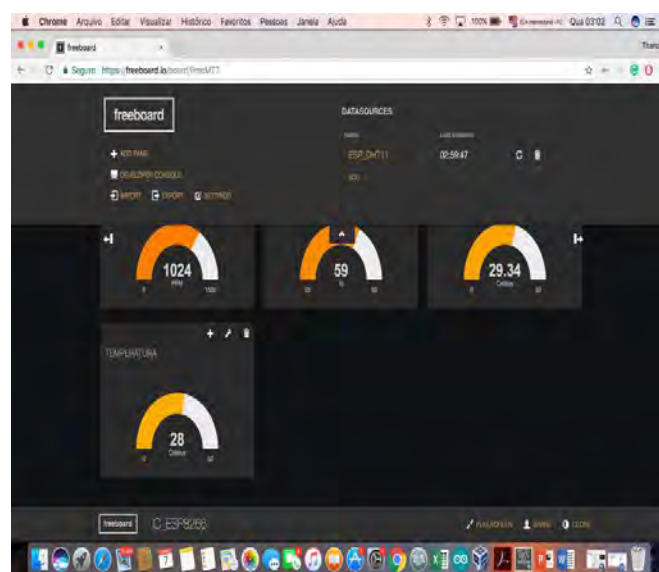


Fig. 10. Tela da Estação de Trabalho.



Qualquer pessoa autorizada (tendo o endereço *web*) estando fora da estação de trabalho, pode acessar os dados dos sensores, utilizando um celular/*tablet* (que tenha internet). A figura 11 é um exemplo do acesso à estação, utilizando um celular, já a figura 12 é um exemplo do acesso à estação, utilizando um *tablet*.

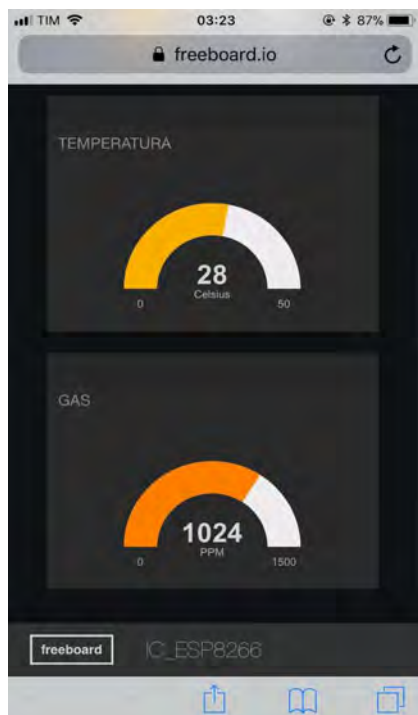


Fig.11. Acesso à estação utilizando um celular.

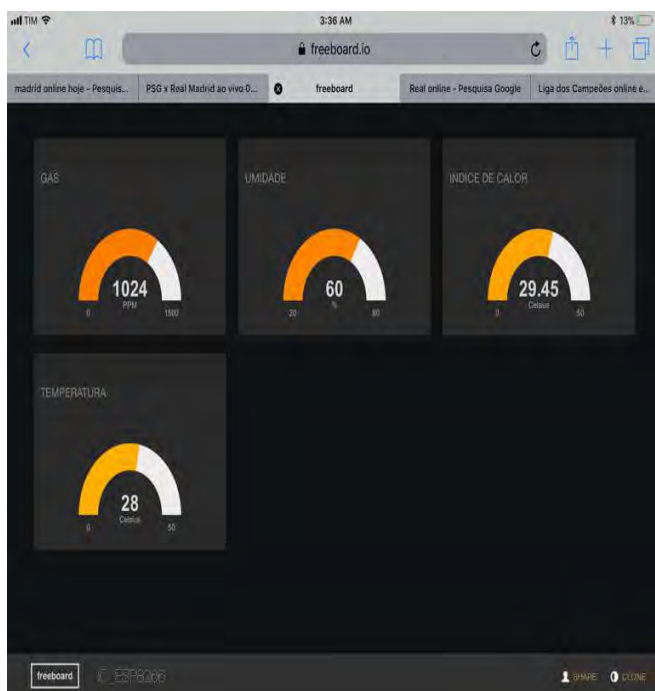


Fig.12. Acesso à estação utilizando um *tablet*.

## V. RESULTADOS

Os testes foram feitos utilizando os sensores mencionados no item III deste artigo, e a montagem física feita através de fios *Jumpers* em uma placa de ensaio (*protoboard*). Os dados colhidos nos sensores são publicados no site *dweet.io* (site que permite a publicação na internet de dados coletados por sensores), utilizando um nome da nossa “coisa” (chamamos de coisa o dispositivo usado para coletar os dados, que no nosso caso é o ESP8266 com os sensores), no *dweet.io* os dados são colocados de forma gráfica no *freeboard* (painel de dados). Cada conjunto de ESP8266 mais sensores (DHT11 e MQ2), chamaremos de sensor final. Os sensores finais comunicam-se entre si usando padrão IEEE 802.11(WiFi), dentro do limite de alcance de cada sensor final (até 100 metros em espaço aberto), cada sensor final comunica os dados coletados a estação de controle usando os outros que estão mais próximos da estação.

### A. O código

No código começamos por declarar a biblioteca do ESP8266, em seguida conectamos o ESP8266 a rede de WiFi (ou seja colocamos a senha e nome da rede Wi-Fi que usaremos como *gateway* para o ESP8266 estar conectado a internet) para que ele seja capaz de enviar os dados coletados pelos sensores para o *dweet.io*. Definimos os pinos (portas) do ESP8266 que serão usados para receber os dados dos sensores, criamos uma conexão TCP, usando a porta 80 e fazemos a leitura das grandezas, onde colocamos os valores recebidos em variáveis locais do programa. Por fim, publicamos os dados recebidos dos sensores no *dweet.io*, assim os dados (umidade, temperatura, e índice de gás) são apresentados no *freeboard*, de forma gráfica. O código é apresentado nas figuras 13a, 13,b e 13c.



Fig.13a. Código usado nos testes.

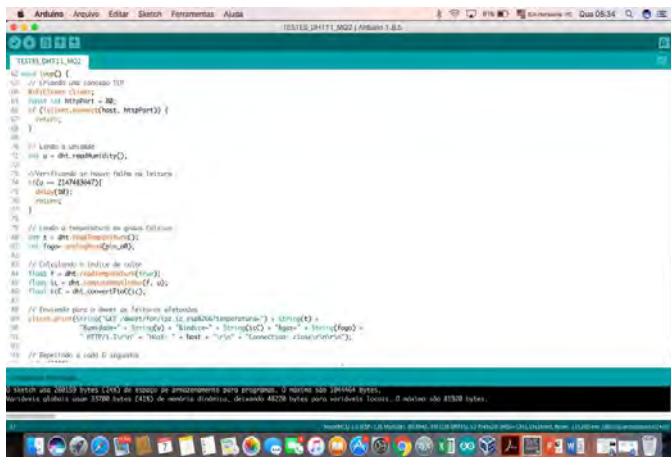


Fig.13b. Código usado nos testes.

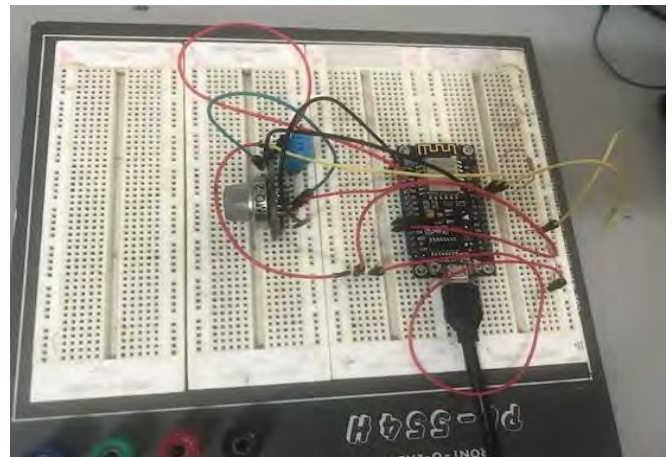


Fig.14. Circuito usado nos testes.



Fig.13c. Código usado nos testes.

### B. O circuito.

Os pinos das portas definidos no código do ESP8266 recebem os dados coletados, onde é usado o pino digital D4 para conexão do DHT11, e o pino analógico A0 recebe os dados coletados do MQ2. Alimentamos o DHT11 e o MQ2 usando os pinos de 3,3Volts e GND (terra) do ESP8266. Alimentamos ESP8266 usando o cabo USB conectado ao computador (mas pode ser usada uma fonte de alimentação externa independente do computador). A figura 14 apresenta o circuito usado nos testes.

Deixamos proposto para estudo e melhoramento futuro do sistema proposto, o uso de *drones* para auxiliar o combate de algum possível foco de incêndio detectado pelos sensores finais. Os *drones* podem carregar algum tipo de pó químico que ajuda no combate dos focos de incêndio até a chegada dos bombeiros, fazendo assim um primeiro combate ao foco de incêndio. Este *drone* receberia a coordenada GPS (*Global Position System*) do modulo sensor que detectou a anormalidade, com isso a central poderia disparar um chamado para os bombeiros e enviar o *drone* para primeiro combate.

### REFERÊNCIAS

- [1] Sustentabilidade Ambiental – Cap.1: Queimada e pesca predatória. Disponível em: <<http://www.ambientelegal.com.br/sustentabilidade-ambiental-cap-1-queimadas-e-pesca-predatoria/>>> Acesso em: Março de 2018.
- [2] Histórico de Incêndios florestais Disponível em: <<http://www.iap.pr.gov.br/pagina-389.html>> Acesso em: Março de 2017.
- [3] Incêndio florestal deixa 62 mortos e 59 feridos em Portugal. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mundo/noticia/incendio-florestal-deixa-mortos-e-feridos-em-portugal.ghtml>> Acesso em: Março de 2018.
- [4] Incêndios florestais atingem Canadá e tiram mais de 40 mil pessoas de casa. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mundo/noticia/incendios-florestais-atingem-canada-e-tiram-mais-de-40-mil-pessoas-de-casa.ghtml>> Acesso em: Março de 2018.
- [5] Redes de SensoresSemFio (RSSF) Disponível em: <<http://homepages.dcc.ufmg.br/~loureiro/cm/docs/sbr03.pdf>> Acesso em: Março de 2018.
- [6] Modulo ESP 8266- Descrição Técnica. Disponível em: <<https://www.robotcore.net/loja/produtos/modulo-wifi-esp8266.html>> Acesso em: Março de 2018.
- [7] Sensor DHT11 Descrição Técnica. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-umidade-e-temperatura-dht11>> Acesso em: Março de 2018.
- [8] Gateway- Descrição Técnica. Disponível em: <<https://www.palpitedigital.com/o-que-e-gateway/>> Acesso em: Março de 2018.
- [9] Definição de IDE - Disponível em: <<http://www.psafce.com/blog/o-que-serve-ide/>> Acesso em: Março de 2018.



# Teste em escala da arquitetura NovaGenesis

GABRIEL HENRIQUE COUTINHO CÂNDIDO

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
gabrielcandido@get.inatel.br

ANTONIO MARCOS ALBERTI

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
alberti@inatel.br

ELCIO CARLOS DO ROSÁRIO

Instituto Nacional de telecomunicações - Inatel  
elcio.carlos@mtel.inatel.br

VANER JOSÉ MAGALHÃES

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
vaner@inatel.br

GABRIEL DIAS SCARPIONI

Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel  
gabriel@d@inatel.br

EVERTON MORAIS

Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel  
evertonmoraes@gec.inatel.br

**Abstract-** *In this paper is presented a scale-test analysis using the NovaGenesis Future Internet model in a Internet of Things (IoT) project, Future Internet of Things - FIoT. The devices were simulated in order to make the process of network scaling and data collect simpler. When analyzing the network's entire operation, a notion of how viable is to build a complex IoT network using future internet model. Collaboration between devices, security, reliability, are some relevant characteristics when building an IoT network, and such characteristics are present in the future internet model used. Thus it has been shown that is possible to use the NovaGenesis architecture in real IoT networks and applications.*

**Keywords-** *Internet of things, NovaGenesis, Future Internet.*

**Resumo—** Neste trabalho é apresentada uma análise de testes em escala utilizando o modelo NovaGenesis de Internet do Futuro em um projeto de Internet das Coisas (Internet of Things – IoT), o Future Internet of Things - FIoT. Os dispositivos foram simulados a fim de deixar mais simples o processo de escalar a rede e coletar os dados. Ao analisar o funcionamento de toda a rede, foi obtida uma noção do quão viável é construir uma rede complexa de dispositivos IoT utilizando um modelo de internet do futuro. Colaboração entre dispositivos, segurança, confiabilidade, são algumas das características relevantes ao se construir uma rede IoT, e tais características estão presentes no modelo de internet do futuro utilizado. Assim foi mostrado que é possível utilizar a arquitetura NovaGenesis em redes e aplicações IoT reais.

**Palavras chave—** Internet das coisas, NovaGenesis, Internet do futuro.

## I. INTRODUÇÃO

Atualmente, o número de dispositivos conectados está crescendo exponencialmente, a isso se dá o nome de internet das coisas (IoT- *Internet of Things*), ou ainda internet de todas as coisas (IoE - *Internet of Everything*). [1] Conectividade inteligente, computação utilizando recursos de rede, redes definidas por *software* (SDN - *Software Defined Networking*) e virtualização de funções de rede (NFV - *Network Functions Virtualization*) são uma parte indispensável para o desenvolvimento da IoT [2]. Assim, para que a proposta de internet das coisas tenha sucesso, as tecnologias de rede precisam ir além dos cenários atuais da internet.

A fim de prover avanços em segurança, mobilidade, escalabilidade, uso e recursos energéticos e computacionais dentre outros fatores, o modelo de internet vigente está passando por mudanças de expansão e adaptação [1]. Devido a tais necessidades de mudanças surge o termo Internet do Futuro (FI- *Future Internet*). Classificam-se os novos modelos de internet do futuro em dois grupos principais. Modelo de internet evolucionário no qual a estrutura da internet atual é evoluída, e modelo de internet revolucionário, que consiste em reconstruir a internet do zero, utilizando recursos e tecnologias contemporâneos.

Tendo em vista a base em que a FI foi fundamentada e as demandas tecnológicas do IoT, foi natural a criação de um projeto de internet do futuro voltado para internet das coisas. Neste contexto, encaixa-se o projeto *Future Internet of Things*

(FIoT) [3], construído sobre a arquitetura de internet do futuro (FIA - *Future Internet Architecture*) NovaGenesis (NG) [4]. Neste trabalho irá ser realizada uma análise quanto à escalabilidade do projeto FIoT, em uma rede local IoT com 25 nós, utilizando comunicação Ethernet. Um cenário experimental foi montado para testar e provar o funcionamento do projeto, composto por um sistema embarcado com o serviço EPGS (*embedded Proxy Gateway Service*), esse sistema é o nó IoT físico, e um computador host no qual está o núcleo de serviços NovaGenesis [3]. Nesse artigo os vinte e cinco nós citados, serão emulados para fins práticos.

## II. CONCEITOS IMPORTANTES

### A. NovaGenesis

NovaGenesis é uma arquitetura de internet do futuro. Com visão revolucionária, começou a ser desenvolvida em 2008 com o propósito de construir uma nova internet utilizando as melhores tecnologias disponíveis, com o intuito de corrigir erros recorrentes no modelo atual de internet. NG é baseada em alguns conceitos chave como: nomes autoverificáveis, contratos e serviços, identificação e localização e controladores, *proxys* e *gateways* [3].

Nomes são meios de expressar existências, podendo ou não carregar um significado. Um nome que possua significado é classificado com nome em linguagem natural (NLN). Ao passar um NLN por uma função Hash que o embaralha, gera-se um nome autoverificável (SVN - *self-verifying names*) [5].

Uma entidade virtual como um processo ou um programa de computador que armazene, troque ou processe informação pode ser considerado um serviço. Contrato é o que dita os ciclos de vida de um serviço. Após a descoberta de serviços que possam trabalhar aos pares é firmado e negociado um contrato entre eles. Sendo assim, um contrato é responsável por limitar, designar responsabilidades, bem como ditar cláusulas a serem respeitadas pelos serviços.

Identificador é um nome que indica a existência de alguma entidade, e localizador é o nome que aponta para a posição dessa entidade. Esses parâmetros levantam informações importantes para a comunicação como por exemplo distância entre as entidades. Na NG é feita uma ligação de nomes (NB - *Name Binding*) entre o indetificado e o localizador de uma entidade com o intuito de vincular sua identificação com sua localização.

Um serviço procurador que representa outros componentes dentro de uma rede, é denominado *Proxy*, que é responsável, por exemplo, por informar recursos e capacidades do serviço que esta representando para demais serviços interessados. Um *gateway*, por sua vez, é o responsável por traduzir informações de uma tecnologia de entrada para uma outra tecnologia de saída. Por exemplo um gateway pode extrair a informação útil contida em um quadro *Ethernet* e reemcapsulá-la em um quadro *Wi-Fi* [6].

A NG possui quatro serviços principais, que serão denominados núcleo NG ou então *Core NG*. Esses quatro serviços são : Serviço de *Proxy/gateway* e controlador (PGCS

- *Proxy Gateway Controller Service*), Serviço de Publicação/Assinatura (PSS - *Publish/Subscribe Service*), Serviço de Tabela Hash (HTS - *Hash Table Service*) e Serviço de Resolução Genérica de Indireção (GIRS - *Generic Indirection Resolution Service*).

O PGCS, além das funções de *Proxy/gateway* já explicadas, exerce também o serviço de controlador que possui o papel de inicializar o domínio e permitir que o PSS, GIRS e HTS se descubram.

PSS é o serviço responsável por armazenar quais serviços podem ou não acessar dados publicados e/ou NB. O PSS possui seis princípios: (i) publicar NB/dados; (ii) assinar NB/dados; (iii) publicar NB/dados e comunicar outros dispositivos sobre; (iv) assinar NB/dados e comunicar outros dispositivos sobre; (v) entregar uma assinatura de NB/dados; (vi) revogar uma publicação de dados/NB.

HTS é o serviço que armazena os NBs e seus conteúdos relacionados, casos existam.

O GIRS é um serviço que encaminha os dados/NB publicados pelo PSS para uma instância do HTS que os armazena em uma estrutura de tabela *hash* [6].

### B. Future Internet of Things – FIoT

A arquitetura NovaGenesis tem considerado a internet das coisas um ingrediente de fundamental importância para o seu desenvolvimento desde a sua concepção em 2008 [3].

A partir daí foi criado o projeto denominado FIoT (*Future Internet of Things*).

O conceito de *future internet of things* pode ser definido como: uma internet das coisas construída a partir de uma integração dinâmica dos paradigmas, revolucionários e evolucionários de rede [3].

Para atender as necessidades de uma aplicação para internet das coisas utilizando arquitetura NovaGenesis, foi necessário criar um serviço NG leve o suficiente para poder ser embarcado, mas que ao mesmo tempo executasse todos os processos necessários para o correto funcionamento da arquitetura. Tal serviço foi denominado EPGS (Serviço de *Proxy/Gateway* Embarcado)

A figura (1) abaixo mostra um cenário experimental do projeto FIoT rodando com dois nós IoT físicos utilizando comunicação Wi-Fi.

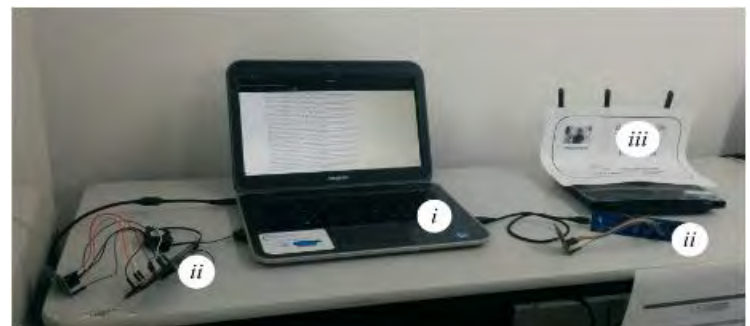


Figura 1 :Cenário Experimental 1: (i) Núcleo NovaGenesis e aplicação cliente IoT (IoTTestApp) computador; (ii) dois nós IoT NovaGenesis rodando em *Hardware*s NXP-LPC1769 na direita e na esquerda (cabo USB somente para energia); (iii) Ponto de acesso Wi-Fi.

### C. Serviço de Proxy/Gateway embarcado – Embedded Proxy gateway Service – EPGS

O EPGS foi desenvolvido com o objetivo de ser um versão reduzida da NG que pudesse ser embarcada, mantendo todas as suas principais características, e capaz de se comunicar utilizando diversas tecnologias da camada de enlace como Wi-fi, Ethernet e Bluetooth. Na outra Ponta da comunicação o EPGS espera se comunicar com um núcleo NG. O EPGS possui um ciclo de vida, que é composto por quatro etapas: Inicialização e descoberta, exposição de palavras chaves, negociação de contrato e publicação de dados, como ilustra a Figura (2) a seguir.

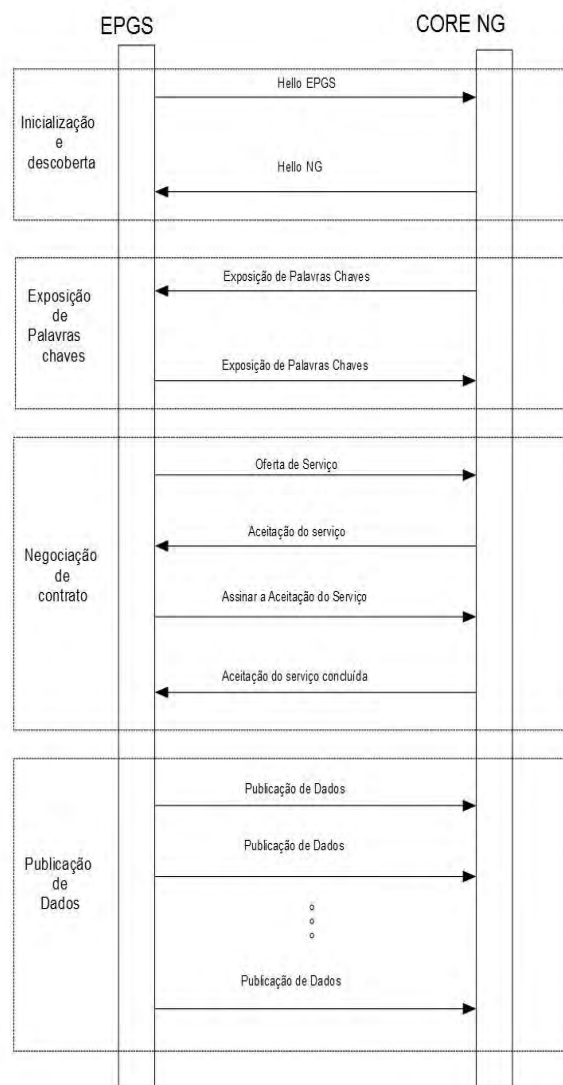


Fig. 2. Diagrama simplificado do ciclo de vida do EPGS. (Modificada de Magalhães)

Na etapa de inicialização o EPGS envia uma mensagem de *Hello* para o Núcleo NG contendo SVN<sub>s</sub> e o seu MAC (*Media Access Control* – endereço físico ), o núcleo, ou Core NG envia um hello em resposta contendo os seus SVN<sub>s</sub> e seu

MAC, passando assim para a segunda etapa. Na etapa de Exposição das palavras chaves o núcleo expõe as suas palavras referentes a ligação entre os NLNs e SVN e o EPGS responde com as suas próprias palavras chaves, evoluindo assim para a penúltima etapa: Negociação de Contrato. Nessa etapa o EPGS envia uma oferta de serviço contendo suas características como: faixa de operação, tipo de serviço que será ofertado e precisão do sistema. Nesse caso específico foi ofertado um serviço do tipo medida de temperatura. Caso o núcleo NG encontre um cliente para o serviço ofertado, é enviada uma aceitação de serviço contendo a chave do contrato, o EPGS devolve uma assinatura à aceitação de serviço, com a chave de contrato, e por fim o *core* NG conclui a aceitação do serviço, também enviando a chave do contrato. Caso o contrato tenha sido firmado entre o EPGS e o núcleo se inicia a quarta e última etapa, a publicação dos dados, em que o EPGS publica os dados provenientes do serviço que foi ofertado e contratado. A figura (3) abaixo mostra os modelos de mensagens NG acima citados.

```

a) FF FF FF FF FF FF AC 22 08 C9 DF 38 10 12 34 AB CD EF 12 34 76 87 76 87 02 00 00 00 00 00 00 01 19  

ng -m --cl 0.1 [ < 1 s 15823901 > < 4 s 08095286 ED12F3ED CE362E2E 44798CFE > < 4 s empty empty empty empty > ]  

ng -hello --lhc 0.2 [ < 6 s 51468738 E4080841 E86E7838 Wi-Fi em1 ac:22:0b:c9:df:3b > < 4 s 08095286 ED12F3ED DECC2634 82C5E549 > ]  

ng -scn --seq 0.1 [ < 1 s 48080ED6 > ]

b) FF FF FF FF FF FF 00 12 34 AB CD EF 12 34 76 87 76 87 02 00 00 00 00 00 00 00 00 00 01 05  

ng -m --cl 0.1 [ < 1 s 15823901 > < 4 s 7E3FFFFA 027552A1 7CE42568 NULL > < 4 s empty empty empty empty > ]  

ng -hello --lhc 0.2 [ < 5 s NULL NULL Wi-Fi eth0 00:12:34:AB:CD:EF > < 4 s 08095286 ED12F3ED DECC2634 82C5E549 > ]  

ng -scn --seq 0.1 [ < 1 s B6809987 > ]

c) 00 12 34 AB CD EF AC 22 08 C9 DF 38 12 34 05 45 87 82 02 00 00 00 01 31 28 73 28 32 28 3E 20  

ng -m --cl 0.1 [ < 1 s 15823901 > < 4 s 08095286 ED12F3ED CE362E2E 44798CFE > < 4 s 7E3FFFFA 027552A1 7CE42568 NULL > ]  

ng -p --b 0.1 [ < 1 s 2 > < 1 s BEE09CC1 > < 1 s CE362E2E > ]  

ng -p --b 0.1 [ < 1 s 1 > < 1 s BEE09CC1 > < 1 s PGCS > ]  

ng -p --b 0.1 [ < 1 s 2 > < 1 s 2A43A2EF > < 1 s CE362E2E > ]  

ng -p --b 0.1 [ < 1 s 1 > < 1 s 2A43A2EF > < 1 s Gateway > ]  

ng -p --b 0.1 [ < 1 s 2 > < 1 s D5646D53 > < 1 s CE362E2E > ]  

ng -p --b 0.1 [ < 1 s 1 > < 1 s D5646D53 > < 1 s Proxy > ]  

ng -p --b 0.1 [ < 1 s 2 > < 1 s 423FCDDC > < 1 s CE362E2E > ]  

ng -p --b 0.1 [ < 1 s 1 > < 1 s 423FCDDC > < 1 s Controller > ]  

ng -message --type 0.1 [ < 1 s 1 > ]  

ng -message --seq 0.1 [ < 1 s 35 > ]  

ng -scn --seq 0.1 [ < 1 s EBF2B068 > ]

d) AC 22 08 C9 DF 38 10 12 34 AB CD EF 12 34 2C 06 72 AE 00 00 00 00 00 00 00 00 00 03 60  

ng -m --cl 0.1 [ < 1 s 15823901 > < 4 s 7E3FFFFA 027552A1 7CE42568 NULL > < 4 s 08095286 ED12F3ED DECC2634 82C5E549 > ]  

ng -p --b 0.1 [ < 1 s 2 > < 1 s 1A53F838 > < 1 s 7CE42568 > ]  

ng -p --b 0.1 [ < 1 s 1 > < 1 s 1A53F838 > < 1 s EPGS > ]  

ng -p --b 0.1 [ < 1 s 2 > < 1 s EC417E01 > < 1 s 7CE42568 > ]  

ng -p --b 0.1 [ < 1 s 1 > < 1 s EC417E01 > < 1 s TermMetro > ]  

ng -message --type 0.1 [ < 1 s 1 > ]  

ng -message --seq 0.1 [ < 1 s 0 > ]  

ng -scn --seq 0.1 [ < 1 s 68766331 > ]

e) AC 22 08 C9 DF 38 10 12 34 AB CD EF 12 34 5A F1 4B 00 00 00 00 00 00 00 00 00 01 AC  

ng -m --cl 0.1 [ < 1 s 15823901 > < 4 s 7E3FFFFA 027552A1 7CE42568 NULL > < 4 s 08095286 ED12F3ED DECC2634 82C5E549 > ]  

ng -p --notify 0.1 [ < 1 s 18 > < 1 s 61531240 > < 1 s Temperature.json > < 5 s pub 08095286 ED12F3ED A1C31834 BEAC1234 > ]  

ng -info --payload 0.1 [ < 1 s Temperature.json > ]  

ng -message --type 0.1 [ < 1 s 1 > ]  

ng -message --seq 0.1 [ < 1 s 2 > ]  

ng -scn --seq 0.1 [ < 1 s EB490408 > ]

[ Temperature:32 ]

```

Fig.3 a) Mensagem de Hello enviada pelo PGCS para a rede (broadcast); b) Mensagem de Hello enviada pelo EPGS para a rede (broadcast); c) Mensagem de Exposição de Recursos enviada pelo PGCS para o EPGS; d) Mensagem de Exposição de Recursos enviada pelo EPGS para o PGCS; e e) Mensagem de Publicação de Dados enviada pelo EPGS para o PSS.



### III. METODOLOGIA

A fim de testar a escalabilidade de uma rede com nós IoT utilizando o modelo NovaGenesis, foi utilizado o laboratório de redes de telecomunicações do Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), para criar um ambiente de testes. Tal ambiente é composto por vinte e cinco computadores com a função de simular nós IOT um servidor central que tem a função de executar aplicações nos nós remotamente e um *notebook* no qual é rodado o núcleo NG e a aplicação cliente denominada *IoTTesTApp*. Organizados como mostra a figura (4) a seguir.

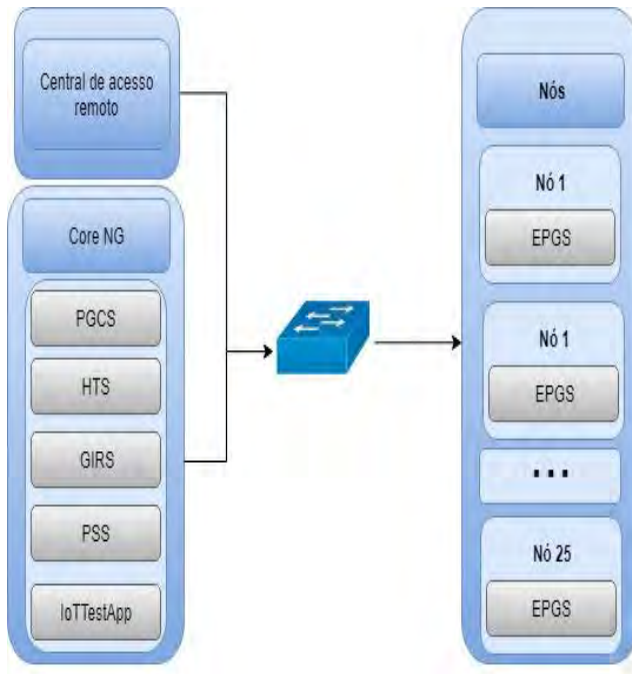


Fig. 4. Esquema da organização do laboratório de testes. (Criado pelo autor.)

Todas as vinte e sete máquinas utilizadas utilizam o sistema operacional Linux versão Ubuntu 16.4 e estão conectadas numa rede local *Ethernet* com topologia do tipo estrela. Para garantir um melhor controle e veracidade dos resultados foi criada uma rede exclusiva denominada *TesteNG* para fazer o acesso remoto nos nós e a troca de informações entre os nós e o *Core NG*.

O primeiro passo para começar o teste é enviar o arquivo executável do EPGS para todos os nós via central de acesso remoto. Após isso, deve-se executar no core NG um *script* denominado *frodo\_iot\_test\_escal*, que é responsável por executar o núcleo NG e a aplicação *IoTTesTApp*, uma vez que os quatro serviços NovaGenesis que compõem o núcleo NG e a aplicação estiverem operacionais, e o contrato entre o *IoTTesTApp* e o deve-se executar o EPGS nos nós e acompanhar o recebimento das mensagens NG.

Como, para a viabilidade do teste em escala, o nó IoT foi emulado em computadores, a versão do EPGS utilizada, além de suas funcionalidades originais, também ficou responsável por gerar valores genéricos das informações do serviço ofertado. No caso valores de temperatura dentro de uma faixa de operação.

### IV. RESULTADOS

Durante a realização dos testes foi verificado que na etapa de Inicialização e Descoberta do ciclo de vida do EPGS ocorreu um erro causado pela versão do *Hello* enviadas do PGCS para o EPGS. O *Hello* em questão era da versão 0.1 o que não condizia com a versão esperada pelo EPGS, o que impediu o serviço de prosseguir para a etapa de exposição de palavras chaves e posteriormente Negociação de contrato e publicação dos dados.

A versão *Hello 0.1* é a versão utilizada pela NovaGenesis quando se utiliza uma rede *Ethernet*, já a versão *Hello 0.2* é utilizada em redes *Wi-Fi*. O EPGS espera um *Hello 0.2*, visto que o objetivo do trabalho é escalar o experimento da Figura (1), no qual é utilizado uma rede *Wi-Fi*. Para esse fim foi levantado que deverão ser feitas as seguintes modificações: O núcleo NG deve enviar as duas versões de *Hello*, e o EPGS deverá filtrar o *Hello 0.1* e processar somente o *Hello 0.2*, mesmo estando em uma rede *Ethernet*. Tais medidas devem ser tomadas para que os resultados do experimento sejam fiéis ao cenário original do projeto *FloT*.

A figura (5) abaixo, mostra os serviços do *Core NG* operacionais e o contrato do *IoTTesTApp* fechado, condições necessárias para executar o EPGS nos nós IoT virtualizados

```
(Warning: The key 77086573 does not exists on the HT Block at category 2)
(Warning: The key D68A8766 does not exists on the HT Block at category 2)
(Warning: Empty PSS tuples vector)
(Warning: Empty GIRS tuples vector)
(Added a new PSS)
(Added a new GIRS)
(a)
-----OPERATIONAL: Everything ok!

(Warning: The key 5A73AB32 does not exists on the HT Block at category 9)
(Warning: The key D8C8B791 does not exists on the HT Block at category 2)
(Warning: The key 77086573 does not exists on the HT Block at category 2)
(ERROR: Does not found result from categories 2 and 9)
(Warning: The key 5A73AB32 does not exists on the HT Block at category 9)
(Warning: Empty GIRS tuples vector)
(Warning: Empty GIRS tuples vector)
(Added a new GIRS)
(b)
-----OPERATIONAL: Everything ok!

(Warning: Empty PSS tuples vector)
(Warning: The key 5A73AB32 does not exists on the HT Block at category 9)
(Warning: Empty HTS tuples vector)
(Warning: The key D68A8766 does not exists on the HT Block at category 2)
(Warning: Empty PSS tuples vector)
(Warning: Empty HTS tuples vector)
(Added a new PSS)
(Added a new HTS)
(c)
-----OPERATIONAL: Everything ok!

{
  ng -m --cl 0.1 [ < 1 s B7052C8F > < 1 s 14750A35 > < 1 s 14750A35 > ]
  ng -run --evaluate 0.1
  ng -scn --seq 0.1 [ < 1 s E1B43EFD > ]
}
(d)

(TTime = 1522.88)
(NewPeerEvaluationTime = 1528.88)
(1. Check for PSS awareness.)
(Aware of a PSS on categories 2 and 9)
(The IoTTesTApp is already aware of this PSS)
(2. Check for new peer application tuples)
(Too early for that. Wait next ng -run --evaluate)
(3. Show the discovered peer App(s))
(Aware of the Application 0)
(LN = PGCS)
(HID = 5DAF89C2)
(OSID = 310BC0CC)
(PID = 05FEEDF3)
(BID = C631180C)
(4. Check subscriptions)
```

Fig.3 a) Mensagem de *status* do HTS; b) Mensagem de *status* do GIRS; c) Mensagem de *status* do PSS; d) Mensagem de contrato fechado entre o PGCS e o *IoTTesTApp*.

### V. CONCLUSÃO

Com este trabalho foi mostrado que o modelo revolucionário de internet do futuro NovaGenesis pode ser utilizado para construção de uma rede de dispositivos IoT. Uma vez que as mudanças propostas forem implementadas a escalabilidade do projeto *FloT* poderá ser provada. Além disso, a nomeação desvinculada da localização garante a

mobilidade dos nós IoT, sem que eles percam a comunicação. O modelo de contratos e serviços torna a rede facilmente escalável, uma vez que permite que outros nós entrem na rede e disponibilizem seus serviços de forma prática e rápida. Por fim, dadas todas as características do modelo NovaGenesis, pode-se concluir que sua utilização possibilita que seja criada uma rede escalável, econômica e rápida, o que atende as demandas da Internet das Coisas.

#### VI. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente financiado pela Finep, com recursos do Funttel, contrato No 01.14.0231.00, sob o projeto Centro de Referência em Radiocomunicações (CRR) do Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel, Brasil. Os autores também gostariam de agradecer a FINATEL, FAPEMIG, CNPq e CAPES

#### REFERÊNCIAS

- [1] V. J. Magalhães, G. D. Scarpioni, A. M. Alberti, “Rede IoT Colaborativa NovaGenesis” XXXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES E PROCESSAMENTO DE SINAIS - SBrT2017 São Pedro 2017.
- [2] J. Gubbi, R. Buyya, s. Marusic, M. Palaniswami. “Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions” *Future Generation Computer System*, vol. 29, pp. 1645-1660, 2013.
- [3] A. M. Alberti, G. D. Scarpioni, V. J. Magalhães, A. C. Sodrê Jr., J. J. P. C. Rodrigue; “Advancing NovaGenesis Architecture Towards Future Internet of Things” *IEEE Internet of Things Journal*, PP. -, 2017.
- [4] A. M. Alberti, D. Mazzer, M. M. Bontempo, L. H. de Oliveira, R. da Rosa Righi, and A. C. Sodrê Jr., “Cognitive radio in the context of internet of things using a novel future internet architecture called novagenesis,” *Computers & Electrical Engineering*, pp. -, 2016.
- [5] A. M. Alberti, M. A. F. Casaroli, D. Singh, and R. da Rosa Righi, “Naming and name resolution in the future internet: Introducing the novagenesis approach,” *Future Generation Computer Systems*, vol. 67, 2017.
- [6] V. J. Magalhães, Contribuição no desenvolvimento do service NovaGenesis embarcado para internet das coisas. 2017. 40f. Dissertação de Mestrado – Instituto Nacional de Telecomunicações, Santa Rita do Sapucaí, 2017.



# Cicloergômetro adaptado para atividade física durante tratamento hemodialítico

**Amanda Danielly Pereira**  
Engenheira Biomédica - Inatel  
amandap@geb.inatel.br

**Anderson André Palma**  
Engenheiro da Computação – Inatel  
andersonandre@gec.inatel.br

**Angélica Aparecida Braga**  
Engenheira Biomédica – Inatel  
angelicabraga@geb.inatel.br

**Rani Souza Alves**  
Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel  
rani@inatel.br

**Elisa Rennó Carneiro Dester**  
Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel  
elisa.renno@inatel.br

**Abstract** - The cycle ergometer allows patients to practice physical exercises during treatment, becoming a tool to assist in the physical rehabilitation of the patient. The purpose of the project was to develop a versatile cycle ergometer with the intention of being used in beds, stretchers and chairs of hospitals and clinics. To meet the versatility of the equipment, the metalon was used in its constitution, so that the equipment can be adapted in its different places of operation. Its structure consists of three fragments: base, shafts and control box. Together they are responsible for adapting the equipment to the site and to the patient. The purpose of the project was to develop equipment that could assist in physical activity in different hospital environments or even in homes.

**Index Terms** - Bedridden, chronic renal failure, hemodialysis, immobility syndrome, physiotherap.

**Resumo**- O cicloergômetro permite que pacientes pratiquem exercícios físicos durante o tratamento, tornando-se uma ferramenta para auxiliar na reabilitação física do paciente. A finalidade do projeto foi desenvolver um cicloergômetro versátil, com a intenção de ser utilizado em leitos, macas e cadeiras de hospitais e clínicas. Para atender a versatilidade do equipamento, foi utilizado o metalon em sua constituição, para que o equipamento possa ser adaptado em seus diferentes locais de atuação. Sua estrutura é constituída por três fragmentos: base, eixos e caixa de comando. Os quais, juntos, são responsáveis pela adaptação do equipamento ao local e ao paciente. O propósito do projeto foi desenvolver um equipamento que possa auxiliar na atividade física em diferentes ambientes hospitalares ou até mesmo em residências.

**Palavras chave** - Insuficiência renal crônica, fisioterapia, hemodíálises, síndrome do imobilismo.

hemodíalise na rede pública de saúde em todo o Brasil, gerando um gasto em torno de R\$ 2 bilhões para o governo [1].

A IRC leva a um acúmulo de líquidos e resíduos como a uréia, potássio, sódio e água, no organismo. Essa doença afeta a maioria dos sistemas e funções do corpo, inclusive o sistema imunológico, o controle da pressão arterial, a vitalidade dos ossos e, normalmente, pacientes que apresentam IRC apresentam menor capacidade física e funcional quando comparados ao restante da população [2].

Há alguns tipos de tratamentos para a IRC, entre eles: a diálise peritoneal e a hemodíalise. Ambos atuam na remoção de resíduos do organismo do paciente [3]. Na diálise peritoneal, o sangue é filtrado diariamente pela infusão, permanência e drenagem do dialisato (solução específica diálise, que entra em equilíbrio com o sangue a fim de remover excesso de água e resíduos). Na hemodíalise, a filtração do sangue é realizada por um capilar, sendo repetida de três a quatro vezes por semana, por, em média, quatro horas cada [3].

A hemodíalise tem a função de substituir a função dos rins insuficientes, porém, como consequência, ocorrem algumas alterações degenerativas em vários sistemas, como ósseo, muscular, cardiovascular, respiratório e metabólico [4]. O sistema muscular é seriamente afetado pelo tratamento hemodialítico. Suas alterações podem estar relacionadas com: a redução da ingestão de proteínas, hipotrofia muscular por falta de atividades físicas contínuas e diminuição do fluxo sanguíneo [5].

Da mesma forma, os pacientes acamados por um longo período, podem apresentar complicações motoras, respiratórias, hemodinâmicas, cardíacas e neurológicas. Neste caso, um dos objetivos da fisioterapia em ambiente hospitalar é minimizar os efeitos da imobilidade é tratar e/ou prevenir complicações respiratórias [6].

Tanto pacientes com IRC, quanto os pacientes acamados podem sofrer com a síndrome do imobilismo. Esta síndrome

## I. INTRODUÇÃO

A insuficiência renal crônica (IRC), lesão que causa a perda progressiva da função dos rins, constitui um dos maiores problemas de saúde pública. Segundo o IBGE, cerca de 80 mil pacientes são mantidos em serviços de

é caracterizada por alterações teciduais consequentes de um período prolongado de repouso ou imobilização. Estas alterações podem ocorrer, por exemplo, no sistema osteomuscular, dificultando as atividades diárias.

Pacientes acamados ou em tratamento de hemodiálise podem ser beneficiados pela fisioterapia, contribuindo de forma positiva para a qualidade de vida, podendo proporcionar uma melhora significativa para ambos. [7].

A complementação da fisioterapia durante o tratamento hemodialítico ou em pacientes acamados gera diversos benefícios na capacidade funcional geral, capacidade cardiorrespiratória, na força muscular, no condicionamento físico e resposta hemodinâmica. Além de melhorar a eficiência hemodialítica, a atividade física também traz respostas positivas nas condições psicológicas, fisiológicas e funcionais dos pacientes [8].

Estas práticas fisioterapêuticas ainda são pouco difundidas nos setores de hemodiálise. Possivelmente por medo de prejudicar a fístula arteriovenosa (acesso sanguíneo do paciente ao tratamento) [9].

Souza e Guedes (2014) realizaram seus estudos em hospitais e clínicas e confirmam a melhoria da qualidade de vida, bem-estar emocional, maior vitalidade, funcionamento físico e diminuição de dor durante o tratamento dos pacientes, especialmente aqueles que realizam o exercício ativo, mas também os mais debilitados que se beneficiam da atividade passiva [10].

Com base no exposto, este estudo tem por objetivo desenvolver um cicloergômetro adaptado a fim de tornar-se uma ferramenta auxiliar na reabilitação física e qualidade de vida dos pacientes hemodialíticos e acamados.

## II. MATERIAS E MÉTODOS

O processo de desenho e criação passou por diversas etapas, tais como desenho em sulfite e lousa, mockup, desenhos em CADs e impressão de miniatura 3D.

Diversos desenhos foram feitos de mecanismos capazes de se adaptar aos mais diversos leitos de hospitais e também a cadeiras de hemodiálise, seguidos também de mockups. Estabilidade e adaptabilidade da estrutura foram critérios importantes

Simultaneamente, também foram confeccionados desenhos da parte superior da estrutura, pensando no conforto do usuário e na abrangência de movimentos de forma a beneficiar pacientes sentados como também aqueles que estão deitados.

O equipamento esteve em constante reavaliação das medidas e foram estudadas diversas formas de montagem e desmontagem, levando em conta a mobilidade e também a armazenagem do mesmo. O projeto teve início com a plataforma de desenho Tinkercad, mas devido às limitações das ferramentas, houve a necessidade de aprender o SolidWorks®, no qual foi obtido o resultado esperado. Também foram estudadas as possibilidades da estrutura atuar como guincho hospitalar, exercendo também funções

como pesagem dos pacientes e auxiliando a troca de macas e/ou colocação em cadeiras de rodas.

Modelos 3D em escala também foram impressos de forma a tornar o processo mais interativo e permitir uma avaliação mais eficaz das dimensões e proporcionalidades, mas detalhes muito finos não são suportados pela tecnologia de impressão FDM e esta técnica só podem ser utilizadas em estágios iniciais.

Definido a estrutura e realizado os cálculos foi iniciado a produção na serralheria do Inatel, onde não havendo disponibilidade de todos os materiais necessários, alguns tiveram de ser substituído pelo similar de medida mais aproximada, todo o processo foi acompanhado pela equipe.

Para o desenvolvimento estrutural do equipamento foram utilizadas as equações de equilíbrio de estática. A equação do equilíbrio de força evita a translação de movimento do equipamento. Enquanto a equação do movimento e equilíbrio de momentos evita a rotação do corpo. Assim, com os cálculos e utilizando o software SolidWorks® foi realizada prototipação da estrutura.

$$F = 0; \quad = 0; \quad = 0 \quad (1)$$

$$= 0; \quad = 0; \quad = 0 \quad (2)$$

$$M = F \times d \times \sin(\theta) \quad (3)$$

Sendo:

F = força aplicada;

d = distância;

$\theta$  = ângulo;

Foi utilizado um microcontrolador, o ATmega2560 da Atmel, através da plataforma Arduino Mega. Onde foi realizado todo o controle de velocidade, tempo e calibração, e poderá ser definido qual o tipo de carga durante o tratamento.

Para a detecção de espasmos, será realizada a análise de corrente consumida pelo equipamento. Pois um paciente ao ter um espasmo, sofrerá a contração do muscular, portanto, forçando o motor a girar em sentido contrário e elevando o seu consumo de corrente, Evento este que será monitorado pelo microcontrolador.

## III. RESULTADOS

O cicloergômetro foi construído em três partes: a base, os eixos e a caixa de comando. A base foi constituída com três tubos de metalon de perfil retangular de 30x50mm, sendo constituída por duas hastes horizontais de 1,20 m, cada uma com dois rodízios com freio, e uma haste de 44 cm, e estão conectadas a um eixo vertical. O eixo vertical conecta a base ao eixo horizontal, o qual é o responsável por adicionar altura a estrutura. Por fim, o eixo horizontal extensível é utilizado para realizar os ajustes de posicionamento adequado para cada situação. A estrutura conta ainda com uma barra entre o eixo horizontal e vertical,

as quais são responsáveis por controlar o ângulo entre os eixos. Abaixo há um demonstrativo das possibilidades de configuração da estrutura (Figuras 1).



Fig. 1. (A) Detalhes da estrutura para uso com membros inferiores em cadeiras e leitos. (B) Detalhes da estrutura para uso com membros inferiores em cadeiras e leitos.

Na construção da estrutura da caixa de comando também foi utilizado ferro e alumínio, suas dimensões são 34cm x 31cm x 11cm, ela foi constituída pelo motor, microcontrolador para o controle de velocidade, tempo, botão de emergência, um par de pedais (Figura 2A), e um par de manopla (Figura 2B).

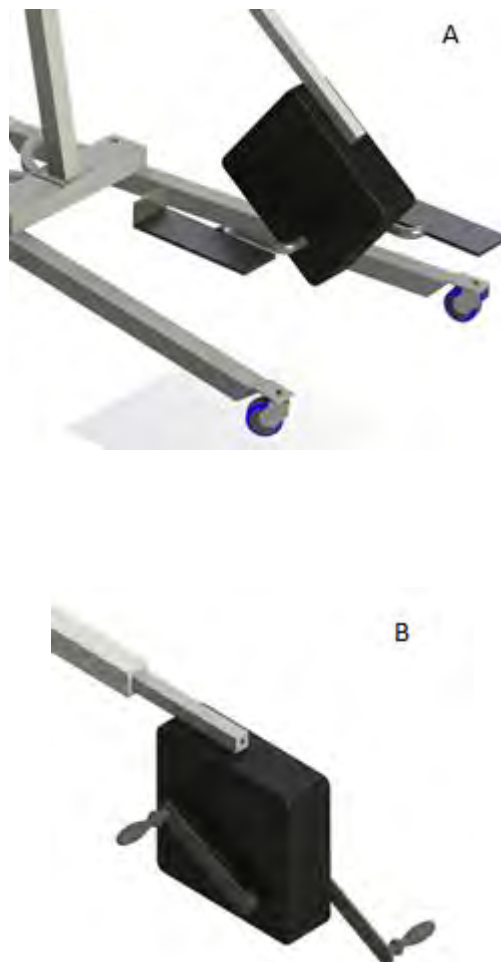


Fig. 2. (A) Detalhes da estrutura para uso com membros inferiores. (B) Detalhes da estrutura para uso com membros superiores.

O motor usado foi um Bosh com Tensão de 12V e corrente próxima de 8A, o motor utilizado foi capaz de realizar apenas o exercício no modo passivo devido a sua caixa de redução.

O equipamento possui uma forma de atuação: passivo. O passivo se trata quando o exercício é realizado pelo próprio equipamento, com o controle de velocidade e tempo durante o tratamento. O protótipo foi desenvolvido dentro dos padrões da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA).

#### IV. DISCUSSÃO

A estrutura foi dimensionada de modo que possa se adaptar tanto para leitos quanto para cadeiras, devido aos seus ajustes na base e no eixo horizontal.

O peso da caixa de comando ultrapassou o suportado pela estrutura. A reparar este erro, novos cálculos estão sendo realizados e se necessário uma nova estrutura será desenvolvida.

O sistema de freios e rodízios também está em processo de adaptação, os rodízios atuais de gel com perfil ovalado não aderem tão bem às superfícies, sendo necessária sua troca por material mais aderente e com maior superfície de contato com o piso. Os motores normalmente trabalham

com alta velocidade e de baixo torque, por isto adiciona-se uma caixa de redução (ou caixa de câmbio) cuja função é transformar esta grande velocidade inicial em um torque final maior. Devido a natureza deste exercício, não precisamos de velocidade e sim torque. Uma consequência secundária da inclusão de uma caixa de redução é que ela adiciona uma carga (também chamada de resistência) ao motor, dificultando o sistema gire livremente com movimento a partir de sua extremidade de saída.

Entre os modelos de drivers escolhido foi BTS7960, com capacidade de saída igual a 43A, valor que pode vir a ser necessário utilizando um motor sem caixa de redução. O BTS7960 é constituído por duas pontes H "*half bridge*" que proporcionam o efeito *Full Bridge*, onde não só a velocidade pode ser controlada, mas também o sentido de rotação, recurso este, essencial para o alívio de espasmos.

A remoção da caixa de redução resulta em um aumento do consumo de corrente, este aumento causado no modo ativo, traria benefícios para o equipamento, como maior controle dos modos ativo resistido e modo passivo também.

Também existem no mercado drivers com capacidade equivalente, tais como, por exemplo, o "*Sabertooth 2x32*" a plataforma "*Scorpion XL*" e o "*Hobbywing Eagle 30A*", mas que exigiriam maiores adaptações.

Foi estudada a possibilidade de inclusão de comunicação *wireless* ou via USB a fim de exportar dados para análise posterior, sendo que uma comunicação *wireless* permitiria um acompanhamento em tempo real mais detalhado, além de interface mais amigável e a exportação *off-line* (por exemplo, em arquivo Excel) permitiria maior flexibilidade na manipulação dos dados e comparação com dados anteriores.

Modelos comerciais como Motomed e Reellex PhisioCleem, por exemplo, são equipamentos que realizam atividades separadas para membros superiores e inferiores. O cicloergômetro foi desenvolvido para atender as necessidades da atividade física de membros inferiores e superiores, e com a finalidade de ser adaptado em cadeiras e leitos.

## V. CONCLUSÕES

O presente projeto foi desenvolvido com o propósito de auxiliar na atividade física em ambiente hospitalar ou até mesmo em residência. O equipamento é versátil, com a finalidade de se adaptar a leitos, macas e cadeiras de hospitais e clínicas. Futuramente, pretende-se melhorar o projeto, implementando os modos ativos (livre e resistidos) e um sistema de *feedback* para o profissional responsável.

## REFERÊNCIAS

- [1] – Ministério da Saúde. "Rede pública de saúde recebe mais recursos para serviços de nefrologia". 2013. Disponível: <http://www.brasil.gov.br/saude/2013/03/rede-publica-de-saude-recebe-mais-recursos-para-servicos-de-nefrologia>.
- [2] - Sakkas GK, Sargeant AJ, Mercer TH, Ball D, Koufaki P, Karatzafieri C, et al. "Changes in muscle morphology in dialysis patients after 6 months of aerobic exercise training". *Nephrol Dial Transplant*. 2003;18(9):1854-61.
- [3] - Peres CPA, Kovelis D, Arnaut AC, Bonomo C, Ferrari R, Santos GCCO, et al. "Efeitos de um programa de exercícios físicos em pacientes com insuficiência renal crônica em hemodiálise". 13º Simpósio Internacional de Fisioterapia Respiratória e Fisioterapia em Terapia Intensiva; set. 6-9, 2006; Curitiba, PR. São Carlos: Associação Brasileira de Pesquisa e Pós-Graduação em Fisioterapia; 2006.
- [4] - Reboredo MM, Henrique DMN, Bastos MG, Paula RB. "Exercício físico em pacientes dialisados". *Rev Bras Med Esporte*. 2007;13(6):427-30.
- [5] - Soares A, Zehetmeyer M, Rabuske M. "Atuação da fisioterapia durante a hemodiálise visando à qualidade de vida do paciente renal crônica".
- [6] - LUIZ, Ana Paula Westrup; SILVA, Camila Lamesa; MACHADO, Michelle Cardoso. "Fisioterapia respiratória e terapia intensiva". Universidade do sul de Santa Catarina, Tubarão, 2008.
- [7]- Najas CS, Pissulin FDM, Pacagnelli FL, Betônico GN, Almeida IC, Neder JA. "Segurança e eficácia do treinamento físico na Insuficiência Renal Crônica". *Rev Bras Med Esporte* 2009; 15:384-8.
- [8] - Coelho DM, Ribeiro JM, Soares DD. "Exercícios físicos durante a hemodiálise: Uma revisão sistemática". *J. Bras. Nefrol*. 2008; 30(2):88-98.
- [9] - REBOREDO, Maycon de Moura et al. "Aerobic exercise during hemodialysis: report of five years experience". *Fisioterapia em Movimento*, v. 24, n. 2, p. 239-246, 2011.
- [10] - Souza RMG, Guedes LBA. "Benefícios funcionais da fisioterapia para pacientes em hemodiálise". *Revista Pesquisa em Fisioterapia*. 2014, ago;4(2):107-113.

# Desenvolvimento e síntetização da hidroxiapatita para impressora 3D

Bruna Goulart Rotella

João Paulo Silva Liguori

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
brunagoulart@geb.inatel.br

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
jliguori@geb.inatel.br

**Resumo**—Materiais baseados em fosfato de cálcio vêm sendo estudados e utilizados com maior frequência nos últimos anos, as importâncias de tais pesquisas são principalmente aplicadas tecnologicamente nas áreas de saúde em procedimentos cirúrgicos, sendo sobreposto em enxertos ósseos. Esses materiais são materiais cerâmicos, o material utilizado no trabalho foi a hidroxiapatita (HA), avaliado como um material seguro, não sendo carcinogênico e nem alergênico. Foram realizados estudos e praticado diversos métodos de obtenção, e os selecionados foram o Ácido Fosfórico e o Nitrato de Cálcio. Assim, este trabalho tem como objetivo mostrar o estudo sobre a hidroxiapatita, principalmente suas aplicações e caracterização, visando sua utilização em impressora 3D.

**Palavras chave**—Biocerâmico, enxerto, hidroxiapatita, material cerâmico.

**Abstract-** *Materials based on calcium phosphate have been studied and used more frequently in recent years, the importance of such research is mainly applied technologically in the health areas in surgical procedures, being superimposed on bone grafts. These materials are ceramic materials, the material used in the work was hydroxyapatite (HA), evaluated as a safe material, being neither carcinogenic nor allergenic. Studies were carried out and several methods of obtaining were practiced, and the selected ones were Phosphoric Acid and Calcium Nitrate. Thus, this work aims to show the study on hydroxyapatite, mainly its applications and characterization, aiming its use in 3D printer.*

**Keywords:** Bioceramic, graft, hidroxiapatita, ceramic material.

## I. INTRODUÇÃO

Normalmente quando um osso é perdido através de um ferimento ou alguma doença, a perda é preenchida com osso natural. Contudo, a utilização de ossos naturais não tira a chance de haver uma infecção. Devido a isso, os estudos de materiais cerâmicos vêm crescendo, pois apresentam propriedades biológicas semelhantes ao do tecido ósseo. As cerâmicas de cálcio têm ganhado lugar de destaque denominadas biocerâmicas, pois não apresentam toxicidade local, rejeição a corpos estranhos ou inflamações e possuem habilidades em interagir com o tecido do hospedeiro. Essas vantagens são explicadas pela natureza química por serem formadas basicamente por íons de cálcio e fosfato. Esses íons participam do equilíbrio iônico entre o fluido biológico e a cerâmica, retratando uma habilidade de formar ligações químicas com o tecido. A grande aceitação das biocerâmicas à base de sais de fosfato de cálcio deve-se, principalmente, ao seu alto grau de biocompatibilidade, que está relacionada com a sua similaridade química e a dos materiais normalmente encontrados no tecido ósseo.

O objetivo desta pesquisa foi estudar a hidroxiapatita através do Ácido Fosfórico e o Nitrato de Cálcio, com isso, foi exercido diversos estudos e experiências para alcançar as metas.

A hidroxiapatita também é utilizada em algumas aplicações em impressoras 3D, como por exemplo na fabricação de cerâmicas porosas e construção em formas anatômicas.



## II. HIDROXIAPATITA

É um constituinte mineral encontrado no osso que representa cerca de 30 a 70% da massa dos ossos e dentes. A Hidroxiapatita sintetizada possui propriedades de compatibilidade e integração, o que faz a mesma se tornar substituta dos ossos humanos em implantes e próteses, portanto sua utilização é muito importante para tais áreas. Devido as vantagens citadas acima e a sua alta capacidade de absorver moléculas, fazem a HA uma ótima base para tratamentos de tumores ósseos, tratamentos de remoção de metais em águas e solos poluídos. A hidroxiapatita dificilmente é encontrada na natureza, esses minerais são achados como constituintes de rocha ígneas. Alguns animais marinhos apresentam esse mineral em seu esqueleto, sendo a maioria constituinte de fosfato de cálcio.



**Figura 1 – Hidroxiapatita**

Fonte: (<http://hypescience.com/minerais-mais-mortais-ja-extraidos/>)

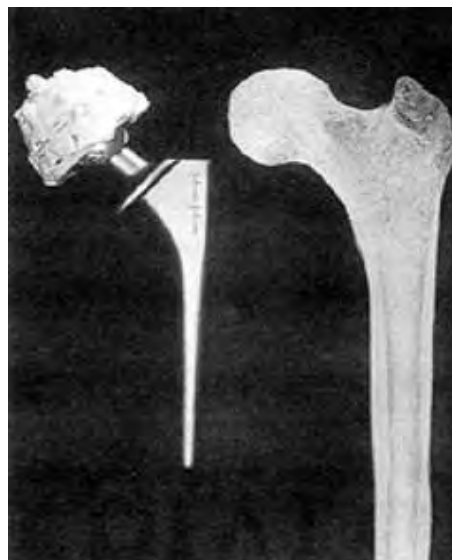
## III. APLICAÇÕES

As biocerâmicas são utilizadas para repor partes do corpo e permitir recuperações das funções.

A HA é utilizada na área médica como implantes e próteses, na área ortopédica no revestimento de próteses metálicas, dentre outras diversas áreas. Também é utilizada no tratamento de tumores, onde é aplicada como suporte, pois há aplicação de drogas anticancerígenas nos blocos de hidroxiapatita, ocorrendo a liberação da droga no corpo humano.

Na área odontológica é aplicada para evitar que se perca tecido ósseo depois da retirada de um elemento dentário, e também, utilizado para reabsorção óssea. Os pinos de titânio que são usados nos implantes são revestidos com hidroxiapatita.

Não só em áreas biomédicas que são utilizadas a hidroxiapatita, mas também na área ambiental devido a grande capacidade de remover metais pesados de águas e solos contaminados.



**Figura 2 - Aplicação Ortopédica**

Fonte: (<http://biomateriais.blogspot.com.br/2006/01/biomateriais-compositos-de.html>)



**Figura 3 - Aplicação Odontológica**

Fonte: (<http://osteogen.com.br/?p=4>)

## IV. SÍNTESE

Alguns estudos foram realizados e a forma encontrada para a síntese da hidroxiapatita foi através do Ácido Fosfórico

( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) e do Nitrato de Cálcio ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ). A equação da reação foi a seguinte:



Foi utilizado 80ml de  $\text{H}_3\text{PO}_4$  e 147,02g de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ . Verificou-se o pH da HA e analisou-se o mesmo se encontrava em torno de 10, caso contrário, foi adicionado solução de Hidróxido de Sódio para ajustar o pH no valor necessário. A solução foi agitada por 30 minutos e levado para a estufa com temperatura de  $80^\circ\text{C}$  para secar todo o líquido presente. A solução de HA demorou por volta de 2 dias para secar completamente.



**Figura 4 - Hidroxiapatita sintetizada no laboratório**

#### V. APLICAÇÃO EM IMPRESSORA 3D

A tecnologia vem crescendo e trazendo muitos de benefícios para a sociedade. Com isso, a impressora 3D está sendo utilizada na área da saúde como nunca, tornando os procedimentos mais curtos e mais precisos. É uma tecnologia que desenvolve objetos de metal, plástico, entre outros materiais, com vários tamanhos. Esta tecnologia está sendo usada em aplicações médicas, próteses, implantes e grande aplicação na engenharia de tecidos.

O osso sintético impresso em 3D já foi aprovado através de testes *in vitro* e *in vivo*. Esse osso sintético capaz de substituir funções óssea é feito através de polímeros.

Os engenheiros de tecidos têm usados a hidroxiapatita (HA) para fazer impressões tridimensionais na fabricação de cerâmicas porosas com canais ligados baseados em hidroxiapatita em pó para recomposição óssea. As construções feitas de hidroxiapatita em formas anatômicas são desenvolvidas a partir de informações médicas do paciente. Essa tecnologia permite o desenvolvimento de uma estrutura bifásica para fazer a regeneração de sistemas de tecido híbrido, por exemplo, a articulação temporomandibular.

#### VI. CONCLUSÃO

Neste artigo foi estudado os métodos de obtenção, as aplicações e o desenvolvimento da hidroxiapatita. A hidroxiapatita é utilizada em diversas áreas como médica, odontológica e ambiental. Sua utilização vem se destacando nas áreas médicas, principalmente para a reparação de perdas de tecidos ósseos. Após esses estudos e práticas, foi apresentado também, a utilização dessa substância em impressoras 3D. Com essa utilidade em conjunto com o avanço tecnológico, os procedimentos na saúde estão cada vez mais rápidos e precisos, facilitando para médicos e pacientes.

#### VI. REFERÊNCIAS

- [1] XIAN, WUJING. "A LABORATORY COURSE IN BIOMATERIALS". CRC PRESS, 2009. 212p.
- [2] A.C.F.M. Costa; M.G. Lima; L.H.M.A. Lima; V.V. Cordeiro; K.M.S. Viana. Hidroxiapatita: Obtenção, caracterização e aplicações, Campina Grande, 2009.
- [3] M.L. Santos; A.O. Florentino; M.J. Saeki; A.H. Aparecida; M.V. Lia Fook; A.C. Guastaldi. Síntese de hidroxiapatita pelo método sol-gel utilizando precursores alternativos: nitrato de cálcio e ácido fosfórico, v 30, n 3, 2005.
- [4] N.D. Guimarães; O uso da impressora 3D nas práticas médicas. Brasília, 2016.

# Recuperação de metais de placas de circuito impresso por lixiviação – Projeto Metallum

Gabriel Magalhães Garcia  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
gabrielmagalhaes@get.inatel.br

Gabriel Resende Sandy  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
gabrielresende@gea.inatel.br

Leonardo Brandão Costa  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
leonardo.brandao@geb.inatel.br

Luiz Felipe Lopes Oliveira  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
luiz\_oliveira@get.inatel.br

Francisco Eduardo de Carvalho Costa  
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
costafec@inatel.br

**Abstract** - Metallum separates heavy metals from electronic scrap and processes to be reused. We use a separation method through acids and controlled exhaust to remove the desired metals, the projects are divided into three stages. First step added two acids to distinguish metal from plastic from electronic boards. Second stage after filtering the plastic, we control the pH of the solution in order to separate the metal. Last stage we filtered the liquid from the metal, so we reused the scrap metal. With this, Metallum avoids the contamination of the environment, and becomes a viable company, because we use scrap as raw material that is becoming increasingly abundant due to the advancement of technology.

**Keyword** - Acid, Water Regia, Technological Advancement, Metals, Heavy Metals, Separation, Electronic Scrap, PCIS.

**Resumo** - A Metallum separa os metais pesados da sucata eletrônica e processa para serem reutilizados. Utilizamos um método de separação através de ácidos e exaustores controlados para retirarmos os metais desejados, os projetos são divididos em três etapas. Primeira etapa adicionou dois ácidos para distinguir o metal do plástico das placas eletrônicas. Segunda etapa depois de filtrarmos o plástico, controlamos o pH da solução afim de separar o metal. Última etapa filtramos o líquido do metal, assim reutilizamos o metal das sucatas. Com isso a Metallum evita a contaminação do meio ambiente, e se torna uma empresa viável, pois usamos sucata como matéria prima que vem se tornando cada vez mais abundante devido o avanço da tecnologia.

**Palavra chave** – Ácido, Água Régia, Avanço tecnológico, Metais, Metais Pesados, Separação, Sucata eletrônica, PCIS.

## INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia esta mais rápido do que nunca, e ao acompanharmos esse progresso produzimos cada vez mais peças obsoletas. Essa sucata tecnológica vem se

tornando um problema, pois seus componentes possuem metais pesados que se não descartados da maneira correta, podem causar danos irreversíveis ao meio ambiente. Pensando nisso a Metallum desenvolveu uma maneira segura e eficaz de separar essas sucatas eletrônicas através de reações químicas automatizadas.

Nos processos descritos na literatura observa-se uma maior eficiência na recuperação quando as placas de circuitos impresso são coletadas, moídas e passam por um processo químico de separações de matérias denominado lixiviação.

A primeira etapa da lixiviação consiste em utilizar uma mistura conhecida como agua regia que tem em sua composição o acido nítrico e o acido clorídrico, esta solução é colocada em um balde com o pó triturado, onde utilizamos um motor para misturar a solução na qual a temperatura é controlada através de banho-maria, tornando-a homogenia. Esse licor, agua regia mais o metal extraído é filtrado deixando apenas o plástico no filtro.

Para a separação dos metais do licor procede-se a precipitações com diferentes valores de pH sob agitação.

Esse estudo tem como objetivo padronizar o processo de extração de metais de placas de circuito impressos para o desenvolvimento de um protótipo (Metallum) automatizado para realizar em maior escala o processo supracitado.

## METODOLOGIA

1º passo: Coleta e preparo das amostras

As PCI's (celular e PCI em geral) foram recolhidas e trituradas em moinho de martelo (para preparo de fubá). De cada amostra foram retiradas três sub-amostras para cada tipo de placa. Estas foram despejadas cada uma em uma folha sulfite para serem feitas fotos com escala, para tanto foi colocada uma régua sobre a folha de sulfite. As amostras foram acondicionadas em frascos previamente identificados. (Figuras 1, 2 e 3)



Figura 1 – Amostra na folha sulfite após moagem.

Fonte: Autoria da equipe



Figura 2 – Amostra das placas de celular nos recipientes identificados

Fonte: Autoria da equipe



Figura 3 – Amostra das placas de circuito impresso nos recipientes identificados.

Fonte: Autoria da equipe

### 2º passo: Tamisação/Peneiração

Foram pesadas 100 gramas de amostra e transferidas para um tamis (peneiras de 1mm) onde foi movimentada por 5 minutos, sendo que o material que passou pelo tamis foi transferido para um segundo tamis (0.25mm) e agitado por 5 minutos. Após esse intervalo de tempo foram coletadas cada uma das frações (grosso, médio, fino), separadas em béqueres, identificadas e pesadas. (Figuras 4 e 5)



Figura 4 – Amostras depois de serem peneiradas



Figura 5 – Amostras pesadas e identificadas

### 3º passo: Extração com água régia e filtragem

As amostras (50g do material obtido da mistura de partes iguais das diferentes granulometrias) foram transferidas para béqueres no interior da capela de exaustão de gases. Adicionou-se 500 mL de água régia (uma parte de ácido nítrico ( $HNO_3$ ) para três partes de ácido clorídrico ( $HCl$ )). Os recipientes foram colocados em banho-maria (temperatura de  $^{\circ}C$ ) por uma hora com agitação a cada 5 minutos.

Para a filtragem a vácuo, o papel filtro foi previamente pesado e colocado no funil de Buchner. Após a filtragem o líquido teve o seu pH aferido e foi submetido a processos de precipitação com adição de solução concentrada de NaOH. A cada novo pH foi efetuada nova filtração. Resíduo mais o papel foram colocados para secar e pesar posteriormente.

Todos os testes foram realizados em triplicata.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como forma de padronizar o procedimento da separação do material grosso, médio e fino de amostras através do processo de tamisação para comparação no final do processo. Observou-se que uma menor porcentagem do produto moído uma vez ficou na forma de pó fino. Cerca de 80% ficou como particulado ou fragmentos.

Um fato importante observado foi o impacto da qualidade do ácido clorídrico. Visto que o uso de ácido muriático ( $HCl$  com alta grau de impurezas) reduziu drasticamente a eficiência do processo de extração. (Tabela 1)

Tabela 1 – Valores médios do peso das PCIs após processo de extração com água régia e eficácia da remoção de material.

DADOS:	HCl	Ac. Muriático
Peso final:	19,5937	30,0054
Eficiência:	60,813%	39,989%

Os testes com a alteração do pH do licor visa remover metais distintos. Iniciou-se o processo com pH 0 e adicionou-se NaOH gradativamente para alterar a solubilidade dos metais forçando-os a precipitarem. O pior resultado observado foi com pH 4,5 (0,001g de metal) e o melhor resultado foi com pH 3,5 (12 g de metal).

No pH 3,5 observou-se a predominância de cobre (Cu) enquanto no pH 4,5 observou-se com o auxílio de microscopia a presença de metal de aspecto semelhante ao do ouro.

Esse resultados são condizentes com diferentes trabalhos, sendo que a porcentagem de ouro obtida no nosso

experimento foi 5 vezes menor que o esperado. Isto pode ser explicado pelo tipo de placas usadas, que talvez apresentassem baixo teor desse metal.

A presença de prato, estanho e níquel não pode ser confirmada, pois nos demais valores de pH o Cu sempre foi o metal facilmente detectado.

## CONCLUSÃO

Conclui-se que o processo realizado apresenta-se vantajoso na recuperação de metais de PCIs, sendo a precipitação realizada no pH de 3,5 a que apresentou melhores resultados.

## Considerações e perspectivas

Para melhorar a eficácia na extração testar se a moagem consecutiva dos fragmentos aumenta a porcentagem de particulado e se isto interfere no processo de extração.

## REFERENCIAS

PRADO, Alexandre GS; FARIA, Elaine A.; PADILHA, Pedro M. Aplicação e modificação química da sílica gel obtida de areia. Química Nova, p. 544-547, 2005.

DESCHAMPS, Eleonora et al. Pesquisa da contaminação por mercúrio em garimpo do Estado de Minas Gerais, seu impacto na saúde e no meio ambiente. Pesquisa da contaminação por mercúrio em garimpo do Estado de Minas Gerais, seu impacto na saúde e no meio ambiente, v. 1, 1998.

MARTINS, A. H.; SILVA, H. W. A.; PERES, A. E. C.; PEREIRA, C. A.; TOREM, M. L.; DUTRA, A. J. B. Reciclagem de placas de circuito impresso de computadores sucata para a recuperação de estanho por eletroeluição de resinas poliméricas de troca iônica. HOLOS, v. 4, pp. 3-11, 2014.

SOARES, A.C. ; ROSETTI, M.V.M.; OSÓRIO, V.M. ; ANDRADE, F.P. Análise da influência da proporção HCl:HNO<sub>3</sub>, da temperatura e do volume de ácidos na lixiviação de Cu e Pb presentes em placas de circuito impresso. Blucher Proceedings V SEMANA DE ENGENHARIA QUÍMICA UFES.



# Aplicação de Arranjos de Halbach em Robô Autônomo

Liliana Vigolo

Universidade do Oeste de Santa Catarina - UNOESC  
lilianavigolo.1997@gmail.com

Marconi Januario

Universidade do Oeste de Santa Catarina - UNOESC  
marconi.januario@unoesc.edu.br

Kleyton Hoffmann

Universidade do Oeste de Santa Catarina - UNOESC  
kleyton.hoffmann@unoesc.edu.br

Renato Scortegagna

Universidade do Oeste de Santa Catarina - UNOESC  
renato.scortegagna@unoesc.edu.br

**Abstract**—In a competition between autonomous sumo robots the objective is to push the opponent out of the ring (dohyō). It is necessary for this task increase the normal force of the robot. One way is to adopt the use of permanent magnets on the bottom of the robot that connects to the dohyō (built with ferromagnetic material). This set of magnets is organized in a linear way, each magnet being connected to the next with its magnetic orientation interconnected to the two poles of the magnet that follows, forming an arrangement of Halbach. This configuration concentrated the magnetic field on one side of the array and cancels it on the other surface. In this work, simulations were performed in finite element software and experimental tests were done. It is possible to determine the best arrangement of the models for this modality, since each arrangement has at least four Neodymium-Iron-Boron magnets. Finally, it is observed that the Halbach formation significantly increases the normal force, allowing decreasing the number of magnets used to obtain the same applied force. Consequently, reducing the mass of the robot, as well as reducing the costs related to the purchase of magnets.

**Index Terms**—Halbach's arrangement, Finite Elements, Magnetic Fields, Magnets, Normal force.

**Resumo**—Em uma competição entre dois robôs autônomos de sumô em que o objetivo é empurrar o oponente para fora do ringue (dohyō) busca-se aumentar a força normal do robô. Uma maneira é adotar a utilização de ímãs permanentes na parte inferior do robô que o fixa ao dohyō (construído com material ferromagnético). Este conjunto de ímãs é arranjado de forma linear, sendo que cada ímã é conectado ao próximo com sua orientação magnética interligada aos dois polos do precedente formando um arranjo de Halbach. Esta configuração faz com que o campo magnético fique concentrado em um dos lados do arranjo e praticamente o anulando na outra superfície. Neste trabalho foram realizadas simulações em software de elementos finitos e testes experimentais, sendo possível determinar qual a melhor disposição dos ímãs para esta modalidade, visto que cada arranjo conta com no mínimo quatro ímãs de Neodímio-Ferro-Boro. Por fim, constata-se que a formação de Halbach aumenta significativamente a força normal do robô em relação à chapa (arena) possibilitando diminuição do número de ímãs utilizados para obter a mesma força aplicada. Consequentemente, diminuindo a massa do robô bem como reduzindo os custos relacionados à aquisição de ímãs.

**Palavras chave**—Arranjos de Halbach, Campo Magnético, Elementos finitos, Força Normal, Ímãs.

## I. INTRODUÇÃO

Na literatura o magnetismo é descrito como uma força capaz de atrair ou repelir determinado objeto, como algo gerado em qualquer situação onde haja uma corrente elétrica ou então um sistema que seja composto por magnetos. Este último modelo cuja formação depende exclusivamente de ímãs é adotado em algumas máquinas elétricas com intuito de produzir campo girante que é essencial para seu funcionamento [1].

Ainda, a formação de arranjos de ímãs em diversas situações é adaptada para que concentre o máximo campo magnético em apenas uma das extremidades do arranjo quando o objetivo é aumentar a força do campo em apenas uma direção. Este tipo de arranjo é encontrado em alguns motores e geradores, por exemplo, porque economicamente, gera uma grande redução na quantidade de ímãs necessários para gerar a mesma quantidade campo magnético - indispensável para seu funcionamento, do que utilizando um modelo normal de distribuição dos ímãs [2][3][4].

Não obstante, esta formação também é apresentada em situações onde deseja-se apenas aumentar a força sobre uma superfície de um determinado objeto, que é o caso dos robôs autônomos de sumô. O número de ímãs para utilização em robôs de sumô nas competições geralmente são ilimitados. Entretanto, existem limitações em relação à máxima massa do robô para que esteja apto a competir. Desta forma, a adequação da cadeia de ímãs pode dar aos desenvolvedores maior flexibilidade em relação às demais partes do projeto do robô porque com um número muito menor de ímãs é possível aumentar drasticamente a força normal do robô. Assim, com um arranjo de Halbach torna-se possível estas e muitas outras aplicações dentro da engenharia [5].

Este trabalho está dividido em três partes onde, primeiramente, é realizada a simulação dos arranjos com o método de elementos finitos. Na segunda etapa o arranjo é modelado por meio de rede de relutância, gerando assim, uma proposta de modelagem semi-analítica para obtenção dos valores de campo magnético na estrutura. Na terceira etapa, são realizados testes experimentais para comparar a força resultante de um conjunto de ímãs agrupados com e sem o arranjo de Halbach. Por

fim, são apresentadas as conclusões e sugestões de trabalhos futuros.

## II. SIMULAÇÃO COM ELEMENTOS FINITOS

Um arranjo de Halbach consiste na formação linear de um grupo de ímãs associados de forma a concentrar o campo magnético em uma das superfícies da ligação (Figura 1) [5][2]. Para verificar a distribuição de campos magnéticos é realizada uma simulação com a utilização do método de elementos finitos. Os ímãs simulados e utilizados neste trabalho são cubos de 5 mm de aresta e de material neodímio-ferro-boro.

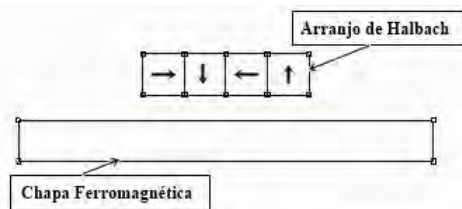


Fig. 1. Arranjo de Halbach e chapa de aço.

O método de elementos finitos discretiza as regiões delimitadas pelos ímãs, onde cada elemento é resolvido como um sistema isolado. Posteriormente, unindo os resultados obtidos de cada elemento é possível obter o comportamento geral de campo magnético do sistema [6]. A simulação é realizada com o *software* EFCAD que é disponibilizado gratuitamente pela GRUCAD, com *download* disponível no site da UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina), disponível em: <<http://grucad.ufsc.br/download/>>.

O EFCAD gera a partir de um arquivo *.pre* desenvolvido por uma rotina criada utilizando o MATLAB, um modelo de desenho onde estão as características dos ímãs e da chapa, e posteriormente são adotadas as condições para que seja simulado (inserção de materiais e condições de contorno) [6].

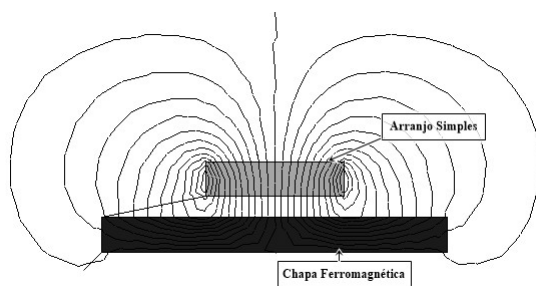


Fig. 2. Disposição das linhas de campo em um arranjo simples de ímãs permanentes.

Para comparação e validação do arranjo são simulados com elementos finitos um arranjo 4 de ímãs todos com a mesma orientação (Figura 2) e o arranjo de Halbach (Figura 3). O material considerado para o ímã tem uma indução remanente de 1,29 T e a chapa que compõe a arena foi modelada como um material ferromagnético linear de permeabilidade  $1000\mu_0$ .

Para a configuração simples (Figura 2) nota-se que as linhas de campo magnético concentram-se em sua maior parte nas

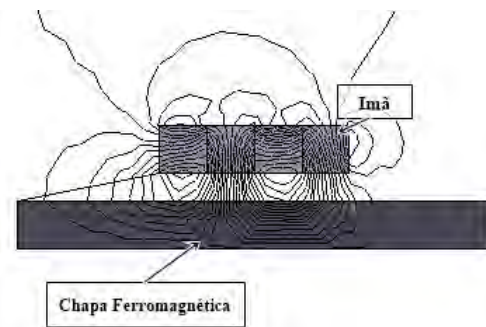


Fig. 3. Disposição das linhas de campo em um arranjo de Halbach.

extremidades do arranjo, sendo que a intensidade de campo magnético é em média 0,55 T. Por outro lado, o modelo de Halbach (Figura 3) concentra praticamente todo o campo magnético na parte inferior do arranjo obtendo como máxima intensidade de campo aproximadamente de 0,95 T. Por fim, o arranjo de Halbach apresenta melhor eficiência quanto ao aumento da força normal do arranjo em relação à chapa, uma vez que, a força é diretamente proporcional ao valor de indução magnética.

## III. MODELO ANALÍTICO DO ARRANJO

O comportamento de um arranjo simples, cujos ímãs estão ligados uns aos outros ambos com seu Norte no mesmo sentido, pode ser reduzido a um sistema contendo apenas um ímã - além da chapa de material ferromagnético, o que implica maiores perdas por espreadimento. Por conseguinte, menor capacidade de exercer força normal sobre a chapa se comparados a uma cadeia de Halbach - que faz com que a distribuição do fluxo magnético seja concentrada em uma única direção gerando efeito contrário.

A modelagem adotada para descrever o comportamento do arranjo de Halbach é realizada por meio de malhas de relutâncias, onde cada caminho magnético é transformado em uma relutância de acordo com a seção e a propriedade do material [6]. O circuito equivalente proposto é mostrado na Figura 4, onde cada ímã é representado por duas fontes eletromotrizes e relutâncias posicionadas de acordo com os resultados obtidos por meio da simulação no EFCAD.

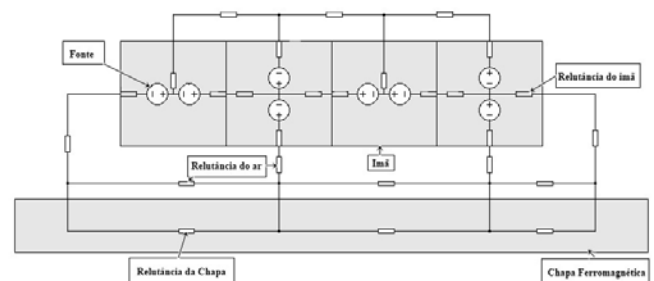


Fig. 4. Rede de relutâncias do arranjo de Halbach simulado.

Os sentidos adotados às fontes levam em consideração o posicionamento do Norte magnético do ímã em relação ao

seu precedente e, as relutâncias são alocadas respeitando o caminho que o fluxo magnético percorre entre os ímãs e o dohyô, buscando-se compensar o espriamento. Após a modelagem por rede de relutância é possível resolver o sistema linear, calculando o fluxo em cada relutância e por consequência o campo magnético e a indução magnética.

A indução magnética é calculada em três pontos críticos que podem ser vistos na Figura 5. O primeiro ponto está localizado entre a chapa e o ímã cujo norte está direcionado à placa ferromagnética (ponto A). O segundo ponto entre a chapa e o ímã cujo norte está direcionado para cima (ponto B) e o terceiro ponto está localizado entre a chapa e o ímã cuja orientação, em relação à placa ferromagnética está com seu Norte no sentido para a direita (ponto C).

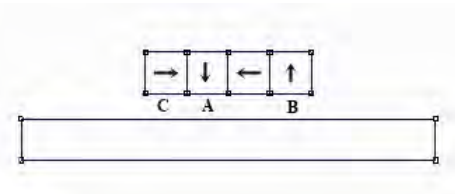


Fig. 5. Localização dos pontos de cálculo de indução magnética.

No ponto A o resultado apresentado pelo EFCAD indica uma indução magnética com valor entre 0,9 T e 1,0 T enquanto, matematicamente, obtém-se uma indução de 0,92 T. No ponto B, de acordo com o programa de elementos finitos a indução magnética fica na faixa de 0,56 T e 0,68 T e, para a rede de relutâncias (Figura 5), o valor é de 0,57 T. No ponto C, a indução magnética obtida pelo EFCAD fica entre 0,45 T e 0,56 T, enquanto matematicamente, obteve-se um valor de 0,22 T. Nota-se que apenas para o ponto C a modelagem analítica não foi adequada necessitando um refinamento das relutâncias no local.

A modelagem adotada para o desenvolvimento de cálculos e os resultados obtidos através de simulação é satisfatória devido a proximidade entre os valores para indução magnética obtidos entre as duas modelagens.

#### IV. MEDIÇÃO DE FORÇA

##### A. Aparato

O ensaio foi composto pela verificação de dois casos: (i) um arranjo de ímãs que foi chamado de arranjo simples (4 ímãs orientados na mesma direção de magnetização) e (ii) conforme o arranjo de Halbach. O aparato de medição, é mostrado na Figura 6, o qual é composto por uma célula de carga acoplada a uma chapa de aço com as mesmas características do dohyô, um amplificador de instrumentação e um osciloscópio para medição do sinal amplificado.

Os ímãs são unidos utilizando cola permanente e reforçados com fita para evitar o desprendimento do arranjo durante o ensaio devido a força exercida sobre o mesmo.

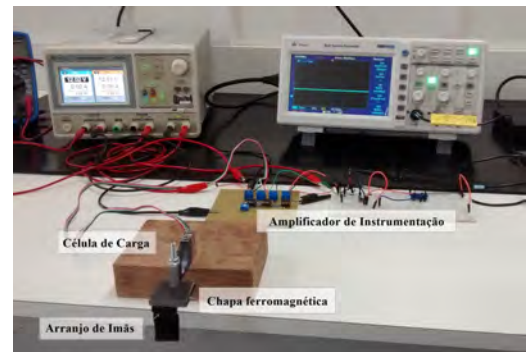


Fig. 6. Aparato experimental.

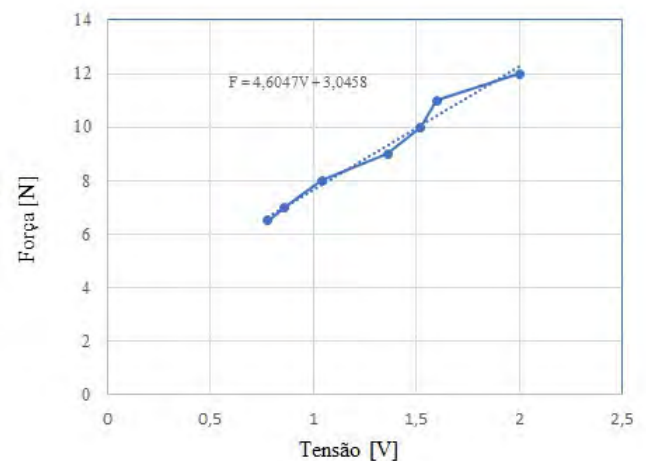


Fig. 7. Representação gráfica de Força x Tensão.

##### B. Calibração

Primeiramente houve a necessidade de calibrar o sistema utilizando um dinamômetro. Foi medido o sinal de tensão gerado após a etapa de amplificação para cada força conhecida aplicada com o dinamômetro. Os resultados das medições são apresentados no gráfico da Figura 7. Com esta etapa de calibração foi possível por meio do método dos mínimos quadrados encontrar a função analítica que relaciona força e tensão, conforme Equação 1. Onde  $V$  representa tensão em Volts e  $F$  representa a força em Newtons.

$$F = 4,604V + 3,0458 \quad (1)$$

##### C. Medições

Foram realizadas as verificações de força para os dois casos já descritos. Em ambos os casos os arranjos eram encostados na chapa de aço e tracionados até que os mesmos se soltassem. Foi verificado então, a força de pico antes do momento de cada separação de arranjo da chapa. Para determinar uma força máxima média foi realizada média entre os valores de pico em cada caso.

Para o caso (i) o valor médio de força mensurada foi de 6,88 N, conforme Figura 8.

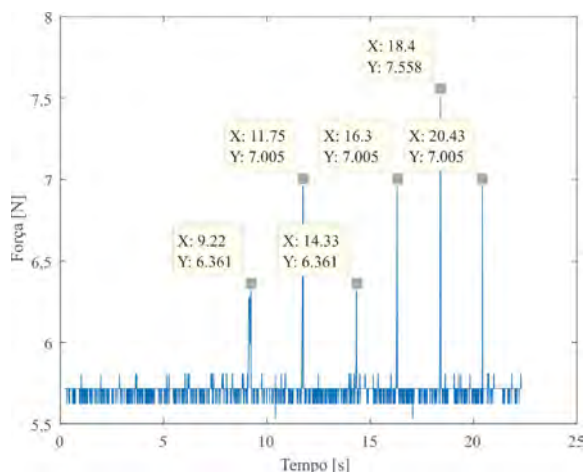


Fig. 8. Ensaio de tração para arranjo Simples.

Com o arranjo de Halbach, caso (ii), obteve-se uma força média de 15,57 N (Figura 9), alcançando um valor 2,3 vezes maior que com o arranjo simples.

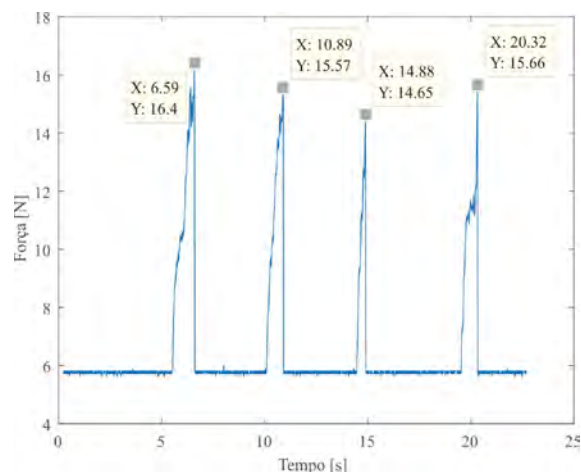


Fig. 9. Ensaio de tração para arranjo de Halbach.

## V. CONCLUSÃO

Rearranjar ímãs possibilita concentrar campo magnético em uma das superfícies de sua formação. Isto comprova-se por

meio de simulação, análise matemática e também por meio de ensaios.

A utilização de elementos finitos possibilita a criação de modelagem do sistema para compreensão do comportamento do mesmo. Na posse do arquivo gerado pelo EFCAD torna-se possível descrever analiticamente o efeito causado pelos ímãs na chapa ferromagnética e, com isto, estimar a força normal do robô em relação ao dohyô quando comparados os formações de arranjo simples e de Halbach.

Tendo em vista os valores de força obtidos a partir do ensaio de arranjo simples em relação ao ensaio de formação de Halbach conclui-se que utilizando o mesmo tipo de ímã em configurações diferentes é possível aumentar de forma considerável a força aplicada sobre uma superfície utilizando a formação de Halbach. Esta condição acarreta numa maior possibilidade de exercer força normal sobre a chapa ferromagnética utilizando uma quantidade reduzida de ímãs. Não obstante, ficou evidente que o arranjo de Halbach é muito mais eficiente em relação à cadeia simples, garantindo que um número menor de ímãs (em relação à quantidade de ímãs do arranjo simples) é capaz de suprir a necessidade do robô durante a competição tornando o investimento financeiro menor e suprimindo a necessidade de redução e massa do mesmo.

O arranjo de Halbach da forma linear como foi apresentado necessita ser previsto no projeto do robô devido ao espaço que ele utilizará em sua base, portanto como projeto futuro, pode-se realizar a modificação das características físicas do arranjo utilizando ímãs com diferentes medidas.

## REFERÊNCIAS

- [1] CHAPMAN, Stephen J. Fundamentos de Máquinas Elétricas. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013. xix, 684 p.
- [2] SILVEIRA, Marília A. da. et al. Development and Analytical Method to Predict the Behaviour of the Magnetic Field in PM Linear Motors with Halbach Array. Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications, Jan, 2017.
- [3] J.E. Hilton, S.M. McMurtry, An adjustable linear Halbach array, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2012.
- [4] FERNANDES, Jorge Manuel da Silva. Dimensionamento e configuração magnética para a levitação de uma janela deslizante. Dissertação de mestrado. Novembro, 2014. 57 p.
- [5] HALBACH, Klaus. Multipole Magnets Design Oriented Rare Earth Cobalt Materials. Nuclear Instruments and Methods. Fev, 1980.
- [6] BASTOS, João Pedro Assumpção. Eletromagnetismo para Engenharia: estática e quase-estática. 3. ed., rev. Florianópolis: UFSC, 2012. Eletromagnetismo para engenharia: 396 p.



# SISTEMA CONVERSOR DE ENERGIA MAREMOTRIZ

Andreza Augusto  
Universidade Bráz Cubas  
uchihaandreza007@gmail.com

Johadson Franco Dórea  
Universidade Bráz Cubas  
johadsonf@gmail.com

Vinicius Ardachnikoff R. de Moraes  
Universidade Bráz Cubas  
varm5891@gmail.com

**Abstract** - Conventional methods of generation of energy electrical provide a large cliff to the environment, as a global heating, climatic changes, polutions and critical incidents. The Taking advantage of natural resources to conversion in electric energy is getting new perspectives and maturation in this scenario. The energy is coming from waves of the seas has a great energetic potential as source renewabel and feature as good yield, in realation to the cost for power installed. The article presents different types of wave converters and their ratings second their structures and principles of operation. Besides that, we will make a conceitual prototype of a wave converter OWC (Oscillating Water Column) for the evaluation of data and parameters of operation.

**Index Terms** - Use of wave energy, wave converters, ondomotriz.

**Resumo** - Métodos convencionais de geração de energia elétrica proporciona grande risco ao meio ambiente, como aquecimento global, mudanças climáticas e poluições. O Aproveitamento de recursos naturais e a conversão em energia elétrica estão ganhando novas perspectivas e amadurecimento diante desse cenário. A energia proveniente das ondas dos mares tem um grande potencial energético como fonte renovável e apresenta um bom rendimento, em relação ao custo por potência instalada. O artigo apresenta diferentes tipos de conversores de onda e suas classificações segundo suas estruturas e princípios de funcionamento. Além disso, métodos de controle elétrico para conversores de ondas também será abordado, com o objetivo de aumentar a absorção da energia.

**Palavras chaves:** - Aproveitamento de energia das ondas, conversores das ondas, controle elétrico.

## I. INTRODUÇÃO

A crescente demanda energética mundial é motivada pelo desenvolvimento de novas tecnologias e a sua disponibilização no mercado globalizado. Consequentemente, este fenômeno estimula à busca de novas tecnologias, para suprir e ampliar a matriz energética. Fontes de energia renováveis para geração de energia elétrica representam atualmente a única solução viável, contra as fontes tradicionais, derivadas do petróleo e carvão, que degradam o meio ambiente com emissões de gases nocivos.

A energia das ondas do mar se insere exatamente neste contexto, sendo uma fonte de energia limpa. Uma promissora tecnologia dentre as fontes renováveis e com grande potencial, estimando-se na escala de *Giga Watts* [1].

O desenvolvimento de pesquisas científica sobre estratégias para extração de energia das ondas do mar vem crescendo, desta forma, diferentes trabalhos estão sendo

publicados, visando melhorar o desempenho do sistema, conforme tabela I.

Tabela I. Estatística de publicações científicas na área de aproveitamento das ondas do mar.

Ano	Número de publicações em revistas e eventos científicos.
2019	29
2018	22197
2017	40648
2016	35390
2015	34155
2014	30909

Fonte: sciencedirect.com

A transformação de energia das ondas do mar em energia elétrica a partir dessa fonte utiliza conversores, com a finalidade de aproveitar as oscilações das ondas, para movimentar atuadores ou estruturas submersas, que convertam a energia das ondas em pressão de água, de óleo hidráulico ou de ar, dependendo do dispositivo de conversão. Este fluido pressurizado é aproveitado para movimentar turbinas, que são acopladas a um gerador elétrico, produzindo eletricidade.

As ondas oceânicas não possuem frequências e amplitudes constantes, variando com cada período. Assim a extração dessa energia não seria útil para distribuição à rede elétrica, que possui tensões e frequência constante. Desta forma é necessário um sistema de controle elétrico para estabilizar a energia gerada [2].

O objetivo deste trabalho é apresentar uma descrição das formas existentes de conversão das energias extraídas das ondas do mar, e mostrar um modelo de conceito de um conversor de ondas tipo OWC.

## II. REVISÃO DA LITERATURA

As ondas superficiais são geradas pela interação do vento com a superfície do mar, através de transferência de energia cinética. As partículas sofrem uma força de deslocamento, contendo energia cinética e potencial. No oceano as ondas transportadas são policromáticas, ou seja, ondas com diferentes frequências e amplitudes, porém considera-se para uma modelagem uma superposição de componentes monocromáticas em várias frequências [1]. Considerando uma onda regular e monocromática, define-se o comprimento de onda ( $\lambda$ ), amplitude ( $A$ ), altura de onda ( $H$ ) e período ( $T$ ), segundo a figura 1.



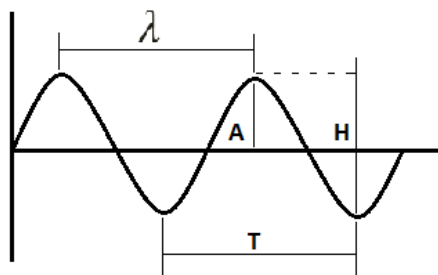


Figura 1 – Principais características de uma onda do mar.

Segundo [2], a relação entre o comprimento de onda ( $\lambda$ ), a profundidade do oceano ( $h$ ), e o período ( $T$ ) é dada por:

$$\frac{g}{\omega^2} = h \left[ -h \right] \quad (1)$$

Que resulta em uma equação de dispersão, que relaciona a frequência de onda com seu comprimento.

(2)

Para águas profundas, pode-se considerar  $\tanh = 1$ , ou seja, a profundidade do mar ( $h$ ) é maior que a metade do comprimento da onda ( $\lambda$ ), logo:

(3)

onde  $\omega$  ( $2\pi/T$ ) é a frequência natural da onda, “ $g$ ” a aceleração da gravidade e “ $k$ ” ( $2\pi/\lambda$ ) o número de onda. Em águas profundas, a relação entre o período e o comprimento da onda é dada por:

$$\frac{g}{\omega^2} = \frac{\lambda}{2\pi} \quad (4)$$

Segundo [3], a energia potencial das ondas é associada com o deslocamento da massa da água contra o campo gravitacional. Desta forma, o deslocamento das partículas gera movimentação da superfície. Essa energia potencial é dada pela expressão:

$$E_p = \frac{1}{2} \rho g A^2 \quad (5)$$

Onde,

H- Altura de onda.

$\rho$ - massa específica da água.

E a energia cinética ocorre devido ao movimento das partículas de água. Considerando as velocidades no sentido horizontal e vertical, a energia cinética é apresentada a seguir:

$$E_k = \frac{1}{2} \rho A^2 \omega^2 \quad (6)$$

Segundo [4], a energia média total contida na superfície da onda é obtida através da soma da energia potencial e a energia cinética, desta forma tem-se:

(7)

Assim substituindo as equações obtém-se:

$$E = \frac{1}{2} \rho g A^2 \quad (8)$$

Onde;

$\rho$ = massa específica da água do mar

H=altura de onda em metros

Desta forma a taxa de transferência de energia ou fluxo de energia dada em W/m por:

$$P = \frac{E}{T} \quad (9)$$

Como  $v_w$  ( $\lambda/T$ ) é a propagação da onda, tem-se;

$$P = \frac{E}{T} \quad (10)$$

Substituindo as expressões;

$$P = \frac{1}{2} \rho g A^2 \frac{v_w}{T} \quad (11)$$

Nota-se segundo [3], que essa taxa de transferência dada em KW/m, não é totalmente absorvida pelo conversor, devido às perdas do sistema e em condições reais, as ondas se apresentam irregulares. Assim a modelagem real do mar segue em processo estocástico, resultado de uma superposição de componentes, ou seja, são utilizadas várias ondas de mesma direção, mas com velocidades variadas para definir um modelo aproximado do mar real. Considerando um determinado estado de mar, os parâmetros estatísticos de altura de onda ( $H_s$ ) e tempo médio ( $T_{med}$ ), são utilizados para formular um espectro de ondas, apresentada pela formulação de [5], descrita a seguir:

$$S(\omega) = \frac{H_s^2}{4} \quad (12)$$

Onde,

$$S(\omega) = \frac{H_s^2}{4} \quad (13)$$

Segundo [6] constituíram uma serie temporal que determina a elevação da onda, dada expressão a seguir:

$$\eta = \sum A_i \cos(\omega_i t + \phi_i) \quad (13)$$

Onde,

$A_i$ =amplitude da onda

$\phi_i$ = fase aleatória

Fazendo a amplitude da onda tender à 0, a definição da densidade espectral passa a ser:

$$S(\omega) = \frac{H_s^2}{4} \quad (14)$$

No entanto, segundo [5], para modelagem e análise de potência em conversores de ondas, podemos considerar a onda inicialmente senoidal.

### III. CLASSIFICAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE CONVERSÃO DE ENERGIA

Atualmente a extração de energia através das ondas oceânicas, apresentam diferentes soluções, que respondem aos desafios tecnológicos. A tecnologia envolvida nesse processo encontra-se em fases diferentes de desenvolvimento e apresentam conceitos distintos. Assim foram desenvolvidos diversos dispositivos para potencializar a extração dessa energia. Estes dispositivos são classificados de acordo com o princípio de funcionamento e o seu posicionamento no mar.

Quanto ao princípio de funcionamento, os dispositivos são classificados em coluna de água oscilante (*OWC*) e dispositivos de elevação do nível da água (galgamento), entre outros. Quanto ao posicionamento, esses dispositivos são classificados em *onshore*, (localizado na costa), *nearshore*, (próximo da costa) e *offshore*, (afastado da costa) [1].

#### A. Coluna de água oscilante (*OWC*)

O dispositivo de coluna de água oscilante é um dispositivo *onshore*, que consiste de uma estrutura de aço ou concreto com uma câmara parcialmente submersa (figura 2). O movimento alternado das ondas pressuriza e despressuriza o ar presente no interior da estrutura. Quando uma onda entra na estrutura, o ar que se encontrava dentro da câmara é forçado a passar por uma turbina, como consequência direta do aumento de pressão. Essa turbina é acoplada a um gerador para gerar eletricidade. [3]. Em geral, as turbinas do tipo *Wells* são utilizadas nesses processos. Essas turbinas, uma vez em movimento, são retificadoras, ou seja, rotacionam no mesmo sentido independentemente do sentido do fluxo de ar.

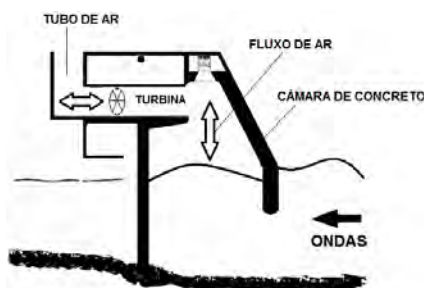


Figura 2: Dispositivo de coluna de água oscilante OWC. Fonte FALCÃO 2010.

Segundo [2], em Portugal, na Ilha de Pico é implantando este tipo de tecnologia, com um gerador síncrono capaz de gerar 400KW.

#### A. 1. Dispositivos de elevação do nível da água (galgamento)

O dispositivo de elevação de nível conhecido como *Wave Dragon* é um dispositivo *offshore*, que funciona com um princípio de acúmulo de água em um reservatório,

trazida pelas ondas incidentes através do direcionamento de rampas [2]. A água acumulada no reservatório desce pela ação da gravidade, passando por turbinas hidráulicas, tipo *Kaplan*, situadas na sua região central, como mostra a figura 3.

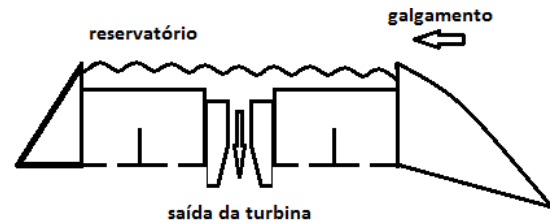


Figura 3: Esquema do princípio de funcionamento do dispositivo de galgamento. Fonte: Wave 2015.

Um protótipo segundo [2] foi instalado na Dinamarca em 2003. Utilizava sete turbinas para geração de 20KW de energia elétrica cada, totalizando 140KW gerado [3].

#### B. Dispositivos flutuantes

Um dos dispositivos mais conhecidos é o *pelamis*, um dispositivo *offshore* flutuante, com princípio de funcionamento que utiliza vários flutuadores articulados unidos, que se movimenta com a passagem da onda, assim essas juntas articuladas acionam bombas hidráulicas, que por sua vez, direcionam o líquido para um sistema de acumulação hidráulico (figura 4). Este óleo pressurizado é injetado acionando geradores elétricos [2].

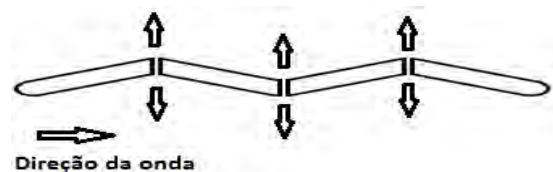


Figura 4: Esquema geral do Pelamis e seu funcionamento (PELAMIS, 2015).

De acordo com [1], um dispositivo *pelamis* foi desenvolvido e testado no Reino Unido, contendo 4 flutuadores interligados com o comprimento total de 120m e 3,5m de diâmetro, com capacidade de fornecimento de geração de 750KW.

#### B. 1. Dispositivo Desenvolvido pela COPPE/UFRJ

Segundo [1-2], este conversor desenvolvido pela COPPE/UFRJ [1], é um sistema que possui braços mecânicos, e nas suas extremidades comporta uma boia circular, para aumentar a área de contato com as ondas incidentes. Estes braços acionam um cilindro hidráulico, que pressuriza um acumulador hidropneumático. Este acumulador mantém estabilizada a energia proveniente dos movimentos oscilatórios das ondas. Então um jato de água em alta pressão movimenta uma turbina que é acoplada a um gerador elétrico para gerar energia elétrica, como mostra a figura 5.

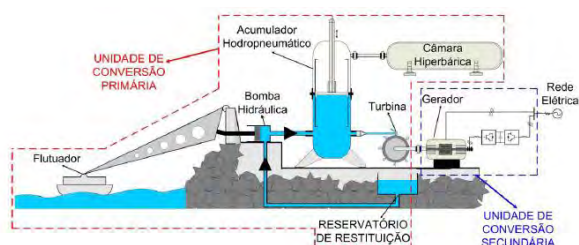


Figura 5- Dispositivo conversor desenvolvido pela COPPE/UFRJ.

#### IV. MÉTODOS DE CONTROLE PARA SISTEMAS DE ENERGIAS DAS ONDAS

De forma geral, são apresentadas na figura 6, as etapas de conversão da energia das ondas em energia elétrica. A unidade primária de conversão corresponde à parte do sistema que converte a energia das ondas em energia cinética, ou seja, através do movimento dos flutuadores ou estruturas submersas, é convertida a energia das ondas em pressão, que é canalizada para movimentar uma turbina. Em seguida, na unidade de conversão secundária, a energia mecânica da turbina é transformada em energia elétrica, acoplando um gerador elétrico na turbina.

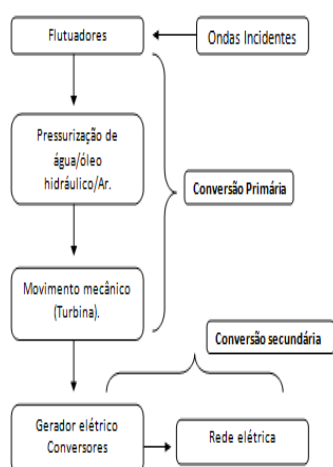


Figura 6: Processos usuais de conversão de energia das ondas em energia elétrica.

#### V. METODOLOGIA

Para que possamos comprovar tais métodos de geração de energia, será construído um protótipo em escala reduzida que simulará a geração de energias nas condições do mar. Será composto por quatro partes; um reservatório de água, onde simulará as condições do mar, uma pá que criará as oscilações das ondas, uma câmara de ar que fará a função de pressurização e despressurização do ar em seu interior, e o gerador de energia, que transformará a energia cinética produzida pela oscilação das ondas em energia elétrica. Os Resultados de funcionamento de conversão serão divididos em duas unidades principal sendo a conversão primária e a geração de energia elétrica. Assim iremos desenvolver a metodologia de pesquisa conforme os métodos de controle adquiridos por pesquisas bibliográficas.

Inicialmente partimos para identificar os possíveis métodos de conversores dos dispositivos existentes, para que possamos adequar à melhor proposta de conversão de energia, considerando os modelos matemáticos, as

condições necessárias para a máxima absorção da energia das ondas pela unidade primária e modo de conversão em energia elétrica. O trabalho foi dedicado em apresentar o princípio de conversão do dispositivo de coluna de água oscilante (OCW), e citar dois exemplos de dispositivos instalados e em funcionamento, que seriam a central LIMPET que está localizada na ilha de Islay (Escócia), e fornece energia à rede elétrica do Reino Unido, sendo contruída no ano de 2000, pela empresa *Wavegen*, como a primeira empresa no mundo a desenvolver uma planta de energia do tipo coluna de água oscilante [1]. A potência instalada é de 500 kW, o dispositivo está em operação há mais de 16 anos [8]. A segunda, a Central Europeia da Ilha do Pico, está localizada na Ilha do Pico nos Açores, em Portugal, e tem uma potência instalada de 400 kW utilizando uma turbina *Wells* [7]. Funciona desde 1999, sendo a primeira planta a utilizar o princípio de coluna de água oscilante interligada a uma turbina tipo *Wells*. E a Primeira a ser ligada a rede e em 2010 teve um aproveitamento de 1300 hora de funcionamento, sendo um total de 48 MWh de energia elétrica produzida [9].

O objetivo do mecanismo apresentado pelo protótipo é apresentar as características de formação das ondas até a fase de conversão e geração de energia. Baseando nas condições físicas dos dispositivos instalados e em funcionamento, apresentando os métodos de otimização escalar obtidos nas pesquisas.

A unidade de geração do protótipo é semelhante à unidade hidrelétrica, com isso foi estabelecido através de pesquisas bibliográficas métodos de controle básico, responsável por manter o sistema elétrico em operação conforme pré-requisitos estabelecidos.

No protótipo da turbina, pesquisamos pelas características de funcionamento da turbina *wells* utilizado pelo dispositivo, que tem uma particularidade, que seria o rotor girando na mesma direção independente do fluxo de ar que é submetido, assim obtivemos resultados e partimos para a confecção de um modelo em escala reduzida que atenderá todos os requisitos de uma turbina real.

Iremos seguir o cronograma com as datas determinadas para melhor atender os requisitos estabelecidos pelo orientador. E anotar as dificuldades encontradas e as considerações realizadas ao longo do projeto, para melhor esclarecer dúvidas e fazer as possíveis melhorias necessárias. A eficiência e métodos de controle vão ser verificados conforme resultados obtidos a partir dos testes do protótipo de geração de energia elétrica vão ser inseridos nas considerações finais, pois o mesmo está em desenvolvimento.

#### VI. CONCLUSÃO

Considerando as características da geografia do Brasil, que possui extensa linha litorânea, foi possível concluir, que a aplicação e desenvolvimento de tecnologias de fonte de energia ondo motriz, são ideias para o desenvolvimento energético sustentável em nosso país.

O conhecimento dos diferentes tipos de conversores de energia existentes, permitem prever e determinar quais tipos de tecnologia podem ser utilizados para um melhor aproveitamento energético de acordo com as condições de cada região.

Em nosso protótipo conceitual, foi possível constatar os fenômenos de transformação de energia cinética das ondas em pressão do ar, movimentação da turbina e geração de energia elétrica. Validando os estudos realizados em nosso referencial teórico com foco no sistema de conversão do tipo coluna de água oscilante (OCW).

Como continuidade da pesquisa acreditamos ser viável um aprimoramento do protótipo conceitual na geração de ondas de forma controlada, assim como o estudo comparativo do valor de implantação dos diferentes sistemas de conversão de energia existentes.

#### Referências:

- [1] ROCHA, I. M. (2013), “Geração elétrica a partir de ondas do mar”. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2013. 163 p.
- [2] FALNES, J. (2002), “Ocean Waves and Oscillating Systems Linear Interaction Including Wave-Energy, Cambridge University Press, USA.
- [3] COSTA, PAULO ROBERTO DA. “Energia das ondas do mar para geração de eletricidade”. Rio de janeiro, 2004. 109 p.
- [4] BREGMAN, R.; KNAPP, R.H.; TAKAHASHI, P.K.; “Design Considerations for Ocean Energy Resource Systems”, In: Challenges of Our Changing Environment. Conference Proceedings, pp 1084 – 1091, Oct 1995.
- [5] PARSONS, W. & BADDOUR, R. E., 2004, “The generation and propagation of deep water ultrachromatic nonlinear long-crested surface waves”, In: Proceedings of the Fourteenth International Offshore and Polar Engineering Conference, p. 249–245.
- [6] PÉREZ, E. M.; GONZÁLES, F. J. V.; SÁNCHEZ, L. B.; GARCÍA, E. L.; RODRÍGUEZ, T. M. R.; CAGIGAL, N. P., “Aplicacion de Matlab a la Identificacion de Espectros de Oleaje”, Disponível: <http://ctb.dia.uned.es/CRIBAV/Articulos/moyano99.pdf>.
- [7] Central doPico OWC wave power plant on the Azores-a late success n.d. Disponível: [http://wavec.org/client/files/AF\\_Folheto\\_Maio\\_ING.pdf](http://wavec.org/client/files/AF_Folheto_Maio_ING.pdf)),
- [8] WAVEGEN, 2009. Wave power. United Kingdom: Voith Hydro Wavegen Disponível: <http://www.wavegen.co.uk/pdf/wavegen-brochure-sept-2009.pdf>>.
- [9] Tom Heath. "The Construction, Commissioning and Operation of the LIMPET Wave Energy Collector" (PDF). Disponível: [http://pt.wavec.org/client/files/Noticia\\_Pico\\_ABM\\_032010\\_alargado.pdf](http://pt.wavec.org/client/files/Noticia_Pico_ABM_032010_alargado.pdf).

# Uma Proposta de Estudo da Utilização de Painéis Solares nas Janelas dos Edifícios

Níxon Teixeira

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
nixonteixeira@gea.inatel.br

Egidio Raimundo Neto

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
egidio.neto@inatel.br

**Resumo**—Esse artigo apresenta um estudo sobre a viabilidade da instalação de painéis solares nas janelas de prédios, usando como exemplo o prédio V do Instituto Nacional de Telecomunicações.

**Palavras chave** — *Módulo solar, painel solar, painel orgânico, janelas de edifícios.*

**Abstract** — *This article presents a research about the viability of installing solar panels on building windows, using as an example the building V at National Institute of Telecommunications.*

**Keywords** – *Solar Module, solar panel, organic panels, building windows.*

## I. INTRODUÇÃO

A preservação ambiental é um dos tópicos mais discutidos atualmente. E para manutenção dela diversas soluções são propostas para minimizar o impacto ambiental. Dentre essas propostas está o uso de energia solar e eólica por serem energias limpas e terem poucos pontos negativos em sua utilização.

Muitos países estão trocando suas fontes de energia por soluções eólicas ou fotovoltaicas. Portugal é um exemplo que investe em alternativas renováveis, e já conseguiu suprir sua demanda total por energia elétrica durante três dias consecutivos somente com energia limpa. [1]

O Brasil possui um grande potencial na utilização de energia solar. A parte menos ensolarada do Brasil oferece 40% mais radiação solar que a parte mais ensolarada da Alemanha, que é um dos líderes no uso de energia solar. [2]

Mesmo com todo esse potencial o Brasil não aproveita essa fonte de energia se valendo do custo como impedimento de sua implantação. Os custos dos equipamentos são altos e não há incentivos financeiros para sua utilização, além de uma grande burocracia para interligação da rede solar particular com a rede elétrica privada. [3]

Ainda que o cenário político não ajude a implantação da energia solar, sua utilização pode trazer retortos financeiros e principalmente ambientais.

Este trabalho se propõe a avaliar o estado financeiro da geração de energia solar privada em termos dos gastos, tempo de retorno do investimento e possíveis lucros com a adoção dessa forma de energia. O estudo será sobre o uso de painéis solares opacos ou transparentes em vez de janelas escuras em prédios com janelas espelhadas.

## II. CENÁRIO

Para a verificação da viabilidade foi utilizado como exemplo o prédio V do Inatel. Considerando que sua frente espelhada fosse trocada por painéis opacos ou translúcidos.

Atualmente as janelas estão revestidas com filme que impede a passagem total de luz solar para minimizar o quanto as salas podem ser aquecidas por ela. Isso foi feito para economia de energia com o sistema de ar condicionado e para luz não atrapalhar o uso do interior. Esse revestimento também reflete a luz para o pátio do campus do Inatel, o que aquece uma área que deveria ter sombra.

O fato dos raios solares serem refletidos podem causar problemas maiores para quem está fora do prédio. Em 2013 houve um caso de um carro que foi derretido em consequência da luz solar refletida por um prédio. Um prédio na Inglaterra que possui toda sua lateral reflexiva e um formato côncavo que causou esse transtorno. [4]

Esse foi um caso extremo, mas os raios refletidos ainda causam desconforto para pessoas que transitam por eles além de serem desperdiçados como fonte de energia.

O prédio do Inatel possui aproximadamente 134,4 m<sup>2</sup> de área de janelas reflexivas e em cima dessa área será estimado o quanto de energia poderia ser produzida, sua consequente diminuição em emissões de CO<sub>2</sub> e o valor que precisaria ser investido.

## III. CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

Existem vários tipos de módulos fotovoltaicos. Os módulos de silício monocristalino utilizam a tecnologia mais antiga. Feito de uma placa de silício pura e homogênea, criada a partir de um único cristal. A eficiência desses módulos está entre 14 e 21%. Em contrapartida é a tecnologia mais cara. Esses módulos são opacos de coloração variando de azul escuro para preto.

Os módulos policristalinos também são feitos de silício. Nesse caso o silício é fundido em forma de bloco o que gera vários pedaços de cristais dentro do bloco que depois é fatiado. Sua produção é um pouco mais fácil e barata, mas por não utilizar o silício puro ele possui uma eficiência menor, em torno de 13 a 16,5%. São módulos opacos geralmente na cor azul ou cinza.

Módulos de silício amorfo eram utilizados em pequena escala como nas calculadoras de bolso por causa de sua baixa



eficiência. Mas pesquisas na área descobriram uma técnica de empilhar várias camadas de silício amorfo para aumentar sua eficiência. Com a técnica a eficiência fica em torno de 6 a 9%. O gasto de silício para criação de um módulo amorfo equivale a 1% do gasto do módulo de silício cristalino. Entretanto, fazer o empilhamento deixa esse módulo caro.

Módulos de filme fino são feitos através da deposição de material fotovoltaico sobre um substrato. A sua eficiência varia entre 7 a 13% e depende do material depositado, que pode ser silício amorfo, telureto de cádmio, cobre, índio e gálio seleneto ou material orgânico.

O filme fino de telureto de cádmio é um módulo que superou o custo sobre eficiência dos módulos de silício. Operam com uma eficiência entre 9 e 11% e sua utilização é mais comum em grandes campos de geração solar.

O filme de seleneto de cobre, índio de gálio possui eficiência entre 10 e 12% e utiliza menos cádmio em sua construção, que é um material tóxico.

Já os filmes orgânicos são feitos de polímeros condutores. Esses polímeros permitem que filme seja flexível e translúcido. Poucas empresas conseguem trabalhá-lo em escala comercial e sua eficiência varia muito. [5]

#### IV. ESTUDO DE CASO

O prédio V do Inatel possui grande parte da sua vista frontal em vidro espelhado como mostrado na Figura 1.



Fig. 1. Vista Frontal Prédio V do Instituto Nacional de Telecomunicações

O Edifício dispõe de 134,4 m<sup>2</sup> de área para a implantação de painéis fotovoltaicos, esta área será considerada para realização do estudo de caso.

A intensidade solar média anual em Minas Gerais varia de 4,5 a 6,5 kWh/m<sup>2</sup> por dia, com os maiores valores na região norte de Minas e os menores na região sudeste. Com isso utilizaremos o valor de 4,5 kWh/m<sup>2</sup> por dia para os cálculos da energia produzida pelas janelas fotovoltaicas. Essa média anual já leva em consideração períodos de chuva, períodos nublados e o período noturno onde não há luz solar. [6],

A parte do prédio que está em estudo fica exposto durante aproximadamente metade do dia ao sol. Então os cálculos serão feitos com base numa intensidade solar média de 2,25 Wh/m<sup>2</sup> por dia.

Foi escolhido realizar o estudo em cima dos painéis orgânicos por eles se encaixarem melhor na aplicação. Eles são mais finos que os painéis de silício, podem ter até 1mm de

espessura, e mais leves, facilitando sua instalação em janelas. Eles também podem ser colocados por cima das janelas sem substituí-las.

A empresa SOLARIA dos Estados Unidos trabalha com painéis solares orgânicos translúcidos que possuem uma eficiência de 6,5%. Esse será o valor utilizado nos cálculos. [7]

Uma vantagem dos painéis fotovoltaicos orgânicos é que eles não dependem muito do ângulo de incidência da luz solar no painel. Os painéis solares tradicionais, a base de silício, são extremamente dependentes desse ângulo e sua eficiência varia de acordo com a equação  $E \times \sin \alpha$  onde  $E$  é a eficiência e  $\alpha$  o ângulo de incidência do raio solar, tendo sua eficiência máxima quando o sol está exatamente acima deles, a 90°. Como o painel orgânico não depende tanto desse ângulo ele não entrará nos cálculos.

A produção solar anual pode ser calculada por:

$$P_a = R_{mda} \times A \times 365 \times E \quad (1)$$

Onde:

$P_a$ , é a produção anual total

$R_{mda}$ , é a radiação solar média anual por dia

$A$ , é a área total dos painéis fotovoltaicos

$E$ , a eficiência dos painéis

Então para uma área de 134,4 m<sup>2</sup>, uma média de radiação solar de 2,25 kWh/m<sup>2</sup> e uma eficiência de 6,5% têm:

$$P_a = 2.250 \times 134,4 \times 365 \times 0,065 \\ = 7.174.440 \text{ Wh/ano}$$

Como o valor de 1 MWh para indústria no Brasil estava em torno de R\$ 535,28 [8] em 2016, a implantação de painéis solares nas janelas desse prédio traria uma economia de aproximadamente:

$$7,174 \times 535,28 = \text{R\$ } 3.840,10/\text{ano}$$

O preço dos painéis varia de R\$ 600,00 a R\$ 1.000,00 o metro quadrado [9] dependendo da exigência da aplicação. Para os cálculos será utilizado o valor de R\$ 800,00.

Então o custo somente dos painéis seria de:

$$800 \times 134,4 = \text{R\$ } 107.520,00$$

Com isso o tempo para o investimento se pagar seria de:

$$107.520 \div 3.840,10 \cong 28 \text{ anos}$$

Analogamente podemos verificar como painéis solares tradicionais se comportariam se fosse instalada a mesma área de painéis em cima do prédio analisado. Para esse dado foi utilizado o simulador solar do site da PORTAL solar® [10]. Para alcançarmos a marca de 134,4 m<sup>2</sup> o sistema fotovoltaico tradicional consegue produzir 2.000 kWh por mês ou 24 MWh por ano isso a um custo de aproximadamente R\$ 80.000,00, dessa vez esse valor não inclui somente o custo dos painéis fotovoltaicos, mas o custo do sistema completo com inversores

e mão de obra. A relação da produção tradicional com a produção do painel orgânico nas janelas é a seguinte:

$$24.000.000 \div 7.174.440 = 3,35$$

Com o sistema tradicional gerando 3,35 vezes mais energia a economia anual que seria gerada por ele seria de:

$$3.840,10 * 3,35 = R\$ 12.864,34/ano$$

Com isso o tempo de retorno do investimento em anos seria de:

$$80.000,00 \div 12.864,34 \cong 6 \text{ anos}$$

## V. CONCLUSÃO

Pelos cálculos o investimento dos painéis orgânicos demoraria 28 anos para trazer algum retorno financeiro, e os cálculos foram feitos com base somente no preço dos painéis, sem considerar o custo com instalação, inversores de tensão e o equipamento para interligar a geração do prédio a concessionária de energia elétrica. Somente com os valores utilizados a implantação do projeto já é inviável, principalmente somado ao fato de que a vida útil de um painel orgânico ser menor do que o de silício.

Também a instalação de painéis solares de silício no topo do prédio pode ser feita a um preço menor que o sistema orgânico e com um retorno financeiro em aproximadamente 6 anos, isso considerando a instalação e todos os outros equipamentos, tornando essa instalação muito mais produtiva em relação a anterior.

Com isso podemos concluir que a instalação de painéis fotovoltaicos orgânicos nas janelas de prédios não é viável no Brasil e não consegue substituir a instalação de painéis de silício. Mesmo que os preços dos painéis orgânicos caiam e torne essa tecnologia mais viável, ela serve apenas de complemento para um sistema de painéis de silício, na obtenção de uma maior produção de energia quando não se possui mais espaço para painéis em cima do prédio, tornando os painéis orgânicos uma solução para um problema que ainda é raro de existir.

## VI. REFERÊNCIAS

- [1] OBSERVADOR. Portugal usou apenas energias renováveis durante quatro dias consecutivos. (Online). Disponível na Internet: <http://observador.pt/2016/05/18/portugal-usou-apenas-energias-renovaveis-durante-quatro-dias-consecutivos/>. Acesso: 01/05/2017.
- [2] AMÉRICA DO SOL. Potencial solar no Brasil. (Online). Disponível na Internet: <http://americadosol.org/potencial-solar-no-brasil/>. Acesso: 01/05/2017.
- [3] CARTA CAPITAL. Por que a energia solar não deslancha no Brasil. (Online). Disponível na internet: <https://www.cartacapital.com.br/blogs/outras-palavras/por-que-a-energia-solar-nao-deslancha-no-brasil-3402.html>. Acesso: 01/05/2017.
- [4] G1. Prédio 'derrete' Jaguar com reflexo do sol na Inglaterra. (Online). Disponível na Internet: <http://g1.globo.com/planeta-bizarro/noticia/2013/09/predio-derrete-jaguar-com-reflexo-do-sol-na-inglaterra.html>. Acesso: 01/05/2017.

- [5] SOLAR. Tipos de painéis fotovoltaicos. (Online). Disponível na Internet: <http://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>. Acesso: 01/05/2017.
- [6] CEMIG. Atlas solarimétrico de Minas Gerais.(Online). Disponível na Internet: [http://www.cemig.com.br/pt-br/A\\_Cemig\\_e\\_o\\_Futuro/Inovacao/Alternativas\\_Energeticas/Documents/Atlas\\_Solarimetrico\\_CEMIG\\_12\\_09\\_menor.pdf](http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/Inovacao/Alternativas_Energeticas/Documents/Atlas_Solarimetrico_CEMIG_12_09_menor.pdf). Acesso: 01/05/2017.
- [7] SOLARIA. Solaria PowerView™.(Online). Disponível na Internet: [https://static1.squarespace.com/static/568f7df70e4c112f75e6c82b/t/58e7b8d9a5790a6a0ea604ff/1491581147269/Datasheet\\_SolariaPowerVision\\_IGU\\_Rev\\_1A\\_4-7-17.pdf](https://static1.squarespace.com/static/568f7df70e4c112f75e6c82b/t/58e7b8d9a5790a6a0ea604ff/1491581147269/Datasheet_SolariaPowerVision_IGU_Rev_1A_4-7-17.pdf). Acesso: 01/05/2017.
- [8] AGÊNCIA BRASIL. Custo da energia elétrica para indústria nacional sobe 59,3% em três anos. (Online). Disponível na Internet: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2016-07/custo-da-energia-eletrica-para-industria-nacional-sobe-593-em-tres-anos>. Acesso: 01/05/2017.
- [9] AGRO SERVICES. Nova tecnologia para energia solar no campo. (Online). Disponível na Internet: <https://www.redeagroservices.com.br/Noticias/2015/09/Nova-tecnologia-para-energia-solar-no-campo.aspx>. Acesso: 01/05/2017.
- [10] PORTAL SOLAR. Simulador solar. (Online). Disponível na Internet: <http://www.portalsolar.com.br/calculo-solar>. Acesso: 28/07/2017.