

Devemos fazer o nosso melhor para minimizar as mudanças climáticas.

Syukuro "Suki" Manabe, nasceu em 21 de setembro de 1931, é um meteorologista e climatologista nipo-estadunidense, pioneiro no uso de computadores para simular mudanças climáticas globais e variações naturais do clima. Em 2021 recebeu o Nobel de Física, por contribuições inovadoras para a "modelagem física do clima da Terra, quantificação da variabilidade e previsão confiável do aquecimento global".

ISSN 2359-6457



Manabe

Suki

Apoio:



Realização:

Inatel




Mensagem da coordenação

Foi com grande satisfação que recebemos vocês, jovens pesquisadores para o Incitel 2022, evento promovido pelo Instituto Nacional de Telecomunicações. Este encontro tem como principal objetivo a troca de ideias, informações e experiências, nas diversas áreas da ciência.

A organização de um congresso é bastante trabalhosa e, portanto, gostaria de agradecer às alunas e estagiárias Ayeska Pereira Lessa, Maria Eduarda de Oliveira Pereira, Aline Adami Souza Dias e Gabriele Antunes de Carvalho Miranda. Não poderia deixar de agradecer também ao pessoal da Assessoria de Comunicação e Marketing (ASCOM) pelo enorme esforço dedicado a este projeto.

Desejo a todos um ótimo congresso



Prof.^a Karina Perez Mokarzel Carneiro
Coordenadora Geral – Incitel 2022

I373

Incitel 2022 – Congresso de Iniciação Científica do Inatel (2022:
Santa Rita do Sapucaí - MG)

Anais do 34º Congresso de Iniciação Científica do Inatel – Incitel,
08 a 10 de junho 2022, Santa Rita do Sapucaí, Minas Gerais, Brasil.
Publicado por Karina Perez Mokarzel Carneiro (Org.). – Santa Rita
do Sapucaí - MG: Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL,
2022.

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

145 p. il.

1. Engenharia – I. Título. II. CARNEIRO, Karina Perez Mokarzel.
III. Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL.

CDU – 621

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

Catálogo Sistemático

Engenharia Biomédica	CDU – 57.089
Engenharia da Computação	CDU – 004.41
Engenharia de Telecomunicações	CDU – 621.39
Engenharia de Controle e Automação	CDU – 681.5
Engenharia de Produção	CDU – 658.5
Empreendedorismo	CDU – 658.3

SESSÕES

Sessão Técnica I – Produção/Elétrica/Automação I

Estudo de um Mini Sistema de Geração de Energia Solar	1
--	----------

Júlia Rennó Coelho e Prof. Alexandre Baratella Lugli.

Estudo Sobre a Medição de Vazão em Sistemas Hidráulicos Residenciais Baseado na Correlação Cruzada de Sinais Ultrassônicos	7
---	----------

Isadora Silva Brandao, Thiago Tavares da Silva e Prof. Wanderson Eleutério Saldanha.

Torneio de Arduino Challenge: um estímulo as carreiras de engenharia e tecnologia – I	14
--	-----------

Mylena Stefania Silveira Rocha, Raphael Henrique Carvalho Venancio, Yasmim Silva Ramos.

Torneio de Arduino Challenge: um estímulo as carreiras de engenharia e tecnologia – II	19
---	-----------

André do Nascimento, Gustavo Aguiar Paiva e Pedro Henrique Barbosa..

Sessão Técnica II – Telecomunicações I

Análise de Linhas de Transmissão Aplicadas a Arranjos de Antenas Massivos Baseados em SIW	23
--	-----------

Monalisa Reolon de Souza, H.R.D. Filgueiras e Arismar Cerqueira S. Jr.

Gamificação como uma abordagem ao ensino de redes de telecomunicações e cyber segurança: Telecom Challenge	29
---	-----------

Luiz F. F. Irineu, Vitoria M. Dutra, Francisco A. S. do Carmo, Marcelo O. Marques, Evandro C. Vilas Boas.

Análise numérica de estruturas eletromagnéticas utilizando scripts em Python	33
---	-----------

Beatriz B. Assis, Elyce M. G. de Lima, Antonio A. F. Junior, Evandro C. Vilas Boas

IAB and Fiber-based Xhaul for 5G Radio Access Networks	40
<i>Pedro Augusto da Luz Mota e Ramon Maia Borges</i>	

Sessão Técnica III – Computação I

Otimização dos treinamentos para os iniciantes da equipe de Maratona de Programação do Inatel	46
<i>Lucas A. Marques.</i>	

Programação 1.0	51
<i>Alice Coelho, Anthony Victor, Francisco Junior, Guilherme Muniz, Pedro Piccichelli, Tiago Rodrigues, Marcelo Henrique Gonçalves da Silva e Renzo Paranaíba Mesquita.</i>	

Desenvolvimento do Sistema de Realidade Virtual – Esquilo	56
<i>Mariana Venezian Musto Bassi, Joao Gabriel da Silva e Juliano Augusto Nascimento Leite.</i>	

Sessão Técnica IV – Computação II

Software de Rastreamento Ocular para Auxílio na Identificação de Crianças com Transtorno do Espectro Autista (TEA)	60
<i>Isadora Coelho Faggiani, Rita Elizabeth Santos de Almeida, Marcelo Vinícius Cysneiros Aragão, Filipe Bueno Vilela, Eliane Sousa de Oliveira Fernandes, Elisa de Paula Pinto e Walter Luiz Magalhaes Fernandes.</i>	

Fio Branco - Aplicativos de Monitoramento de Idosos e Compartilhamento de Dados	65
<i>Isadora Bello Pereira Rodrigues, Heloisa Marcela de Faria Paula e Filipe Bueno Vilela.</i>	

Classificação de arritmias usando redes neurais artificiais	71
<i>Bruno Giuliatti Winter, Ygor Daniel Cardoso de Freitas e Carlos Alberto Ynoguti.</i>	

Sessão Técnica V – Biomédica I

Modernização de infraestrutura hospitalar e segurança biológica para otimização na prestação de atendimento em saúde

.....76

Filipe Bueno Vilela, Isabelle Pereira Santos, Juliano Augusto Nascimento Leite, Maria Edith Gomes Carvalho da Silva e Phyllipe de Souza Lima Francisco.

Desenvolvimento de cicloergômetro microcontrolado para melhora do prognóstico em estágio avançado de doenças renais crônicas e doença de Alzheimer

.....80

Leonardo Ribeiro Silva, Filipe Bueno Vilela, Rani de Souza Alves, Heytor Daniel Vicente Rizo e Paulo Vicente de Carvalho Porto.

Desenvolvimento de Dispositivo Portátil Para Eletroestimulação Transcraniana Destinado ao Aprendizado e Área Esportiva

.....86

Nicole Luz Martins, Vitoria Campos Neves, Elisa Rennó Carneiro Dester, Luma Rissatti Borges do Prado, Filipe Bueno Vilela e Juliano Augusto Nascimento Leite.

Introdução à Segurança Cibernética para Serviços de Assistência Médica e equipamentos médicos

.....91

Bruno Cesar Barberi Franco Pinto, Filipe Bueno Vilela, Luma Rissatti Borges do Prado e Elisa Renno Carneiro Dester.

Sessão Técnica VI – Telecomunicações II

Estudo sobre Aplicação de Rádio Definido por Software em Comunicações via Satélite

.....98

Hallan L. Fonseca, Arielli A. Conceição, Daniely G. Silva e Evandro C. Vilas Boas.

Estudo do Protocolo de Comunicação ZigBee

.....105

João V. C. P. Dutra, Leonardo M. Franco, Pedro H. C. Macaíba e Evandro C. Vilas Boas.

Estudo da possibilidade de explorar o modo AFH do padrão Bluetooth para sensoriamento espectral

.....110

Pedro H. C. Piantino e Dayan A. Guimaraes.

A Importância de Desenvolvimento de uma Cultura de Segurança Cibernética

.....117

André L. A. Silva, Guilherme P. Aquino, Evandro C. Vilas Boas.

Sessão Técnica VII – Biomédica III

Robô que utiliza luz ultravioleta tipo C para desinfecção de superfícies hospitalares
.....122

Henrique Faraco Freimanis, Fernanda Ellen de Souza, Marcos Henrique Rodrigues Lopes e Filipe Bueno Vilela.

Sistema de educação continuada para pessoas com paralisia cerebral no aprendizado da reprodução de palavras de forma oral
.....128

Carla Carvalho Benecioto, Pedro Pereira Guimaraes.

Aplicativo Lúdico de Controle e Auxílio para portadores de Doença Renal Crônica
.....133

Julia da Silva Villela e Filipe Bueno Vilela.

Sistema de controle de higienização de mãos na entrada de leitos hospitalares
.....138

Ana Clara Santos, Filipe Bueno Vilela, Luma Risatti Borges do Prado, Fabiano Valias de Carvalho e Elisa Renno Carneiro Dester.

Sessão Técnica Online – Computação

Monitoramento e Armazenamento de Sinais Vitais em Aplicações de Telemedicina
.....145

Davi Hugo Marques Pontes e Paulo Cesar Salgado Vidal.

Estudo de um Mini Sistema de Geração de Energia Solar

Alexandre Baratella Lugli
Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL
baratella@inatel.br

Júlia Rennó Coelho
Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL
julia.renno@gel.inatel.br

Abstract— *Alternative power generation systems have become increasingly applicable in some environments, becoming a good source of electrical power generation. Therefore, this paper has the objective of carrying out a theoretical and practical study of solar energy generation. In addition to the theoretical study on the subject, solar energy generation was projected inside a laboratory to carry out electrical and energy efficiency tests, both indoor and outdoor. In the end, several measurements were taken to verify the efficiency of energy generation and its results.*

Index Terms— *Solar energy, power generation, electrical measurement.*

Resumo— Os sistemas de geração de energia alternativos têm se tornado cada vez mais aplicáveis em diversos ambientes, tornando-se uma boa fonte de geração de energia elétrica. Sendo assim, esse trabalho possui o objetivo de realizar um estudo teórico e prático de geração de energia solar. Além do estudo teórico sobre o tema, foi utilizada, para os testes, uma bancada de geração de energia solar montada dentro de um laboratório, para realização dos testes elétricos e de eficiência de energia, tanto *indoor*, quanto *outdoor*. Ao final, realizou-se diversas medições para verificação da eficiência da geração de energia e seus respectivos resultados.

Palavras chave—Energia solar, geração de energia, medição elétrica.

I. INTRODUÇÃO

Os estudos sobre a energia solar fotovoltaica tiveram sua evolução no século XIX após a pesquisa do físico francês Alexandre Edmond Becquerel. Baseado nisso, a criação da primeira célula fotovoltaica de selênio revestida de ouro foi datada em 1883, pelo inventor americano Charles Fritts, quando foi possível gerar uma corrente contínua e constante para a conversão elétrica máxima de 1%. Atualmente, trabalha-se com 20% de eficiência. [1] [2]

Assim, o objetivo desse trabalho é realizar um estudo teórico e prático de um mini sistema de geração de energia fotovoltaica, evidenciando os seus elementos e componentes, ligações, geração de energia, armazenamento de energia elétrica, além de questões relacionadas à desempenho. O estudo será feito de forma teórica (em relação aos componentes) e prático (em relação à geração de energia e desempenho).

O trabalho está dividido em cinco capítulos, conforme

divisão: introdução (capítulo I), conceitos e definições (capítulo II), materiais e métodos (capítulo III), aplicação prática (capítulo IV) e conclusão (capítulo V).

II. CONCEITOS E DEFINIÇÕES

Nessa sessão, serão abordados alguns conceitos e definições relacionados aos sistemas de gerações fotovoltaicos.

A maior diferença entre os sistemas *on-grid* e *off-grid* está na maneira em como armazenam a energia excedente, além da fonte de energia alternativa em casos de baixa produção de energia solar. Ou seja, o sistema *on-grid* depende da rede de distribuição, que fornece créditos pela energia excedente, e o sistema *off-grid* usa as baterias para manter o uso de equipamentos elétricos mesmo em períodos de menor produção. [3] [4]

A. Sistema off-grid

O seu procedimento é composto por painéis fotovoltaicos (para captarem a energia solar), um dispositivo de armazenamento de energia (bateria), um controlador de carga (para regular o carregamento da bateria) e um conversor de corrente contínua para corrente alternada, que fornece a alimentação adequada para o funcionamento das cargas. [1] [3]

Uma desvantagem desse sistema é que se o mesmo falhar ou vier a faltar, não existe o *back up* da rede pública para suprir. Fato, este, solucionado no sistema *on grid*. [1] [3] A Figura 1 mostra um sistema *off-grid* e seus elementos.

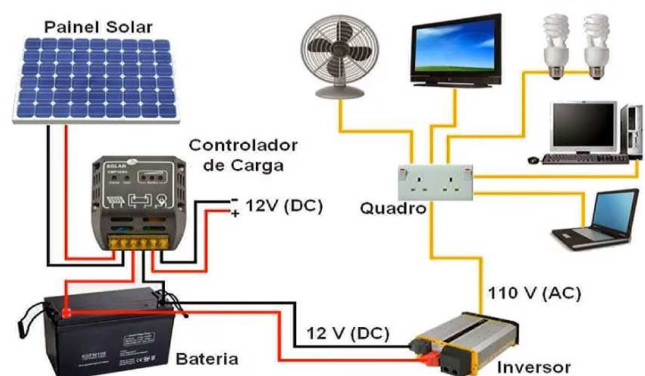


Figura 1 - Ilustração de um sistema *off-grid*. [4]

B. Sistema on-grid

Este sistema opera da mesma forma que uma usina elétrica convencional, ou seja, é designado aos sistemas fotovoltaicos que estão conectados à rede pública de distribuição. Logo, é 30% mais eficiente que o sistema *off grid*, pois, também, garante que toda energia seja utilizada, ou localmente ou em outro ponto da rede, já que não possui armazenamento de energia. [1] [4]

Em momentos nos quais a produção de energia está em baixa, o sistema estará pronto para utilizar rede proveniente da distribuidora e, em momentos em que a geração é maior do que a capacidade de utilização, o excedente é repassado para a rede pública, retornando em forma de créditos para os usuários. [1] [4]

Todo arranjo é conectado em inversores e logo em seguida guiados diretamente a rede. Estes inversores devem satisfazer as exigências da qualidade, segurança, regulamentação e legislação, já que é usado a rede da concessionária de distribuição para o escoamento da energia gerada pelo sistema fotovoltaico. [1] [4] A Figura 2 mostra um sistema *on-grid* e seus elementos.

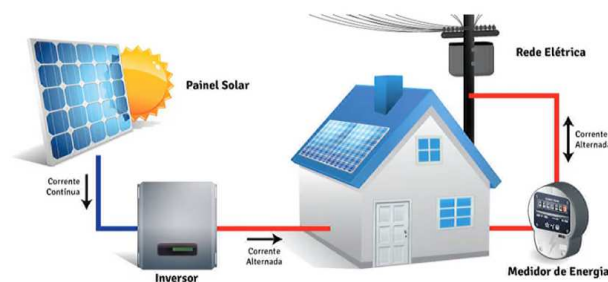


Figura 2 - Ilustração de um sistema *on-grid*. [4]

III. MATERIAIS E MÉTODOS

Nessa sessão são apresentados os componentes que serão utilizados para a construção do mini sistema de geração de energia solar.

A. Diagrama em blocos geral do sistema de geração de energia solar

O sistema de geração de energia solar é composto pelo painel solar, que capta a intensidade luminosa do painel de lâmpadas e, instantaneamente, é provocada uma corrente elétrica contínua que é direcionada ao controlador de carga – responsável por preservar a vida útil da bateria, protegendo-a do efeito da sobrecarga ou descarga abrupta –, localizado na bancada. Este componente é alimentado por uma bateria lítio de 24V/120Ah.

Como o módulo de conversão e controle (bancada) é conectado à rede elétrica 127 [Vac], ele vai energizar todos os componentes que estão interligados entre si, assim como o *dimmer* – que tem o propósito de regular a intensidade do brilho da iluminação –, e o painel de lâmpadas.

A saída da bateria está conectada a um dos disjuntores que, por sua vez, está conectado ao inversor de 1200 [W] – que possui a finalidade de converter a energia gerada pelo painel

solar de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA) – e, logo em seguida, é vinculado ao outro disjuntor.

Vale ressaltar que na saída externa do inversor é possível carregar uma carga, como por exemplo, um celular, ou *notebook*, ou ainda acender uma lâmpada, por exemplo. A Figura 3 mostra o sistema proposto em laboratório e seus componentes gerais do sistema.

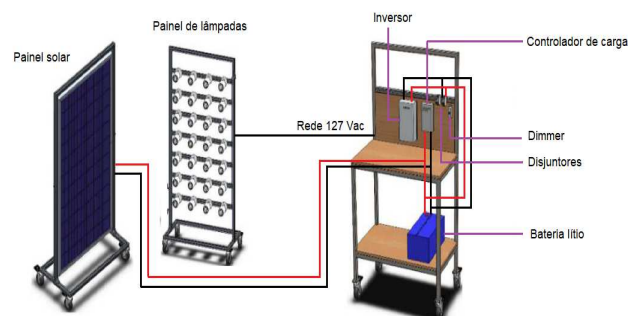


Figura 3 – Ilustração da bancada de estudo.

A.1. Módulo Solar

O modelo usado é o Módulo Fotovoltaico Policristalino de 72 células, AS – P727, cujo fabricante é a AEG Industrial Solar, conforme mostrado na Tabela I e Figura 4. [5]

TABELA I.
DADOS DO MÓDULO FOTOVOLTAICO. [5]

Módulo Fotovoltaico AS – P727 (AEG)		
Potência nominal (P_{max})	[Wp]	330
Tolerância de potência máxima	[Wp]	-0/+5
Tensão na potência máxima (V_{mp})	[V]	37,3
Corrente na potência máxima (I_{mp})	[A]	8,85
Tensão circuito aberto (V_{oc})	[V]	45,9
Corrente de curto-circuito (I_{sc})	[A]	9,26
Eficiência do módulo (η_m)		17,01%
Tensão máxima de sistema	[V]	1000
Valor máximo do fusível em série	[A]	15



Figura 4 - Módulo fotovoltaico AEG. [5]

A.2. Controlador de Carga

O modelo implantado no sistema foi o controlador de carga 20A 12V/24V MPPT EPEVER – XTRA 2210N-XDS2, que está ilustrado na Figura 5. [6]



Figura 5 – Controlador de carga EPEVER. [6]

A.3. Inversor

O dispositivo utilizado é o Inversor Hayonik de 1200W, 24V/127Vac, ilustrado na Figura 6. [6]



Figura 6 – Inversor de 1200W Hayonik. [6]

A.4. Bateria

A bateria adquirida é a Bateria Lítio 24Vdc/120Ah, do fabricante Energy Source, ilustrada na Figura 7. [7]



Figura 7 – Bateria de Lítio Energy Source. [7]

A.5. Lâmpadas

Neste estudo, foram utilizadas vinte e oito lâmpadas de 70W, distribuídas, em um suporte de painel, em fileiras de quatro lâmpadas cada, totalizando 1960W. O modelo da lâmpada é a alógena Bulbo H100, do fabricante Ouralux, que está ilustrada na Figura 8. [8]



Figura 8 – Lâmpada alógena Ouralux. [8]

A.6. Dimmer

Para ter a função que atenda o sistema de estudo, foi utilizado o *dimmer* de 2500W, 127/220V, do fabricante RXF, como ilustrado na Figura 9. [9]



Figura 9 – Dimmer profissional, potência de 2500W. [9]

A.7. Estrutura da Bancada

De acordo com a Figura 10, a bancada é composta por três estruturas, das quais, a primeira suporta a placa fotovoltaica, a segunda abriga os componentes de controle e conversão de energia do sistema fotovoltaico, e a terceira é um painel de lâmpadas.

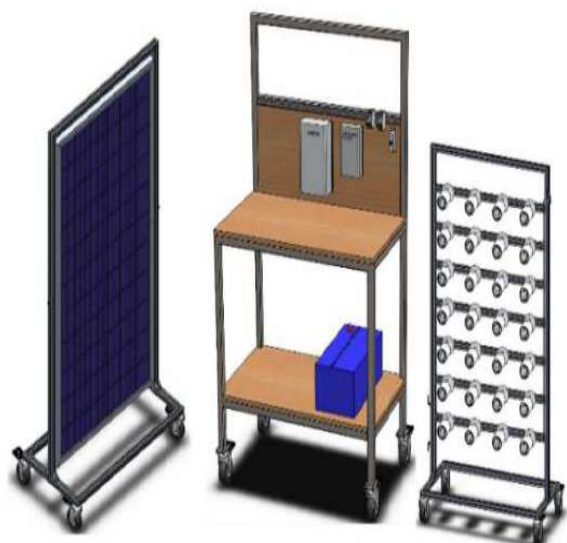


Figura 10 – Layout sistema fotovoltaico.

A.8. Esquema Elétrico da Bancada e do Pannel de Lâmpadas

Primeiramente, é apresentado o esquema elétrico de interligação do pannel fotovoltaico e os equipamentos que compõe a bancada final, como ilustra a Figura 11.

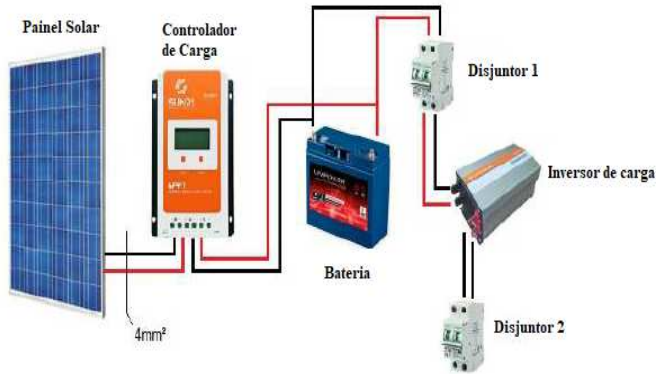


Figura 11 – Esquema elétrico do sistema fotovoltaico.

Em seguida, é apresentado o esquema elétrico da interligação das lâmpadas com o *dimmer* do pannel de lâmpadas, como mostra a Figura 12.

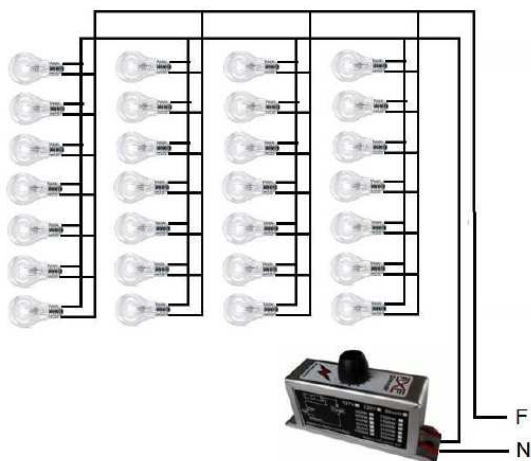


Figura 12 – Esquema elétrico da estrutura de lâmpadas.

IV. APLICAÇÃO PRÁTICA

Os testes apresentados a seguir foram realizados em três momentos distintos, sendo dois experimentos *indoor* no laboratório e um *outdoor* no INATEL, utilizando a bancada e o pannel de lâmpadas disponíveis mostrado na Figura 11. Pela Figura 11, é possível verificar todos elementos conectados ao sistema da bancada.

Com o sistema totalmente ligado e conectado, as medidas foram feitas variando a intensidade do *dimmer* em 0%, 50% e 100%, para observar as variações de tensão de saída, da placa solar e do inversor, além dos parâmetros da placa solar, bateria e o pannel de lâmpadas, baseado nos dados fornecidos pelo controlador de carga.

A.1. – Registros dos testes realizados

A Figura 13 ilustra toda a bancada montada e o teste realizado *indoor*, variando a potência do pannel de lâmpadas.

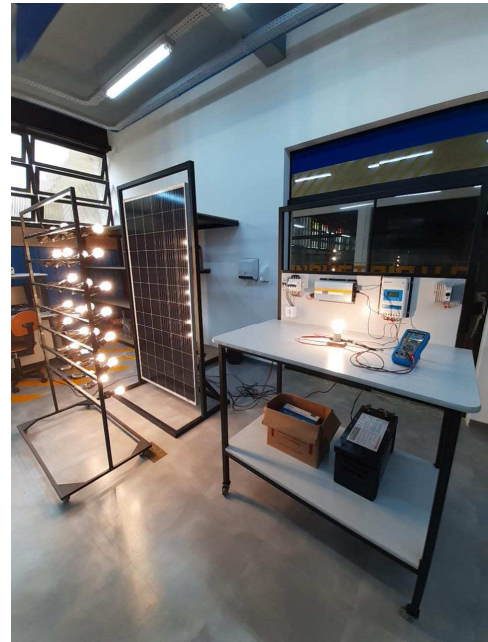


Figura 13 – Bancada e pannel de lâmpada no ambiente *indoor*.

A Figura 14 ilustra a conexão dos equipamentos na bancada, nos testes realizados *outdoor*.



Figura 14 – Bancada no ambiente *outdoor*.

A Figura 15 ilustra a conexão da carga (uma lâmpada), nos testes realizados *indoor* e *outdoor*.

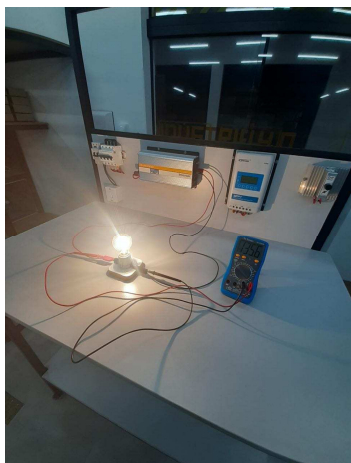


Figura 15 – Lâmpada conectada a saída do inversor e multímetro medindo a tensão de saída do mesmo no ambiente *indoor* e *outdoor*.

A Figura 16 ilustra a medição das grandezas elétricas, tensão e corrente, na carga ligada, nos testes realizados *indoor* e *outdoor*.

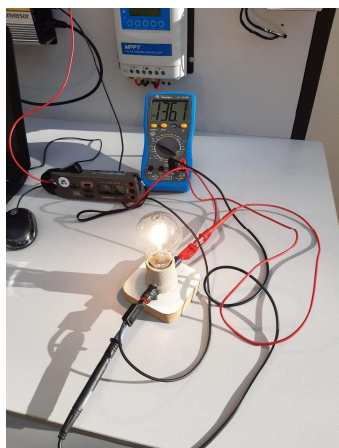


Figura 16 – Lâmpada conectada a saída do inversor, multímetro medindo a tensão da lâmpada e amperímetro medindo a corrente no ambiente *indoor* e *outdoor*.

A Figura 17 ilustra a medição de tensão gerada pela placa solar, nos testes realizados *indoor* e *outdoor*.



Figura 17 – Multímetro medindo a tensão de saída da placa solar no ambiente *indoor* e *outdoor*.

A Figura 18 ilustra a medição de tensão da carga (tensão gerada pela bancada solar), nos testes realizados *indoor* e *outdoor*.



Figura 18 – Multímetro medindo a tensão de saída do inversor no ambiente *indoor* e *outdoor*.

A.2. Resultados

Neste estudo do módulo de controle e conversão foram realizadas algumas experiências práticas com a medição dos seguintes parâmetros elétricos: tensão na saída da placa, tensão na saída do conversor e os parâmetros elétricos da placa solar, bateria e conversor.

A Tabela II mostra o resultado feito *indoor*, primeiro teste, utilizando o painel de lâmpadas como fonte de energia solar.

TABELA II.
TESTE FEITO *INDOOR* DO SISTEMA *OFF-GRID*.

Medida realizada no dia 04/06/2021 às 19h00			
Intensidade do <i>dimmer</i> :	0%	50%	100%
Tensão na saída da placa (DC):	24,5 [V]	28,7 [V]	24,5 [V]
Tensão na saída do inversor (AC):	134,1 [V]	134,1 [V]	134,2 [V]
Parâmetros da placa (DC):	0 [A]	0 [A]	0,2 [A]
	0 [W]	0,7 [W]	4,9 [W]
	0,2 [kWh]	0,2 [kWh]	0,2 [kWh]
	24,8 [V]	26,6 [V]	26,7 [V]
Parâmetros da bateria (AC):	0 [A]	0 [A]	0 [A]
	24,7 [V]	24,7 [V]	24,7 [V]
	45%	45%	46%
	24,1°C	24,1°C	24,2°C
Parâmetros da lâmpada (DC):	0 [A]	0 [A]	0,2 [A]
	0,2 [W]	0,5 [W]	4,7 [W]
	0 [kWh]	0 [kWh]	0 [kWh]
	24,7 [V]	24,7 [V]	24,7 [V]

A Tabela III mostra o resultado feito *indoor*, segundo teste, utilizando o painel de lâmpadas como fonte de energia solar.

TABELA III.
TESTE FEITO *INDOOR* DO SISTEMA *OFF-GRID*.

Medida realizada no dia 04/08/2021 às 11h15			
Intensidade do <i>dimmer</i> :	0%	50%	100%
Tensão na saída da placa (DC):	24,9 [V]	31,1 [V]	37,3 [V]
Tensão na saída do inversor (AC):	133,1 [V]	133,1 [V]	133,1 [V]
Parâmetros da placa (DC):	0 [A]	0 [A]	0,3 [A]
	0 [W]	0,2 [W]	9,0 [W]
	0,3 [kWh]	0,3 [kWh]	0,3 [kWh]
	25,0 [V]	29,0 [V]	32,0 [V]
Parâmetros da bateria (AC):	0 [A]	0 [A]	0 [A]
	24,9 [V]	24,9 [V]	25,0 [V]
	48%	49%	50%
	19,5°C	19,6°C	19,7°C
Parâmetros da lâmpada (DC):	0 [A]	0 [A]	0,3 [A]
	0 [W]	0 [W]	8,0 [W]
	0,2 [kWh]	0,2 [kWh]	0,2 [kWh]
	24,9 [V]	24,9 [V]	25,0 [V]

A Tabela IV mostra o resultado feito *outdoor*, utilizando o sol como fonte de energia solar.

TABELA IV.
TESTE FEITO *OUTDOOR* DO SISTEMA *OFF-GRID*.

Medida realizada no dia 06/08/2021			
Radiação solar:	Às 15h41	Às 16h00	Às 16h18
Tensão na saída da placa (DC):	-	40,9 [V]	-
Tensão na saída do inversor (AC):	135,0 [V]	135,5 [V]	135,7 [V]
Parâmetros da placa (DC):	0,0 [A]	0,0 [A]	0,0 [A]
	76,95 [W]	0,0 [W]	77,35 [W]
	0,3 [kWh]	0,3 [kWh]	0,3 [kWh]
	41,8 [V]	41,1 [V]	41,0 [V]
Parâmetros da bateria (AC):	0,0 [A]	0,0 [A]	0,0 [A]
	24,1 [V]	24,1 [V]	25,4 [V]
	100%	100%	100%
	25,5°C	25,3°C	25,7°C

Diante dos resultados contidos nas tabelas apresentadas, é possível concluir que os valores das medidas aumentaram bruscamente no teste *outdoor* com a radiação solar, em comparação com o teste *indoor*, feito com as lâmpadas do laboratório. A tensão, corrente e potência geradas pela irradiação solar aumentou de forma significativa no teste *outdoor*. Contudo, o teste *indoor* se mostrou eficaz para testes e validações realizadas dentro do laboratório e em períodos onde não há luz solar.

V. CONCLUSÃO

A utilização de energia renováveis vem se tornando cada vez mais usual e aplicável em diversas situações, em substituição às energias predominantemente fósseis.

O presente trabalho visou realizar um estudo teórico e prático da fonte de energia renovável do tipo solar. Em laboratório, foi construída uma bancada com elementos capazes de realizar a geração de energia solar, tanto no modo *indoor* (sem ter o sol como fonte de energia), quanto

outdoor (com o sol, como fonte de energia solar).

Nos testes e resultados apresentados, notou-se uma significativa eficiência maior, principalmente na tensão gerada pela placa, quanto na potência entregue à carga pelo controlador, no modo *outdoor*, ou seja, utilizando a energia solar. Nota-se, também, que o tipo de carga utilizado na saída do controlador, influencia no rendimento da geração da energia, podendo tornar o sistema mais ou menos eficiente dependendo do tipo de carga elétrica utilizada.

Como trabalho futuro, propõe-se integrar essa bancada construída em laboratório ao sistema da rede elétrica comercial (sistema *on-grid*), podendo, assim, combinar a geração da energia solar com a energia elétrica da concessionária.

REFERÊNCIAS

- [1] EBES. NASCIMENTO, Cássio Araújo do. **Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica**. 21f. Monografia (Pós-Graduação) – Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, 2004.
- [2] VILLALVA, Marcelo G. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. Livro, 2 Ed. Editora Érica, 2012, 224p.
- [3] ZILLES, Roberto. et al. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. Livro, 1 Ed. Editora Oficina de Textos, 2012, 208p.
- [4] ALVES, M. O. L. **Energia solar: Estudo da Geração da Energia Elétrica Através dos Sistemas Fotovoltaicos On-grid e Off-grid**. 76f. Trabalho de Conclusão de Curso Apresentado no Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Ouro Preto, UFOP, 2019.
- [5] **Tipos de painel solar**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 19 de Abril de 2021.
- [6] PINHEIRO, A. C. B e MENDES, L. H. C. **Projeto de Bancada Didática para Estudo da Geração de Energia Fotovoltaica**. 13f. Trabalho de Conclusão de Curso Apresentado no Curso de Engenharia de Controle e Automação do Inatel, 2019.
- [7] ENERGY SOURCE. **BATERIA DE ÍON-LÍTIO**. Disponível em: <<https://energysource.com.br/EnergyS/uma-solucao-completa-de-reciclagem/>>. Acesso em: 19 abr. 2021.
- [8] **Lâmpadas Halógenas Ourolux**. Disponível em: <<https://www.lojasincor.com.br/lampada-halogeno-clara-h100-70w-127v-ourolux-02134-033213/p>>. Acesso em: 19 de Abril de 2021.
- [9] **Dimmer Profissional 2000W 127/220V**. Disponível em: <<https://www.rxf.com.br/detalhes-produto/16/Dimmer-profissional-de-Potencia-2000W----127-220V/subcategoria>>. Acesso em: 19 de Abril de 2021.

Estudo Sobre a Medição de Vazão em Sistemas Hidráulicos Residenciais Baseado na Correlação Cruzada de Sinais Ultrassônicos

Isadora Silva Brandão, Thiago Tavares da Silva, Wanderson Eleutério Saldanha

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

isadora_silva@gea.inatel.br, thiagosilva@gea.inatel.br, wsaldanha@inatel.br

Abstract—The measurement of liquid flow has been a challenge for researchers due to the diversity of intensity and techniques applicable to the various processes where this measurement is necessary. In the industrial sector, flow is the third most important quantity, its value is determined, among other possibilities, through the use of ultrasonic signals. This work presents a study on the flow measurement from the cross-correlation of ultrasonic signals. The theoretical concepts will be addressed and a practical validation for the proposal will be presented.

Index Terms—Cross Correlation, Filter-Active, Ultrasonic Signals, Flow, Transducer.

Resumo—A medição da vazão de líquidos é um desafio para pesquisadores em função da diversidade de intensidade e técnicas aplicáveis aos vários processos em que essa medição se faz necessário. No setor industrial, a vazão é a terceira grandeza de maior interesse, sendo seu valor determinado, entre outras possibilidades, através da utilização de sinais ultrassônicos. Esse trabalho apresenta um estudo sobre a medição de vazão a partir da correlação cruzada de sinais ultrassônicos. Serão abordados os conceitos teóricos e apresentada uma validação prática simulada para a proposta.

Palavras chave—Correlação Cruzada, Filtro-Ativo, Sinais Ultrassônicos, Vazão, Transdutor.

I. INTRODUÇÃO

De acordo com o que é apresentado em [1], a medição de vazão é de suma importância na indústria, possuindo inúmeras aplicações. Desde a medição de vazão de água, produtos químicos, como também de combustíveis. Pode ser realizada por elemento primário ou secundário, sendo que no primeiro método o sensor tem contato direto com a substância em que se deseja conhecer a vazão. Já no segundo método, procura-se extrair a grandeza física gerada pela interação com a substância. Para a determinação, existem vários métodos, alguns deles sendo mais empregados, como gerador de pressão diferencial, medição magnética, deslocamento positivo, área variável, geração de vórtices, medidores térmicos, sinais ultrassônicos entre outros.

Nesse artigo é apresentado um estudo sobre a medição de vazão através da correlação cruzada, utilizando-se sensores ultrassônicos. Esse método tem o objetivo de identificar o tempo de trânsito do fluido na tubulação residencial, onde se aplicando a correlação cruzada nos sinais recebidos pelos sensores ultrassônicos, obtém-se a defasagem do mesmo, identificando o tempo de deslocamento do fluido, se acha a velocidade e posteriormente a vazão. Conforme apontado em [2].

As informações desse artigo estão distribuídas em cinco capítulos, onde no II são apresentados os Fundamentos Teóricos que ajudarão na compreensão do conteúdo, no III os detalhes da Metodologia adotada, no IV os Materiais e Métodos aplicados, no V o Estudo Proposto, no VI os Testes e Resultados e no VII as conclusões sobre tudo que foi descoberto.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nessa seção estão apresentados os conceitos teóricos dos principais pontos necessários para o entendimento do estudo desenvolvido.

A. Vazão

Segundo [3], a vazão volumétrica, $Q(m^3/s)$, pode ser determinada pelo produto entre a velocidade de escoamento do fluido, $v(m/s)$, e a área da secção transversal, $A(m^2)$, da estrutura por onde ele flui. Essa relação pode ser observada na Equação (1).

$$Q = v.A \quad (1)$$

De acordo com [4], a velocidade média $v(m/s)$ pode ser obtida pela relação entre o deslocamento considerado, $x(m)$, e o tempo, $t(s)$, necessário para percorrê-lo[4]. Essa relação é apresentada na Equação (2).

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (2)$$

B. Sinais Ultrassônicos

O estudo de sinais ultrassônicos, também apresentado em [1], mostra que ondas de som em alta frequência, caracterizados por serem acima da frequência audível por um ser humano, que no que lhe concerne podem sofrer influência ambiente, como da temperatura, umidade do ar, pressão atmosférica e o movimento do ar, mudando a velocidade de propagação do sinal. Entretanto, são insensíveis à poluição como também independem da superfície dos materiais, cor, intensidade da luz e contrastes ópticos.

C. Transdutores Ultrassônicos

O transdutor ultrassônico em questão baseia-se no princípio piezoelétrico, em que ao ser submetido a uma força mecânica, ocorre em seu interior a polarização elétrica do material, com isso é desenvolvida uma carga Q em sua superfície, que é

proporcional a força F exercida anteriormente, como mostrado em [1]. Abaixo a Equação (3) descreve matematicamente esse fenômeno.

$$Q = F.S_{xtal} \quad (3)$$

Onde S_{xtal} refere-se a sensibilidade do cristal, que compõe o transdutor.

D. Filtro Ativo Passa-Faixa

Os filtros passa-faixa permitem apenas a passagem de sinais que possuem a frequência igual à frequência de passagem do filtro, sinais fora dessa faixa são atenuados. Esse circuito é constituído por componentes ativos e necessitam de uma fonte de alimentação externa, como amplificadores operacionais, de acordo com o descrito em [1]. Para esse projeto foi utilizado filtros passa-faixa com frequência próxima a $4,8(MHz)$, para a redução de ruído no sistema e obtenção de um sinal com melhor qualidade.

E. Conversão A/D

Conforme observado em [5], é possível entender que conversão analógico-digital é comum em aplicações eletrônicas, pois o sinal a ser estudado está primordialmente em seu formato analógico, o que acaba sendo necessário executar sua conversão para um sinal digital equivalente, de modo que possa ser lido por um sistema com processamento limitado. Essa conversão é feita pelos conversores A/D, onde eles atribuem valores fixos e definidos para sinais que variam sua amplitude entre infinitos valores e classificam intervalos entre os períodos desse sinal.

F. Correlação Cruzada

O método matemático da correlação cruzada foi desenvolvido para executar a verificação de similaridade entre dois sinais, onde f é o sinal transmitido e g , o sinal recebido. Ao aplicar a correlação cruzada, os mesmos são multiplicados e somados ponto a ponto, possibilitando a aquisição do atraso entre eles [2]. Abaixo está sendo representada a correlação cruzada para sinais discretos pela Equação (4), onde m e n são momentos do sinal:

$$(f \star g)[n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} f^*[m]g[n+m] \quad (4)$$

III. METODOLOGIA

Primeiramente foi feito um estudo sobre o funcionamento da tecnologia a partir de pesquisas e publicações já realizadas. Logo após, foi alinhado os conhecimentos com os antigos desenvolvedores do projeto, onde foi possível observar que o melhor caminho seria realizar uma modelagem matemática para a comprovação da aplicação da técnica de correlação cruzada para a medição de vazão.

A modelagem matemática mencionada acima foi desenvolvida utilizando a ferramenta Octave, visando obter-se resultados teóricos para realizarmos a experimentação prática com segurança.

Posteriormente foi elaborado um estudo acerca da possibilidade de prototipação para a validação prática.

IV. MATERIAIS E MÉTODOS

Essa seção descreve o estudo realizado para uma futura implementação dos componentes no protótipo.

A. Raspberry Pi 3

A prototipação utiliza-se do microcontrolador Raspberry Pi 3 modelo B, cujo objetivo é transmitir o sinal, e realizar o processamento do sinal recebido. Abaixo é apresentado o modelo do microcontrolador em questão nas figuras 1, 2. É possível encontrar maiores detalhes sobre a ferramenta em questão em [6].

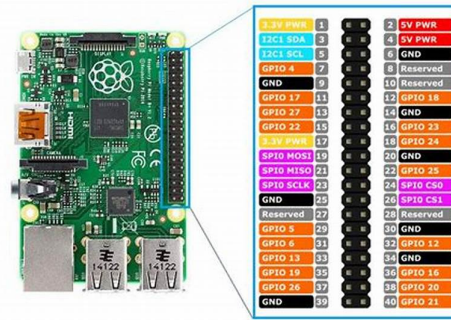


Fig. 1. Raspberry Pi 3 modelo B [6]

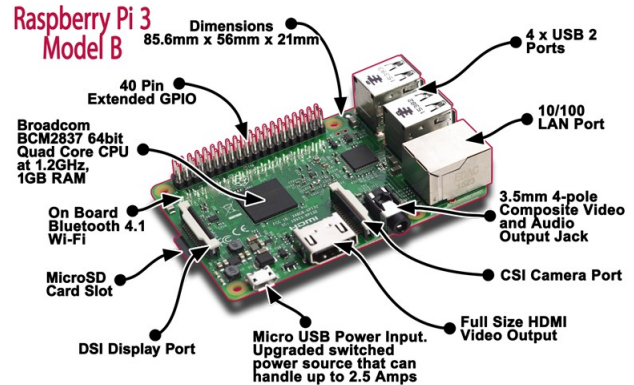


Fig. 2. Raspberry Pi 3 modelo B [6]

B. Transdutor

O transdutor ultrassônico proposto para o protótipo, é próprio para medição de vazão de líquidos, e conforme mencionado [7], o mesmo opera a uma faixa de frequência padrão de $4(MHz)$, e também trabalha em contato com o líquido, suportando uma temperatura de até $120^{\circ}C$ e uma pressão de $16(bar)$.



Fig. 3. Sensor ultrassônico [7]

C. Conversor A/D

Para realizar a leitura dos dados no transdutor de recepção, é necessária uma conversão para um sinal digital através do conversor A/D ADC0804, ilustrado na figura 4. Segundo [8], o mesmo opera em uma faixa de 0 a 5(V), com um valor binário de 8 bits, possuindo então, uma resolução de 19,5(mV). O mesmo contém um tempo de conversão de cerca de 100us e uma banda de passagem de até 10(MHz).

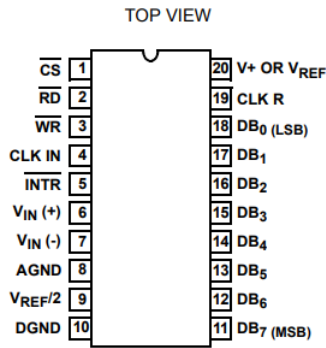


Fig. 4. Conversor A/D [8]

D. Filtro Ativo Passa-Faixa

De acordo com [1], em um primeiro momento, o filtro passa-alta, figura 5, permite a passagem de sinais com frequências acima da frequência de passagem determinada pela configuração do filtro.

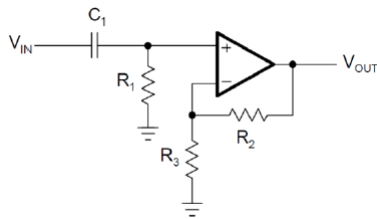


Fig. 5. Filtro ativo Passa-Alta [1]

Em seguida, é apresentado o filtro passa-baixa, figura 6, onde é permitida a passagem de sinais com frequências abaixo da frequência de passagem do filtro [1].

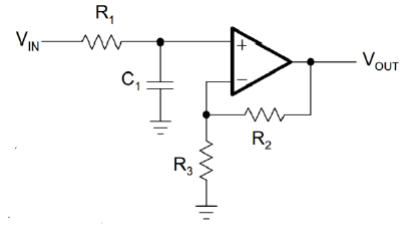


Fig. 6. Filtro ativo Passa-Baixa [1]

Contudo, o filtro passa-faixa, figura 7, é constituído pela junção dos dois filtros citados anteriormente, figura 5 e 6, conforme apresentado em [1].

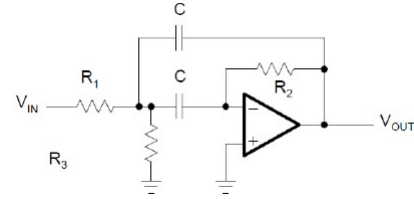


Fig. 7. Filtro ativo Passa-Faixa [1]

V. ESTUDO PROPOSTO

O protótipo, utiliza dois pares de transdutores ultrassônicos (um par efetua a transmissão e o outro a recepção), baseia-se nos conceitos da correlação cruzada, tal topologia, tem o intuito em conseguir obter o tempo de atraso entre os sinais. Ambos os pares de transdutores ultrassônicos são fixados em linha reta, interiormente a tubulação, abaixo a figura 8 realiza a representação.

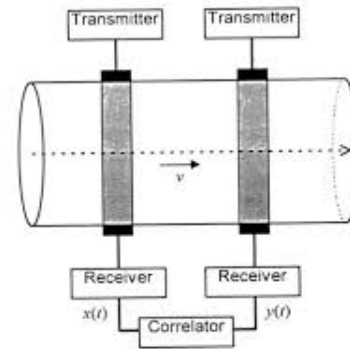


Fig. 8. Representação da Correlação Cruzada [2]

São gerados, através do microcontrolador (Raspberry Pi 3), sinais de onda quadrada a uma frequência de 4,8(MHz) e duty - cycle de 50% para a excitação dos transdutores que irão transmitir o sinal.

Após isso, é necessário que o sinal seja recebido pelo segundo par de transdutores e convertido pelo conversor A/D (ADC0804). Em conformidade com [9], para que a digitalização do sinal seja realizada com a melhor qualidade possível é de suma importância a utilização do teorema de "Nyquist", descrito matematicamente pela equação (5), onde é dito que uma frequência de amostragem f_s , deve ser pelo menos duas vezes maior que o sinal amostrado f_o , para que possa recuperar o sinal original.

VI. TESTES E RESULTADOS

$$fs \geq 2fo \quad (5)$$

Seguido da recepção do sinal pelo par de transdutores responsáveis, é realizada a conversão de um sinal discreto pulsante para um sinal contínuo no tempo, tal feito é desempenhado pelo filtro ativo passa-faixa, com o propósito de obter uma determinada parte do sinal.

O filtro passa-faixa, como dito anteriormente, é estabelecido a partir da união dos filtros passa-alta e passa-baixa, de modo que a largura de faixa (BW) é delimitada pela frequência de corte do filtro passa-alta, descrita pela equação (6), e a frequência de corte do filtro passa-baixa, equação (7). Essa largura de faixa é demonstrada matematicamente através da equação (8) e visualmente através da Figura 9.

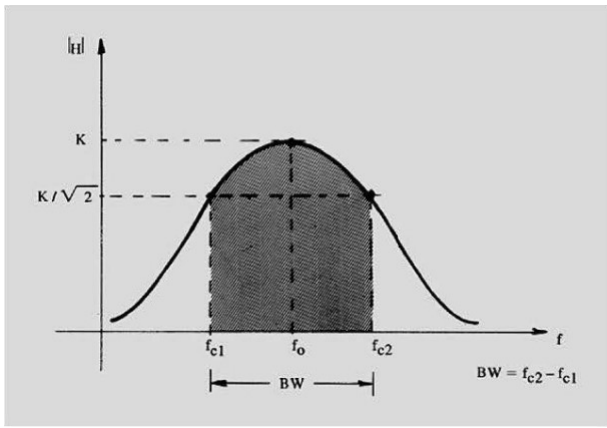


Fig. 9. Filtro ativo Passa Faixa [1]

$$f_{c1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_3 \cdot C_3} \quad (6)$$

$$f_{c2} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_2 \cdot C_1} \quad (7)$$

$$BW = f_{c2} - f_{c1} \quad (8)$$

Contudo, a frequência de corte do filtro passa-faixa pode ser definida a partir da Equação (9).

$$f_o = \sqrt{f_{c1} \cdot f_{c2}} \quad (9)$$

Por fim, o tempo de trânsito de cada um dos receptores produzirá uma sequência numérica proporcional a vazão. Alguns fatores como contaminantes e turbulências influenciarão o tempo de deslocamento do fluido na mesma intensidade nos dois transdutores de recepção. Ao realizar a verificação entre as informações recebidas por esses transdutores, é possível aplicar a correlação cruzada com a finalidade de identificar o tempo para que um mesmo evento aconteça nos dois pontos. Com isso, será possível encontrar a velocidade de escoamento do fluido e, sabendo a secção da tubulação, descobrir o valor da vazão.

Para o estudo em questão foram utilizados os softwares Octave e Multisim, fundamentais para essa etapa de simulações. Foram realizados testes acerca dos filtros e formação do sinal de forma ampla para a utilização do sistema.

A ferramenta Multisim foi aproveitada para a realização dos testes com relação à montagem dos filtros. Nele é possível utilizar componentes virtuais, que não contém perdas, tolerâncias e/ou necessidade de alimentação, o caso do AMP-OP utilizado.

O circuito projetado no software é exibido na Figura 10. O esquema em questão trata-se de um filtro passa-faixa ativo, não inversor que apresenta um ganho de 11x, podendo conferir através da equação (10).

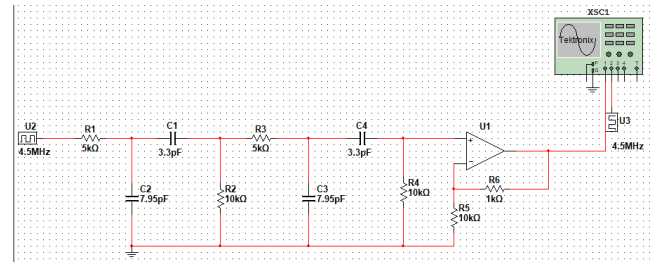


Fig. 10. Filtro Passa-Faixa

$$G = 1 + \frac{R_5}{R_6} \quad (10)$$

Na montagem do filtro foi definido uma frequência de corte para o passa-alta de 4(MHz) e passa-baixa de 4,8(MHz), também foi definido os valores dos resistores assim possibilitou calcular o valor dos capacitores. Após se realizar algumas simulações para diferentes frequências obteve os seguintes resultados.

Para uma frequência de 4,5(MHz) Figura 11, é possível notarmos uma pequena distorção no sinal filtrado (amarelo) em relação ao gerado (azul), porém a maioria das informações está passando pelo filtro.

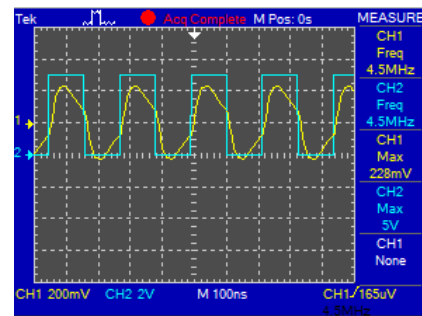


Fig. 11. Resposta do Filtro para 4.5(MHz)

Para uma frequência de 14(MHz) Figura 12, é possível notar uma maior atenuação do sinal filtrado em relação ao gerado e uma significativa queda de tensão, porém uma boa parte do sinal ainda passa pelo filtro.

Para uma frequência de 600(KHz) Figura 13, é possível notar uma maior atenuação do sinal filtrado em relação ao gerado e uma significativa queda de tensão e uma melhor resposta para frequências menores.

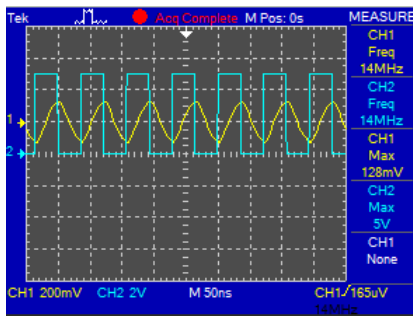


Fig. 12. Resposta do Filtro para 14(MHz)

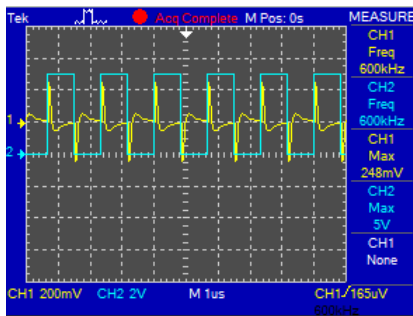


Fig. 13. Resposta do Filtro para 600(KHz)

Através do Octave, software matemático, foram realizadas simulações dos sinais recebidos pelos sensores ultrassônicos. Entretanto, por se tratar de uma ferramenta de simulação, não é considerado interferências ou ruídos, que provavelmente seriam notados na prática.

Para a realização da simulação foi gerado dois sinais de onda quadrada com mil amostras, com tempo de amostragem de 0,5(s) e frequência de 20(Hz). Esses parâmetros foram adotados por limitações do software.

Na figura 14 é apresentado o sinal recebido pelo primeiro par de sensores.

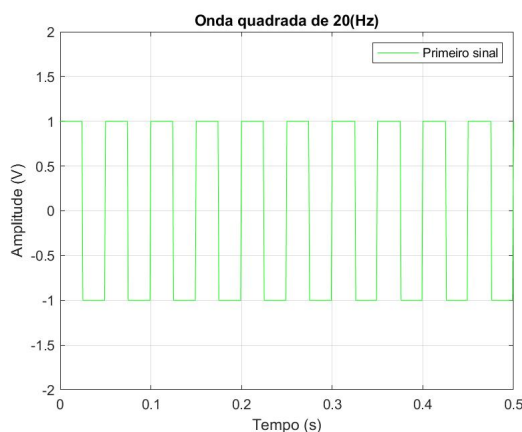


Fig. 14. Sinal Recebido

Na figura 15 é apresentado o sinal recebido pelo segundo par de sensores.

Com os dois sinais na mesma janela gráfica é possível observar que os mesmos apresentam mesma amplitude e frequência, porém estão deslocados no tempo, como ocorreria na prática Figura 16.

Deste modo, é possível utilizar o Octave para obter os

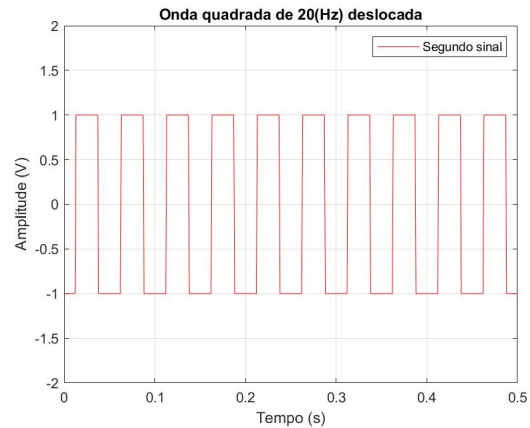


Fig. 15. Sinal Recebido

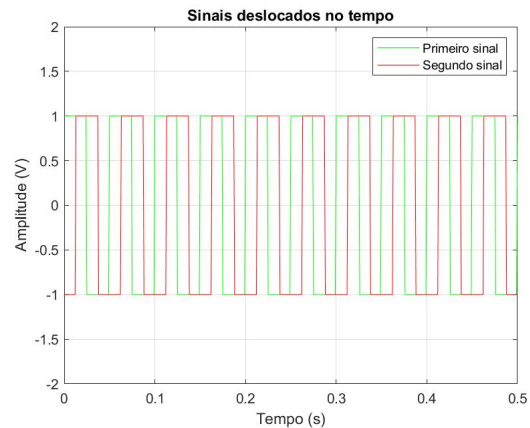


Fig. 16. Sinais Recebidos

cálculos da correlação cruzada dos sinais. O gráfico gerado pela correlação cruzada é apresentado na Figura 17.

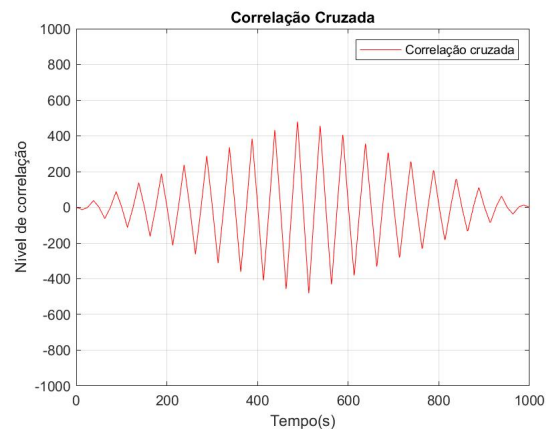


Fig. 17. Correlação Cruzada

A partir da Figura 17 é possível se notar que foi gerada uma janela gráfica que contempla todas as amostras dos dois sinais utilizados para simulação.

No ponto onde se tem a maior amplitude (eixo Y = 480 e eixo X = 488), seria o ponto que os gráficos estariam sobrepostos. Assim possibilita a determinação do tempo que levou para o segundo par de sensores medir o mesmo fluxo de água que passou pelo primeiro par de sensores.

A causa da descontinuação das reuniões foi a medida de proteção descrita pelo Ministério de saúde adotada pela sociedade para o enfrentamento da pandemia do CoViD-19, por esta causa também não foi possível a utilização dos laboratórios da instituição.

VII. CONCLUSÃO

Com base na pesquisa difundida é possível identificar que o método matemático da correlação cruzada para medição de vazão de líquidos pode trazer algumas vantagens, como baixa complexidade para realização de cálculos, medições mais rápidas e precisas, uma vez que os sensores ultrassônicos se encontram alinhados e a medição feita por um conjunto de sensores como também apresenta maior precisão para líquidos turvos, com resíduos e turbulentos.

As simulações realizadas no Multisim, para os testes com filtro passa-faixa não se obteve um bom resultado, dado que é esperado que quando possui uma frequência acima ou abaixo da frequência de corte, o sinal deve ser totalmente atenuado. Uma solução para uma melhor resposta seria aumentar a ordem do filtro ou implementar outros modelos mais eficazes.

Quanto as simulações realizadas com o Octave obteve os resultados esperados visto que o software realiza apenas o tratamento das informações que são repassadas a ele.

REFERÊNCIAS

- [1] Saldanha, Wanderson, Notas de aula EA 205 - Instrumentação Industrial.
- [2] Arantes, Wallace, Dissertação de Mestrado - Avaliação metrológica da comparação interlaboratorial da calibração de medidores ultra-sônicos.
- [3] D. Savionek, F. Kaderli, T. Rathke, TCC - CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO DE UM MEDIDOR DE VAZÃO VOLUMÉTRICA TIPO VENTURI.
- [4] Sears e Zemansky, Física: Mecânica, Volume 1, 2016, 14e, Person
- [5] Luis Brandão Gomes, Evandro, Notas de aula EA 203-Eletrônica Digital II.
- [6] Raspberry Pi Foundation, DataSheet, 2018-19-3
- [7] D-Flow, DataSheet, Ultrasonic Transducers Data Sheet, 2016-23-1.
- [8] Intersil, DataSheet, 2002-08-1
- [9] Brito, José Marcos, Notas de aula NP 005 - Introdução às Telecomunicações.

Torneio de Arduino Challenge: um estímulo às carreiras de engenharia e tecnologia - I

Mylena Stefânia Silveira Rocha, Raphael Henrique Carvalho Venancio, Yasmim Silva Ramos

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

mylenas@inatel.br, raphael.venancio@get.inatel.br, yasmim.silva@geb.inatel.br

Abstract—The Arduino Challenge tournament is one of the activities, among many others, developed by the High School Relationship Center, of the National Institute of Telecommunications - Inatel, with the aim of awakening in young people and adolescents the interest in engineering and technology careers. This event takes place annually and is held in public and private elementary schools, seeking to teach in a dynamic and challenging way simple robotics and programming concepts. In addition, the tournament helps to develop the participants' hard and soft skills, motivating them to learn content outside the school curriculum.

Index Terms—Arduino Challenge, Engineering, Programming, Robotics, Technology.

Resumo—O torneio Arduino Challenge é umas das atividades, dentre várias outras, desenvolvidas pelo Núcleo de Relacionamento com Colégios - NRC, do Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel, com o objetivo de despertar nos jovens e adolescentes o interesse pelas carreiras de engenharia e tecnologia. Este evento ocorre anualmente e é realizado nos colégios de ensino básico da rede pública e privada, buscando ensinar de forma dinâmica e desafiadora conceitos simples de robótica e programação. Além disso, o torneio ajuda a desenvolver as hard e soft skills dos participantes, motivando-os a aprender conteúdos externos ao currículo escolar.

Palavras chave—Arduino Challenge, Engenharia, Programação, Robótica, Tecnologia

I. INTRODUÇÃO

A escolha da graduação é um processo muito importante para todos os jovens e adultos do país. Sabendo do peso dessa escolha, que será a base para a profissão que vai exercer pelo resto da vida, pode ser um momento árduo para os recém egressos do Ensino Médio, tendo em vista a pressão a qual estão expostos. São milhões de estudantes em busca de um caminho para a carreira correta enquanto focam em seu rendimento escolar e nas demais atividades cotidianas.

Tendo em vista essa problemática, várias instituições de ensino têm promovido atividades extracurriculares, palestras e até mesmo testes vocacionais. Sabendo disso, uma das iniciativas adotadas pelo NRC do Inatel foi o Torneio Arduino Challenge, que promove uma competição entre alunos de Ensino Médio Regular e Técnico, com o objetivo de despertar o interesse nas áreas de Engenharia e Tecnologia.

A procura pelos cursos de engenharia no Brasil vem diminuindo a cada ano, de acordo com a revista Ensino Superior. Uma queda considerável ocorreu entre os anos de 2014 e 2018: 375.348 calouros ingressaram em 2014, enquanto, em 2018, 277.952, representando uma queda de vinte e seis por cento [1]. Isso permite observar um número significativo de alunos optando por cursos fora da área de exatas.

O Censo da Educação Superior de 2017 [2], feito pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio

Teixeira - Inep, ainda expõe um fato preocupante: os cursos de engenharia, em sua maioria, são compostos por estudantes homens, enquanto as mulheres tendem a optar por cursos das áreas de humanas e biológicas. Tais dados destacam o fato de que várias mulheres podem estar deixando de cursar engenharia. Muitas vezes, pelo desconhecimento do que o curso pode lhes oferecer e pela falta de incentivo, o que dificulta, em uma etapa crucial, a tomada de decisão acerca de sua graduação. Ademais, por outros motivos, a queda de ingressantes também vale para os homens.

Todas as informações presentes nos gráficos abaixo permitem perceber a importância do Torneio Arduino Challenge, visto que uma maneira de aumentar a adesão aos cursos de engenharia é despertar o interesse por essa área enquanto os alunos ainda estão próximos de concluir sua educação básica. Sendo assim, o projeto atua com o público do 9º ano do Ensino Fundamental II até o 3º ano do Ensino Médio.



Fig. 1. Ingressantes - Cursos de Engenharia Brasil

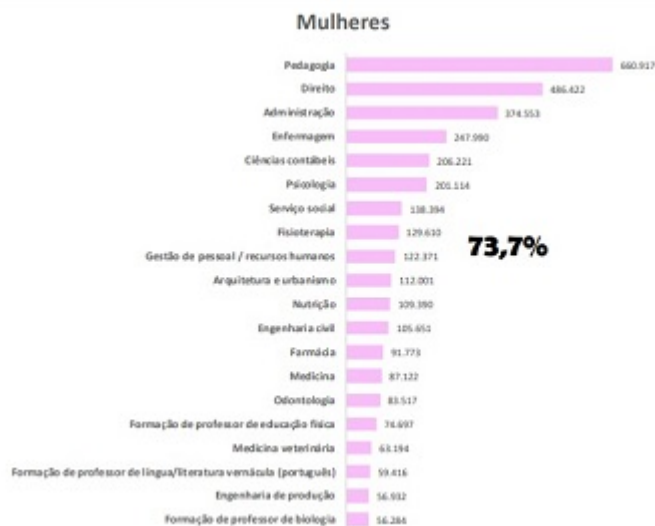


Fig. 2. Gráfico - Mulheres

regulares: Colégio Santos Anjos, Colégio Maximus, Colégio Militar de Belo Horizonte, Colégio Militar de Campo Grande, Colégio Nossa Senhora Auxiliadora e Colégio São José. E os colégios técnicos: ETEC Bento Quirino, Escola Técnica Pandiá Calógeras - ETPC, Instituto Técnico de Barueri – ITB, IFSULDEMINAS Campus de Carmo de Minas, Machado, Pouso Alegre, Três Corações e Inconfidentes.

Algumas escolas estão representadas pelas figuras 5 e 6 seguir:



Fig. 5. Arduino Challenge - Colégio Bento Quirino

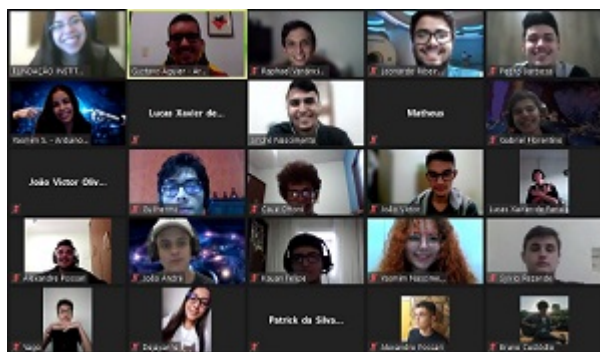


Fig. 6. Arduino Challenge - IF Pouso Alegre

A parte final foi a classificatória propriamente dita e se deu em um segundo momento, resultando em apenas uma equipe campeã por instituição. O critério de vitória era bem simples: o grupo que conseguisse a maior pontuação, ou seja, finalizar com sucesso o maior número de missões no menor tempo.

O ponto inicial desta etapa se dá com a apresentação da instituição responsável pelo projeto, o Inatel, seus cursos de graduação e um perfil resumido dos bolsistas. Logo em seguida, a primeira parte começa e, como já explicado, há uma revisão de todos os assuntos vistos no material disponibilizado no Moodle contendo uma combinação de teoria e prática, totalmente contextualizada com o tema da edição. Com isso, os alunos reveem e aprendem a funcionalidade dos componentes que farão parte de todo o projeto, como: motor, LED, buzzer, botão, entre outros. A principal diferença desta etapa da anterior é que há a disponibilidade de ajuda dos instrutores a fim de tirar dúvidas e facilitar o processo de resolução dos exercícios.

Durante a competição, parte final desta etapa, foram disponibilizadas para os grupos seis missões, todas previamente elaboradas pelos bolsistas e ocultadas até então. Ainda contextualizadas, elas giravam em torno da ideia de salvar um humano em uma situação de risco por um dinossauro. A cada uma completada, o grupo recebia uma pontuação específica que ia

aumentando gradualmente conforme a missão a ser realizada. Diferente do que fora visto até então, os grupos não tiveram ajuda dos bolsistas, apenas eram periodicamente checados em caso de problemas internos ou com a plataforma online. É importante dizer que o foco era chegar no objetivo proposto pelo enunciado, logo poderiam submeter seus circuitos a uma quantidade indeterminada de testes. Esta etapa não se restringe apenas a conhecimentos técnicos, de programação e montagem, devendo haver trabalho em grupo, resiliência, proatividade, liderança e uma boa sinergia entre os integrantes. Aquele que acumular o maior número de pontos é o vencedor e classificado para as próximas etapas em setembro, durante a Feira Tecnológica do Inatel - FETIN, possibilitando os alunos de participarem do evento de modo online.

Após a realização desta fase, foi enviado aos participantes um formulário para feedback [7] de todas as etapas precedentes. Ele contemplava avaliação do material, dos bolsistas, de tempo e ainda um campo para sugestões, elogios e críticas. Em geral, o retorno foi positivo e serviu de motivação e aprendizado para a equipe continuar se empenhando para as próximas edições e melhorando os pontos citados pelos alunos.



Fig. 7. Formulário de Feedback

III. CONCLUSÃO

Nesta edição do projeto Arduino Challenge, apesar das diversas restrições devido a pandemia de Covid-19, avalia-se que o trabalho foi realizado com sucesso. Mesmo com a vacinação e com algumas flexibilizações, o torneio permaneceu de modo remoto no ano de 2021, e teve uma ótima adesão, como mencionado no item B. O escopo da competição proporciona, além de conhecimentos extracurriculares, a possibilidade de trabalhar em equipe, que trouxe a animação e o espírito competitivo das equipes. Não só isso, as melhores equipes seriam premiadas, o que garantiu maior empenho dos integrantes, visto que o objetivo deste torneio é despertar nos jovens e adolescentes o interesse pelas carreiras de engenharia e tecnologia. As devolutivas dos alunos permitiram analisar tanto os desempenhos dos bolsistas e coordenadores, quanto o conteúdo e sua aplicação. Em ambos os casos, as expectativas foram atendidas. Sendo assim, foi possível, através dos feedbacks dos participantes das diferentes instituições, perceber que houve sucesso no desenvolvimento e aplicação de todo o projeto no ano de 2021.

REFERÊNCIAS

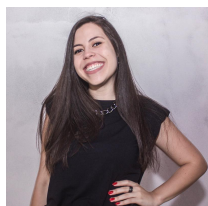
- [1] Revista Ensino Superior. *Educação Superior*. URL: <https://revistaensinosuperior.com.br/> (acesso em 17/02/2022).
- [2] Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira — INEP. *Censo da Educação Superior 2017*. URL: <https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/pesquisas-estatisticas-e-indicadores/censo-da-educacao-superior/resultados> (acesso em 17/02/2022).
- [3] Arduino. URL: arduino.cc (acesso em 18/02/2022).
- [4] Vitor da FONSECA. “Importância das emoções na aprendizagem: uma abordagem neuropsicopedagógica”. Em: *Rev. psicopedag.* 33 (2016), pp. 365–384. ISSN: 103-8486. URL: http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84862016000300014&lng=pt&nrm=iso.
- [5] Zoom. URL: zoom.us (acesso em 18/02/2022).
- [6] Autodesk tinkercad. URL: www.tinkercad.com (acesso em 18/02/2022).

AUTORES

Mylena Stefânia Silveira Rocha

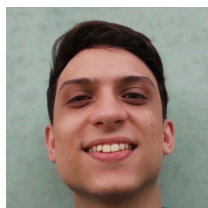
Pós-graduanda em MBA de Gestão Empresarial em Ambiente Tecnológico, Graduada em Engenharia de Controle e Automação pelo Inatel e Técnica de Eletrônica com ênfase em Automação Industrial pela Escola Técnica de Eletrônica Francisco Moreira da Costa. Atuou nos projetos do Inatel em parceria com a Ericsson

e Huawei. Atualmente atua como Especialista em Sistemas, desenvolvendo atividades de Engenharia voltadas ao público de ensino médio pelo Núcleo de Relacionamentos com Colégios do Inatel.



Raphael Henrique Carvalho Venancio

Graduando do 7º período de Engenharia de Telecomunicações do Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL, ex monitor de Algoritmos e Estruturas de Dados III e ex bolsista de iniciação científica no projeto Arduino Challenge, formado no Colégio Anglo Pouso Alegre (2018).



Yasmim Silva Ramos

Graduanda do 5º período em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL, técnica em Mecatrônica pela Escola Técnica Pandiá Calógeras - ETPC. Membro atuante do Núcleo Comercial da Consultoria e Projetos em Engenharia Elétrica - CP2eJr, monitora de Física da instituição e bolsista de iniciação

científica do projeto Arduino Challenge.



Torneio de *Arduino Challenge*: um estímulo às carreiras de engenharia e tecnologia - II

André do Nascimento, Gustavo Aguiar Paiva, Pedro Henrique Barbosa
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
andre.nascimento@inatel.br, gustavo.aguiar@get.inatel.br, pedro.barbosa@get.inatel.br

Abstract—Bearing in mind the needs of the job market and the low adherence to engineering courses, the High School Relationship Center, of the National Institute of Telecommunications - Inatel, developed the *Arduino Challenge* tournament, with the objective of introducing young people participants to technological concepts indispensable for future professions. This event takes place annually and also has other initiatives aimed at reaching more people and disseminating this knowledge with different audiences, in order to train more professionals for this expanding area.

Index Terms—*Arduino Challenge*, Engineering, Future, Market, Professions, Technology

Resumo—Tendo em vista as necessidades do mercado de trabalho e a baixa adesão aos cursos de engenharia, o Núcleo de Relacionamento com Colégios - NRC, do Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel, desenvolveu o torneio *Arduino Challenge*, com o objetivo de introduzir os jovens participantes a conceitos tecnológicos indispensáveis para as futuras profissões. Este evento ocorre anualmente e, também, conta com outras iniciativas visando atingir mais pessoas e difundir esses conhecimentos com diferentes públicos, a fim de formar mais profissionais para essa área que está em expansão.

Palavras chave—*Arduino Challenge*, Engenharia, Futuro, Mercado, Profissões, Tecnologia.

I. INTRODUÇÃO

A tecnologia e a engenharia podem ser encontradas em diversas atividades cotidianas, desde a alimentação até as grandes instalações que fornecem energia para as cidades mais populosas do mundo. Além disso, com os avanços tecnológicos cada vez mais rápidos, a demanda pela mão de obra qualificada tem crescido cada vez mais. Dados da Associação Brasileira das Empresas de Tecnologia da Informação e Comunicação - Brasscom apontam que a procura por profissionais na área de TI será de 420 mil pessoas, até 2024, no país [1]. No entanto, os formandos anuais das áreas correlatas não suprem a necessidade do mercado. Sendo assim, uma das formas de atrair e estimular os estudantes a ingressar em uma graduação voltada para as áreas de engenharia e tecnologia é inseri-los em atividades relacionadas. Dessa forma, com o intuito de mostrar a esses estudantes um pouco do que pode ser feito, o Núcleo de Relacionamento com Colégios - NRC do Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel, desenvolveu, dentre outras iniciativas, o Torneio *Arduino Challenge*, que insere, de forma dinâmica e desafiadora, alunos próximos à escolha da graduação em uma pequena parte do universo da tecnologia. Seu diferencial se deve à aplicação da robótica baseada na plataforma *Arduino* [2], em que se desenvolvem as habilidades técnicas, como conhecimentos de *hardware* e *software*, e sociais, por exemplo cooperação e liderança. Essas

habilidades também são conhecidas como *hard* e *soft skills*, respectivamente.

II. DESENVOLVIMENTO

O projeto, desenvolvido pelo NRC, composto pelos próprios graduandos e profissionais da instituição superior responsável, Inatel, foca no público de diferentes estados do país, que estão nos últimos anos do Ensino Regular e Técnico. Neste ano, foram convidados colégios de Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro e Mato Grosso do Sul. O *Arduino Challenge* é apresentado em meio a outros projetos e cursos oferecidos pelo núcleo, se destacando pela sua consolidação e influência já exercida até então.

Este torneio gira em torno de uma ideia pedagógica diferenciada que abrange jovens do 9º ano do Ensino Fundamental II até o 3º ano do Ensino Médio, sendo de escolas regulares e técnicas. Uma característica ímpar do projeto é sua tematização, usando de cenários e contextos populares que são destaques no universo cinematográfico, como forma de atrair a atenção do aluno. Isso se deve ao fato de uma pesquisa [3] concluir que ao se utilizar dos sentimentos e emoções no processo de aprendizagem, este se torna mais eficiente. Logo, por meio da imersão dos alunos, consegue-se chegar em tal objetivo.

O tema deste ano, assim como o da edição de 2020, foi o universo da franquia de filmes *Jurassic Park*, por conta de mais um filme recém-lançado. Devido à pandemia em que se impossibilitou o contato presencial entre alunos e orientadores, todo o projeto foi feito de maneira *online* por meio das plataformas *Zoom* [4], para as reuniões, e *Moodle*, para a divulgação do material. Entretanto, por conta de o cenário ter sido similar em relação ao ano anterior, o formato em si não foi alterado. A estrutura consiste em um torneio que é feito em quatro etapas que vão eliminando gradualmente a quantidade de equipes participantes, sendo elas:

- Treinamento *online*;
- Classificatória;
- Treinamento *online* para a Final
- Final;

Neste artigo, serão abordadas de forma detalhada as etapas de treinamento *online* para a final, a final e outros eventos.

A. Treinamento Online para a final e Final

Passada a etapa da classificatória, as equipes vencedoras de cada colégio foram convidadas para um segundo treinamento a fim de aprofundar seus conhecimentos técnicos seguindo a mesma estrutura já apresentada na primeira fase do projeto.

Por fim, durante a Feira Tecnológica do Inatel - FETIN, teve-se a final da competição que apresentara uma dinâmica diferente do que já fora mostrado. Novos componentes e comandos de programação foram apresentados aos classificados, a fim de refinar ainda mais seus repertórios técnicos. Após isso, as equipes foram submetidas a um sistema de escolha de quais periféricos iriam utilizar, sendo necessário resolver um desafio proposto para cada item escolhido dentro de um tempo determinado. Caso não fossem bem-sucedidos, os próprios bolsistas selecionariam quais componentes seriam utilizados pelos integrantes.

Ainda no universo da franquia do *Jurassic Park*, duas categorias foram criadas: uma que representasse algum humano e outra, algum dinossauro, cada uma com suas peculiaridades. A partir disso, para cada equipe foi designado um personagem e, simulando as características previamente apresentadas, os problemas propostos deveriam ser resolvidos.

Como o objetivo principal do projeto é desenvolver tanto *hard* quanto *soft skills*, a parte final do torneio tem como cerne a ideia de cada grupo criar um *pitch* baseado no circuito elaborado para o enunciado proposto. Ao término de cada apresentação, cada equipe é avaliada pelos bolsistas e uma média final é calculada. Vence a competição quem possuir a maior pontuação.

A figura 1 a seguir exibe os participantes da final do torneio de 2021.

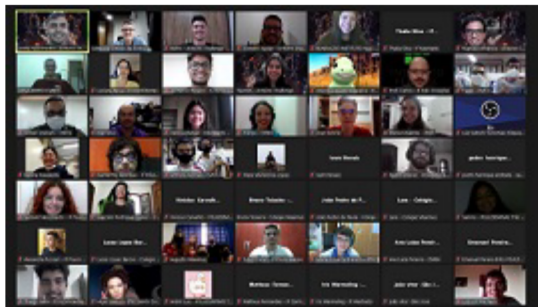


Fig. 1. Arduino Challenge - Final

B. Eventos independentes

O trabalho deste ano se caracterizou por um regime híbrido, de acordo com as diminuições das restrições impostas pelo Ministério da Saúde [5], em que a competição principal foi feita de modo remoto, porém, eventos à parte, de maneira presencial. Tais eventos, apesar de ter relação com o projeto *Arduino Challenge*, não possuíam a estrutura da competição e, portanto, contaram com uma readaptação de conteúdo e público de acordo com o contexto.

O primeiro curso ministrado, feito no próprio Inatel, ocorreu nos dias 06 e 07 de outubro e consistiu em uma parceria com o 14º Grupo de Artilharia de Campanha - GAC de Pouso Alegre, representado na figura 2. Foi realizado para os militares que estavam se desligando de suas atividades no ano de 2021, a fim de ajudá-los a iniciar o contato com a área da tecnologia. Juntamente com o projeto *Arduino Challenge* foram introduzidos outros cursos, como de *Excel* e *Python*. Sua estrutura assemelhou-se à classificatória tradicional, portanto, os experimentos e desafios elaborados foram reutilizados.



Fig. 2. 14º Grupo de Artilharia de Campanha - GAC de Pouso Alegre

O segundo, denominado Horta Viva, aconteceu na cidade de Gonçalves, em Minas Gerais, no dia 13 de novembro, inserido no contexto de uma feira gastronômica, patrocinada pelo Inatel. As inscrições foram abertas para alunos do Ensino Médio e público geral. A ideia era mostrar um sistema de irrigação automatizado usando a plataforma *Arduino*, tendo o *hardware* sido montado previamente em parceria com o FabLab e o *software* desenvolvido pelos participantes a partir da aula ministrada pelos bolsistas. A figura 3 mostra os participantes com o resultado final.



Fig. 3. Participantes do projeto Horta Viva

O último evento independente foi realizado também na própria instituição sede, de 13 a 16 de dezembro, em parceria com a Cas@Viva [6]. Cada dia do evento contou com a presença de uma turma de alunos: 63 estudantes do 9º ano do Ensino Fundamental até o 2º ano do Ensino Médio da cidade de Santa Rita do Sapucaí, em Minas Gerais. Os exercícios propostos tinham o objetivo de introduzir os alunos a noções de eletrônica e linguagem de programação.

III. CONCLUSÃO

Em sua 8ª edição, pode-se afirmar que o projeto *Arduino Challenge* foi realizado com sucesso. Esperava-se que o cenário do ano passado fosse se repetir, mas a situação foi promissora, uma vez que houve maior flexibilização das medidas do Ministério da Saúde. Assim, foram possíveis, além do torneio em si de maneira remota, eventos a parte de forma presencial, o que impactou outros públicos, além dos jovens de Ensino Médio. Atingindo um resultado melhor que o planejado, alcançando cerca de 100 pessoas presencialmente.

Ao fim da competição, duas equipes de cada categoria foram premiadas: ensino médio regular e ensino médio técnico. É

importante dizer, que ao término de todo o projeto, percebeu-se uma evolução de todos os participantes, até mesmo daqueles que não foram classificados.

Como mencionado inicialmente, o objetivo do torneio foi ajudar a desenvolver um interesse pela área da engenharia e tecnologia, lapidando conhecimentos técnicos e comportamentais. Tudo isso fora visto por meio das etapas do torneio, em que a divisão das funções de cada integrante era feita nas equipes, tendo como base a liderança, a cooperação e a comunicação. Neste ano de 2021, apesar do cenário pandêmico, o projeto conseguiu abrir seu leque de atuação e atingir outros eventos, o que o torna ainda mais consolidado e flexível a situações adversas e novos desafios.

REFERÊNCIAS

- [1] Colégio Integrado. *Procura por profissionais de TI será de 420 mil pessoas até 2024 e o Brasil forma apenas 46 mil por ano*. URL: <https://g1.globo.com/go/goias/especial-publicitario/colégio-integrado/o-futuro-e-integrado/noticia/2021/01/13/procura-por-profissionais-de-ti-sera-de-420-mil-pessoas-ate-2024-e-o-brasil-forma-46-mil-por-ano.ghtml> (acesso em 18/02/2022).
- [2] Arduino. URL: arduino.cc (acesso em 18/02/2022).
- [3] Vitor da FONSECA. “Importância das emoções na aprendizagem: uma abordagem neuropsicopedagógica”. Em: *Rev. psicopedag.* 33 (2016), pp. 365–384. ISSN: 103-8486. URL: http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84862016000300014&lng=pt&nrm=iso.
- [4] Zoom. URL: zoom.us (acesso em 18/02/2022).
- [5] Ministério da Saúde. *Educação Superior Coronavírus*. URL: <https://www.gov.br/saude/pt-br/coronavirus> (acesso em 24/02/2022).
- [6] CasaViva. URL: [inatel.br/casaviva/](https://www.inatel.br/casaviva/) (acesso em 18/02/2022).

AUTORES

André do Nascimento Graduado em Engenharia de Telecomunicações pelo Inatel e Técnico em Eletrônica com ênfase em Telecomunicações pela Escola Técnica de Eletrônica Francisco Moreira da Costa - ETE "FMC". Atuou como Especialista em Redes Móveis em parceria com grandes empresas de telecomunicações, como *Ericsson* e *Nokia*. Atualmente atua como Especialista em Sistemas, desenvolvendo atividades de engenharia voltadas ao público de ensino médio pelo Núcleo de Relacionamento com Colégios do Inatel.



Gustavo Aguiar Paiva Graduando do 7º período de Engenharia de Telecomunicações do Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel, monitor de Física 1, 2 e 3 e de Circuitos Elétricos 3 da instituição, bolsista de iniciação científica do projeto *Arduino Challenge*, formado no Colégio Objetivo Pouso Alegre (2018), segundo colocado da 3ª



edição do torneio *Arduino Challenge* (2016).

Pedro Henrique Barbosa Graduando do 7º período de Engenharia de Telecomunicações do Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel, monitor de Circuitos Elétricos 1, 2 e 3 da instituição, bolsista de iniciação científica do projeto *Arduino Challenge*, formado na Escola Estadual Monsenhor José Paulino, Pouso Alegre (2018).



Análise de Linhas de Transmissão Aplicadas a Arranjos de Antenas Massivos Baseados em SIW

Monalisa Reolon de Souza, H.R.D. Filgueiras e Arismar Cerqueira S. Jr.
Laboratório WOCA

Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel)

Santa Rita do Sapucaí, Brasil

monalisareolon@get.inatel.br, arismar@inatel.br, hugo.rodrigues@inatel.br

Abstract— This paper presents a mutual coupling analysis between transmission lines applied to massive antenna arrays based on substrate integrated waveguide (SIW). The design of a classic microstrip and a SIW, operating from 20 to 30 GHz is carried out. Numerical results using the ANSYS HFSS piece of software demonstrates the potential of SIW-type lines to confine the electromagnetic wave, minimizing eventual interference and coupling with adjacent networks up to 40 dB.

Keywords—5G, microstrip, SIW, massive MIMO, millimeter waves

Resumo—Este artigo apresenta uma análise de acoplamento mútuo entre linhas de transmissão aplicadas a arranjos de antenas massivas baseados em *substrate integrated waveguide* (SIW). Realizou-se o projeto de uma microfita clássica e uma SIW para operação de 20 a 30 GHz. Resultados numéricos com o software ANSYS HFSS demonstraram o potencial das linhas do tipo SIW para confinar a onda eletromagnética, minimizando eventuais interferências e acoplamentos em circuitos adjacentes em até 40 dB.

Palavras chaves— 5G, massive MIMO, microfita, ondas milimétricas, SIW.

I. INTRODUÇÃO

A quinta geração de comunicações móveis (5G) fornece uma tecnologia de rede altamente flexível para conectar tudo e todos em todos os lugares [1]. Padronizado pelo *Release-15* do 3GPP (*third generation partnership project*) [2], o 5G apresenta três cenários, sendo eles, *Enhanced Mobile Broadband* (eMBB), *Ultra Reliable and Low Latency Communications* (URLLC) e *Massive Machine Type Communications* (mMTC). O cenário eMBB é voltado para aplicações de altíssima vazão e espera-se atender aplicações com taxa de transferência na ordem de Gbit/s [2], a fim de suportar *streaming* de vídeo em alta definição e aplicações de realidade virtual [3]. Com o cenário URLLC é viabilizado suportar aplicações de baixa latência e disponibilidade de serviço com alta confiabilidade [3]. Por fim, o cenário mMTC é proposto para suportar grande densidade de dispositivos e alta conectividade para fornecer serviço em todos os lugares, abrindo caminho para Internet das Coisas (IoT) [3].

Particularmente no cenário eMBB, espera-se a implementação de sistemas faixa-larga a fim de suportar altas taxas de comunicação. Devido à sobrecarga do espectro de frequência abaixo de 6 GHz (sub-6 GHz) [3], a faixa de frequência acima de 20 GHz (sub-mmWaves) se apresenta como solução potencial, visto que é capaz de prover grande capacidade de canal e é pouco explorado. Aumentar a frequência de operação do sistema acarreta em um aumento nas perdas impostas no sistema, de propagação e absorção [5]. A técnica de *Massive Multiple-Input Multiple-Output* (mMIMO) consiste na utilização de uma quantidade massiva

de antenas a fim de compensar as altas perdas impostas na faixa de mmWaves [6].

O mMIMO usa três conceitos-chave já inerente na técnica *Multiple-Input Multiple-Output* (MIMO), sendo eles, diversidade espacial, multiplexação espacial e *beamforming* [7]. A diversidade pode ser alcançada na transmissão e/ou recepção e consiste em transmitir a mesma informação por múltiplos canais descorrelacionados [8]. A diversidade espacial pode atingir ganho de diversidade com o mesmo recurso tempo-frequência ao custo do aumento do número de antenas na transmissão e/ou recepção [8]. A ideia básica é aumentar a relação sinal-ruído na recepção, superando o desvanecimento do canal, a fim de garantir um enlace de comunicação mais confiável [8]. A multiplexação espacial consiste no uso de múltiplas antenas para transmitir simultaneamente mais dados em canais de propagação distintos [9]. O principal objetivo da técnica é aproveitar os múltiplos canais de propagação não correlacionados para a transmissão de fluxos de dados distintos e, conseqüentemente, aumentar a vazão total do sistema [9]. O decodificador deve ser capaz de estimar a matriz de canal e propriamente compensá-la para decodificar adequadamente os símbolos recebidos [9].

O *beamforming* é uma técnica utilizada para manipular o diagrama de irradiação resultante de um arranjo de antenas a fim de aumentar a relação sinal-ruído no receptor [9]. O *beamforming* pode ser implementado de forma analógica, digital ou híbrida [10]. *Beamforming* analógico utiliza conceitos de *phased-arrays*, no qual antenas espaçadas de aproximadamente metade do comprimento de onda são controladas em amplitude e fase para guiar o feixe principal para direções específicas e/ou criar múltiplos feixes de transmissão simultânea [11]. O *beamforming* digital precisa utilizar canais descorrelacionados para compensá-los de forma independente e viabilizar, de forma simultânea, a multiplexação espacial por meio do conceito de ortogonalização de canais de acordo com a lei dos grandes números [12]. Tipicamente, garante-se uma boa estimativa dos canais utilizando duplexação por divisão de tempo (TDD – *time division duplexing*) para tirar proveito da reciprocidade dos canais de *downlink* e *uplink* [13]. O *beamforming* digital baseado em TDD garante aumento de taxa de comunicação de forma massiva e garante, simultaneamente, o múltiplo-acesso, ao custo do aumento considerável do custo de implementação, uma vez que é necessária a utilização de uma cadeia de radiofrequência (RF) por elemento de antena [13]. Por fim, o *beamforming* híbrido agrupa sub-arranjos de antenas para controle de fase entre elementos em uma implementação analógica e, cada sub-grupo é controlado por uma cadeia de RF independente, diminuindo a capacidade do sistema quando comparado à implementação inteiramente digital, mas ainda viabilizando o aumento de SNR e aumento de eficiência

espectral em uma relação de compromisso com o custo de implementação [14].

Todas as técnicas baseadas em mMIMO operam com alto desempenho considerando que os múltiplos canais entre transmissão e recepção são descorrelacionados entre si. Logo, do ponto de vista do desenvolvimento de arranjos de antenas, é preciso garantir a baixa correlação entre os elementos irradiantes do arranjo para que não haja criação de correlação co-canal no próprio arranjo. Tipicamente, busca-se minimizar o acoplamento entre os elementos de antena, mas, em uma implementação massiva, as linhas de alimentação se tornam complexas e o acoplamento entre as próprias linhas que alimentam os elementos devem ser devidamente blindados [15-17].

Este artigo apresenta uma análise de linhas de transmissão impressas aplicáveis a confecção de sistemas de alimentação de arranjos de antenas massivos. Apresenta-se o projeto e simulações eletromagnéticas de linhas de microfita e *substrate integrated waveguide* (SIW), além de uma comparação entre os modelos do ponto de vista de acoplamento eletromagnético entre linhas adjacentes. O manuscrito é dividido em quatro Seções. A Seção II apresenta as características e projetos das linhas de transmissão. As análises numéricas de acoplamento entre linhas adjacentes são apresentadas na Seção III. Finalmente, a Seção IV traz as conclusões do artigo e os trabalhos futuros.

II. LINHAS DE TRANSMISSÃO

As alimentações em arranjos de antenas podem ser feitas com cabos, guias de ondas ou circuitos impressos. Tipicamente, em arranjos massivos, utiliza-se técnicas impressas por facilitar a integração com circuitos integrados [18]. Diversas técnicas são apresentadas na literatura, incluindo a microfita [18,19], *gap waveguide* [20], SIW [22,23] e *substrate integrated coaxial line* (SICL) [21]. A microfita é facilmente fabricável com um processo de baixo custo. Entretanto, tal linha de transmissão possui desvantagem quando projetada em mm-Waves, uma vez que seu projeto independe da frequência, o que a torna de grande estrutura comparada ao comprimento de onda. Além disso, a microfita não possui blindagem eletromagnética e, o acoplamento entre múltiplas linhas adjacentes pode ser extremamente alto, inviabilizando sua aplicação em sistemas baseados em técnica mMIMO. Adicionalmente, interferências eletromagnéticas podem ocorrer nos circuitos integrados principalmente devido ao efeito de franjamento [18,19].

As linhas do tipo *gap waveguide* tem o princípio operacional de criar um condutor elétrico perfeito para guiar a onda eletromagnética e envolvê-la com estruturas periódicas que criam um condutor magnético perfeito baseado em metas-superfície [20]. Em implementações impressas, normalmente um esquema de três camadas é empregado: a primeira camada é um plano terra; a segunda camada é uma microfita; a terceira camada é uma placa metálica suspensa para acoplamento à componente condutora baseada em microfita. Sua principal desvantagem, está relacionada à complexidade e custo de implementação [20].

As linhas de transmissão do tipo SICL consistem em uma linha de microfita, blindada por dois planos terra (abaixo e acima) e furos metalizados em seus dois lados, formando uma linha coaxial integrada em um substrato [21]. É necessária a

implementação de substrato de duas camadas para garantir a blindagem em todas as direções e, consequentemente, um recurso de acoplamento extremamente baixo é alcançado. Sua principal desvantagem é a necessidade de dois substratos e o custo do processo de fabricação [21].

Por fim, o SIW é projetado em um substrato com planos terra em ambos os lados e duas fileiras de furos metalizados para a criação de um guia de onda [22]. Essa estrutura apresenta baixo acoplamento devido à sua capacidade de confinar a onda eletromagnética dentro do guia de onda integrado. A estrutura possui baixo custo de implementação e complexidade, porém suas dimensões podem ser impeditivas para implementações massivas por dependerem do comprimento de onda da frequência de corte de operação do guia, similar a um guia de onda retangular convencional [22]. De qualquer forma, dentre as técnicas avaliadas, a SIW se mostrou como sendo uma linha de transmissão potencial para redução de acoplamento entre elementos de antenas em um arranjo massivo e, por isso, esse artigo pretende aprofundar as investigações na SIW.

A. Microfita

O projeto da microfita clássica foi realizado para fins de comparação. Os resultados obtidos com a microfita serão utilizados como valores referência para comparação com a SIW a fim de validar a vantagem em utilizar linhas de transmissão mais sofisticadas quando há a necessidade de blindagem da onda eletromagnética em seu interior. A linha de microfita é apresentada na Fig. 1. A estrutura é composta por um plano terra (GND) na camada inferior e uma linha condutora de espessura w na camada superior de um substrato de altura h . Considerando o substrato *Rogers RT/Duroid 5870* de permissividade elétrica relativa $\epsilon_r = 2,33$ e $h = 0,254$ mm, aplica-se (1) e (2) [23], obtendo os valores de $w = 0,76$ mm se $Z_0 = 50 \Omega$.

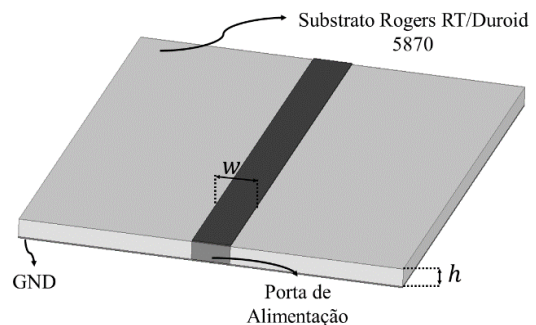


Fig. 1. Detalhes da linha de microfita.

$$u = \frac{Z_0 \sqrt{2(\epsilon_r + 1)}}{120} + \frac{1(\epsilon_r - 1)}{2(\epsilon_r + 1)} + \left(0,4516 + \frac{0,2416}{\epsilon_r}\right) \text{ para } Z_0 > 40\Omega \quad (1)$$

$$\frac{h}{w} = \frac{e^u}{8} - \frac{1}{4e^u} \quad (2)$$

Realizou-se simulações eletromagnéticas com o *software* Ansys HFSS para análise de desempenho da linha de microfita. A Fig. 2 apresenta os resultados numéricos do coeficiente de reflexão (S_{11}) de 20 a 30 GHz. O S_{11} descreve a razão entre o nível da onda eletromagnética incidente e refletida quando há a troca de meio, com objetivo de verificar o casamento de impedância da estrutura. Um casamento de impedância ideal provê nível de S_{11} tendendo à menos

infinito, o que significa que não há potência refletida na porta e toda a potência é transmitida para o meio. Em casos reais, pode-se considerar o casamento aceitável para valores de S_{11} menores que -10 dB (pelo menos 90% da potência é transmitida) [24]. Com isso, observa-se na Fig. 2 que para $w = 0,7$ mm têm-se em casamento de impedância mais satisfatório, se mantendo aproximadamente abaixo de -35 dB ao longo de toda a banda analisada, do que para $w = 0,76$ mm, valor calculado, que se manteve abaixo de -25 dB ao longo da frequência. A Fig. 3 apresenta os resultados da perda por inserção (S_{21}) da microfita. O S_{21} descreve quanto de perda o sinal sofreu ao passar por um meio, sendo assim, mede-se a diferença de potência das portas [24]. Embora as perdas das linhas tenham se mantido muito semelhantes, entre 0,55 e 0,75 dB de perda ao longo da banda analisada, percebe-se que $w = 0,7$ mm provê perda ligeiramente menor do que para $w = 0,76$ mm, devido às diferenças no casamento de impedância da linha. Com isso, as análises de acoplamento entre as linhas adjacentes na SIW serão realizadas para $w = 0,7$ mm.

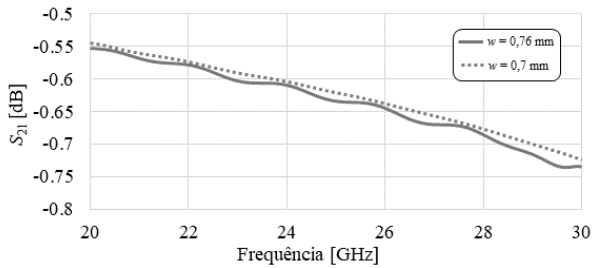


Fig. 2. Análise de S_{11} da microfita.

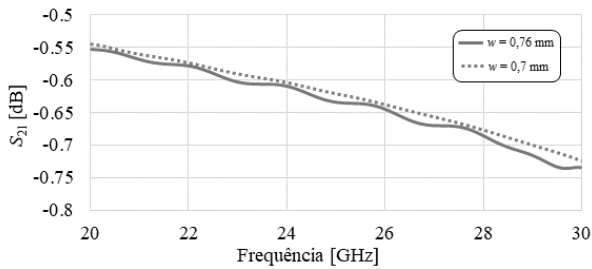


Fig. 3. Análise de S_{21} da microfita.

B. SIW

A estrutura da SIW mantém a maioria das características dos guias de ondas retangulares metálicos [21], exibindo características semelhantes de propagação [21][22]. Ou seja, operação com resposta passa-altas, o que indica que o guia transmite a onda eletromagnética em seu interior a partir de uma frequência de corte (f_c). A operação ideal do guia, assim como nas estruturas metálicas convencionais, prevê operação no modo único transversal elétrico (TE_{10}) [22].

A estrutura da SIW é mostrada na Fig. 4. A Fig. 4(a) apresenta a seção transversal da linha, com destaque ao *top* e o *bottom* compostos por planos terra e o substrato. A Fig. 4(b) apresenta os detalhes da SIW, com seus parâmetros de projeto, no qual d é o diâmetro do furo metalizado, s é o espaçamento longitudinal entre os furos, w é o espaçamento transversal e h é a altura do substrato. O projeto da SIW é baseado em (3), (4) e (5), no qual ϵ_r é a permissividade do substrato *Rogers RT/Duroid 5870*, λ_0 é o comprimento de onda no espaço livre da frequência de corte. Considerando $\epsilon_r = 2,33$, $\lambda_0 = 0,02$ m e $f_c = 18$ GHz, têm-se $s < 5$ mm, $d > 0,75$ mm (considerando $s = 3$ mm) e $w = 6$ mm.

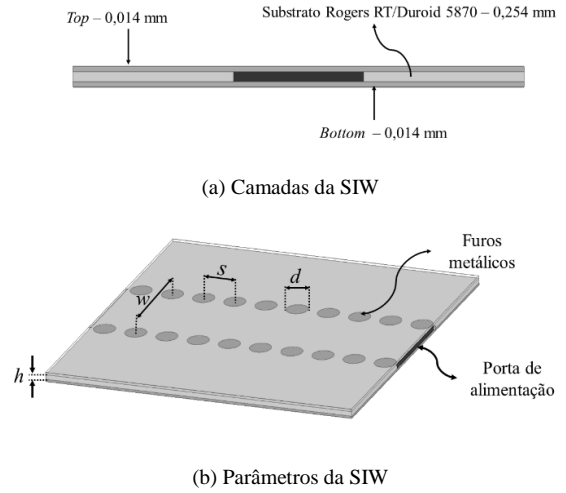


Fig. 4. Estrutura da SIW.

$$s < \frac{\lambda_0}{2\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3)$$

$$d > \frac{s}{4} \quad (4)$$

$$f_c = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_r}} \left(w - \frac{d^2}{0,95s} \right)^{-1} \quad (5)$$

A Fig. 5 apresenta a parametrização feita para relacionar w com f_c . Analisou-se valores de w entre 4 e 12 mm na faixa de frequência de 20 a 30 GHz. Assim como previsto pela teoria de guia de ondas, as grandezas são inversamente proporcionais, o que se justifica em (5) pelo expoente negativo. Por exemplo, $w = 5,4$ mm provê frequência inicial da SIW $f_c = 25$ GHz, já $w = 6,4$ mm viabiliza operação a partir de $f_c = 21$ GHz. Para o sistema entrar em operação o valor de S_{21} tem que estar pelo menos em torno de -3 dB, valores acima de $w = 6,4$ mm atendem esse requisito. A Fig. 6 mostra o casamento da SIW em alguns valores de w , pode-se perceber que a partir de $w = 7$ mm o casamento atende 90% da faixa de frequência, porém desejar suprir 100% da faixa e isso é alcançado pelo $w = 8$ mm. Com isso, as análises de acoplamento entre as linhas adjacentes na SIW serão realizadas para $w = 8$ mm.

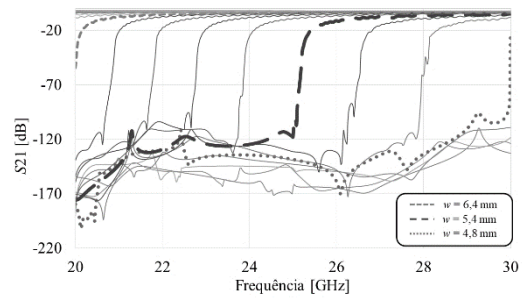


Fig. 5. Parametrização de w em função de f_c .

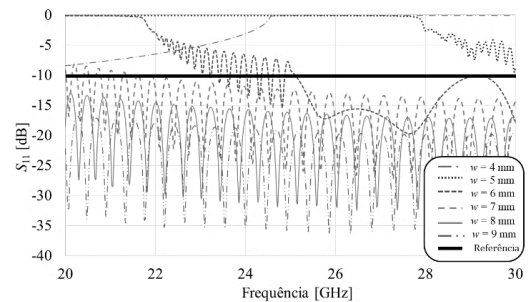


Fig. 6. Análise da variação de w em S_{11} .

III. ACOPLAMENTO EM LINHAS ADJACENTES

Esta Seção descreve a análise de acoplamento entre linhas de transmissão adjacentes. A microfita e a SIW previamente apresentadas foram inseridas em um novo modelo numérico com linhas paralelas. A Fig. 7 apresenta o modelo numérico no caso da microfita, cujo x representa a distância em relação ao centro das linhas e L o comprimento da linha. A Fig. 8 ilustra um cenário para $x = 2$ mm e $L = 10\lambda$, no qual a porta 1 está ativa. O *inset* 1 apresenta um *zoom-in-view* próximo ao início da porta transmissora e, pode-se observar uma pequena intensidade de campo acoplando com a linha adjacente. O *inset* 2 apresenta um *zoom-in-view* no centro das microfita e, percebe-se nesse ponto, maior nível de acoplamento entre as linhas adjacentes. Finalmente, o *inset* 3 traz um *zoom-in-view* ao final da linha e pode-se perceber um alto nível de acoplamento, no qual há mais intensidade de campo na linha adjacente do que na linha superior, emissora do sinal eletromagnético. Com isso, pode-se concluir que o acoplamento entre linhas de microfita adjacentes ocorre ao longo da propagação da linha e que, uma análise criteriosa deve ser realizada em cada caso, em função do comprimento da trilha no projeto de um arranjo de antenas.

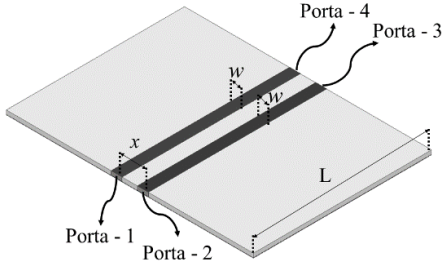


Fig. 7. Projeto de duas linhas de microfita.

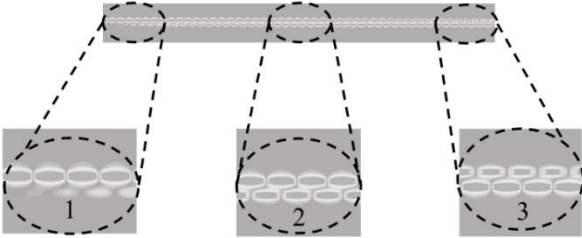


Fig. 8. Acoplamento ao longo da microfita.

A Fig. 9 apresenta o modelo numérico para análise de acoplamento entre duas SIW adjacentes. Considerou-se os mesmos parâmetros x e L . Iniciou-se a análise fazendo $x = w = 8$ mm, o que acarreta no menor espaçamento entre as linhas adjacentes possível. A Fig. 10 mostra a onda eletromagnética se propagando ao longo da SIW considerando a emissão pela porta 1 e, pode-se perceber que a energia eletromagnética se mantém confinada apenas na SIW de interesse, comprovando sua característica de blindagem eletromagnética efetiva.

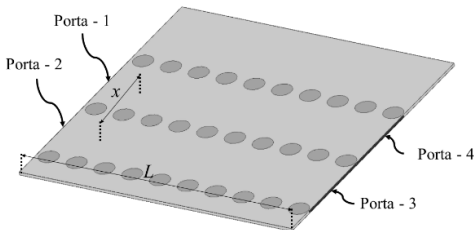
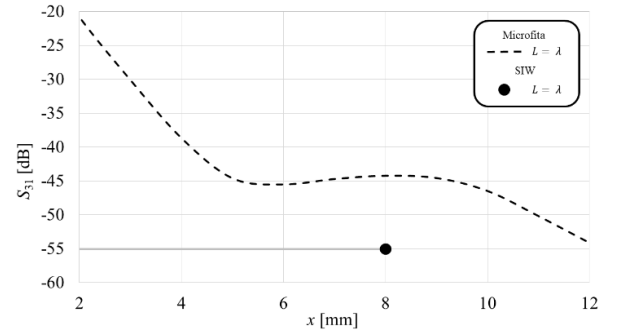


Fig. 9. Projeto de duas linhas de microfita.

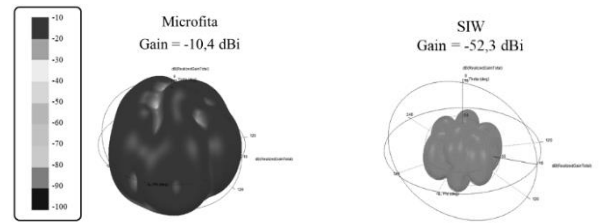


Fig. 10. Acoplamento ao longo da SIW.

Realizou-se uma parametrização da microfita para variação de x , a fim de analisar o acoplamento entre as portas 3 e 1 (S_{31}), considerando $L = \lambda$, sendo λ o comprimento de onda para $f = 26$ GHz. A Fig. 9(a) apresenta os valores obtidos de S_{31} em função de x . Percebe-se que o acoplamento reduz a medida que x aumenta, atingindo o marco de -30 dB para $x = 3$ mm. Considerando $x = 8$ mm, a microfita apresentou nível de acoplamento $S_{31} \approx -45$ dB, enquanto a SIW foi capaz de prover $S_{31} = -55$ dB. Como para o pior caso, a SIW já foi capaz de prover baixo nível de acoplamento, não foram realizadas novas simulações eletromagnéticas para diferentes valores de x , a fim de se reduzir o esforço computacional. A Por fim, foram realizadas investigações quanto a blindagem das linhas eletromagnéticas por meio da irradiação em campo distante. O parâmetro utilizado foi o ganho de irradiação (G). A Fig. 9(b) apresenta o diagrama de irradiação da microfita com valor de ganho $G = -10,4$ dBi, já a Fig. 9(c) apresenta o diagrama de irradiação da SIW com $G = -52,3$ dBi. Tal irradiação corresponde a parcela de energia que poderia interferir com linhas adjacentes e circuitos integrados. Pôde-se perceber que a SIW foi capaz de prover blindagem de aproximadamente 40 dB a mais que a microfita, ou seja, uma blindagem 10 mil vezes mais eficiente, provando seu grande potencial em implementações de mMIMO.



(a) Comparação de S_{31} da microfita com SIW



(b) Blindagem na microfita

(c) Blindagem na SIW

Fig. 11. Comparativa entre microfita e SIW.

IV. CONCLUSÃO

O trabalho apresentou a análise de linhas de transmissão aplicadas a arranjos de antenas massivas baseados em SIW. Fez-se o projeto das linhas de transmissão com a microfita e SIW operando nas faixas de 20 a 30 GHz, a fim de analisar o acoplamento mútuo entre linhas adjacentes. A microfita apresentou acoplamento ao longo do comprimento da linha, o que faz com que seja necessária uma análise de distância mínima entre linhas adjacentes para garantir o nível de acoplamento requerido para cada situação. A SIW, por sua

vez, é capaz de confirmar a onda eletromagnética em seu interior, independente de seu comprimento. Realizou-se análises de acoplamento por meio de parâmetros de espalhamento S e irradiação de onda eletromagnética em campo distante. A linha de microfita apresentou ganho de irradiação de -10,4 dBi, enquanto a SIW apresentou ganho de apenas -52,3 dBi. Ou seja, a SIW apresentou blindagem com nível de aproximadamente 40 dB superior à microfita. Conclui-se o grande potencial das linhas do tipo SIW em minimizar o acoplamento mútuo entre elementos em arranjos massivos de antena, o que se prova como sendo uma solução atrativa em futuros sistemas de comunicações móveis, incluindo o 5G e 6G, operando com a técnica mMIMO. Propõe-se como trabalhos futuros a análise de outras linhas de transmissão e a concepção de um arranjo de antenas massivo baseado em SIW.

REFERÊNCIAS

- [1] A. Ghosh, A. Maeder, M. Baker and D. Chandramouli, "5G Evolution: A View on 5G Cellular Technology Beyond 3GPP Release 15," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 127639-127651, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2939938.
- [2] 3GPP, "5G; Study on Scenarios and Requirements for Next Generation Access Technologies," 3GPP TR 38.913 version 15.0.0 Release 15, 2018.
- [3] M. Giordani, M. Mezzavilla and M. Zorzi, "Initial Access in 5G mmWave Cellular Networks," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 11, pp. 40-47, November 2016, doi: 10.1109/MCOM.2016.1600193CM.
- [4] Z. Pi and F. Khan, "An introduction to millimeter-wave mobile broadband systems," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 49, no. 6, pp. 101-107, June 2011, doi: 10.1109/MCOM.2011.5783993.
- [5] L. Wei, R. Q. Hu, Y. Qian and G. Wu, "Key elements to enable millimeter wave communications for 5G wireless systems," in *IEEE Wireless Communications*, vol. 21, no. 6, pp. 136-143, December 2014, doi: 10.1109/MWC.2014.7000981.
- [6] E. G. Larsson, O. Edfors, F. Tufvesson and T. L. Marzetta, "Massive MIMO for next generation wireless systems," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 2, pp. 186-195, February 2014, doi: 10.1109/MCOM.2014.6736761.
- [7] S. Wang, W. Li and J. Lei, "Physical-layer encryption in massive MIMO systems with spatial modulation," in *China Communications*, vol. 15, no. 10, pp. 159-171, Oct. 2018, doi: 10.1109/CC.2018.8485478.
- [8] Lizhong Zheng and D. N. C. Tse, "Diversity and multiplexing: a fundamental tradeoff in multiple-antenna channels," in *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 49, no. 5, pp. 1073-1096, May 2003, doi: 10.1109/TIT.2003.810646.
- [9] S. Sun, T. S. Rappaport, R. W. Heath, A. Nix and S. Rangan, "Mimo for millimeter-wave wireless communications: beamforming, spatial multiplexing, or both?," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 12, pp. 110-121, December 2014, doi: 10.1109/MCOM.2014.6979962.
- [10] M. C. Tan, M. Li, Q. H. Abbasi and M. Imran, "A Flexible Low-Cost Hybrid Beamforming Structure for Practical Beamforming Applications," 2019 *IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT)*, 2019, pp. 1-3, doi: 10.1109/RFIT.2019.8929162.
- [11] Y. Lin, C. Liao, T. Hsieh and W. Liao, "A Novel Beam-Switching Array Antenna Using Series-Fed Slots With PIN Diodes," in *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 16, pp. 1393-1396, 2017, doi: 10.1109/LAWP.2016.2639046.
- [12] D. Digdarsini, M. Kumar and T. V. S. Ram, "Design & hardware realization of FPGA based Digital Beam Forming system," 2016 *3rd International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)*, 2016, pp. 275-278, doi: 10.1109/SPIN.2016.7566703.
- [13] R. Yang, Y. Chang, S. Liu and D. Yang, "System Layer Evaluation of Imperfect Adaptive Beam-Forming Antenna for Mixed Services in the I.T.F. TDD Svstem," 2010 *IEEE 71st Vehicular Technology Conference*, 2010, pp. 1-5, doi: 10.1109/VETECs.2010.5493765.
- [14] L. Li, W. Hong, P. Chen, Y. Zhang, Z. Chen and W. Yang, "A planar active antenna array for hybrid phased array-MIMO system," 2014 *IEEE International Wireless Symposium (IWS 2014)*, 2014, pp. 1-4, doi: 10.1109/IEEE-IWS.2014.6864239.
- [15] C. Chen, V. Volski, L. Van der Perre, G. A. E. Vandenbosch and S. Pollin, "Finite Large Antenna Arrays for Massive MIMO: Characterization and System Impact," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 65, no. 12, pp. 6712-6720, Dec. 2017, doi: 10.1109/TAP.2017.2754444.
- [16] Y. Gao, R. Ma, Y. Wang, Q. Zhang and C. Parini, "Stacked Patch Antenna With Dual-Polarization and Low Mutual Coupling for Massive MIMO," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 64, no. 10, pp. 4544-4549, Oct. 2016, doi: 10.1109/TAP.2016.2593869.
- [17] M. V. Komandla, G. Mishra and S. K. Sharma, "Investigations on Dual Slant Polarized Cavity-Backed Massive MIMO Antenna Panel With Beamforming," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 65, no. 12, pp. 6794-6799, Dec. 2017, doi: 10.1109/TAP.2017.2748239.
- [18] K. Carver and J. Mink, "Microstrip antenna technology," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 29, no. 1, pp. 2-24, January 1981, doi: 10.1109/TAP.1981.1142523.
- [19] Fan Yang and Y. Rahmat-Samii, "Microstrip antennas integrated with electromagnetic band-gap (EBG) structures: a low mutual coupling design for array applications," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 51, no. 10, pp. 2936-2946, Oct. 2003, doi: 10.1109/TAP.2003.817983.
- [20] P.-S. Kildal, A. U. Zaman, E. Rajo-Iglesias, E. Alfonso and A. ValeroNogueira, "Design and experimental verification of ridge gap waveguide in bed of nails for parallel-plate mode suppression," in *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 5, no. 3, pp. 262-270, 2011.
- [21] F. Gatti, M. Bozzi, L. Perreggini, K. Wu and R. G. Bosisio, "A Novel Substrate Integrated Coaxial Line (SICL) for Wide-Band Applications," 2006 *European Microwave Conference*, 2006, pp. 1614-1617, doi: 10.1109/EUMC.2006.281409.
- [22] M. Bozzi, F. Xu, D. Deslandes and K. Wu, "Modeling and Design Considerations for Substrate Integrated Waveguide Circuits and Components," 2007 *8th International Conference on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services*, 2007, pp. P-VII-P-XVI, doi: 10.1109/TELSKS.2007.4375921.
- [23] Feng Xu and Ke Wu, "Guided-wave and leakage characteristics of substrate integrated waveguide," in *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 53, no. 1, pp. 66-73, Jan. 2005, doi: 10.1109/TMTT.2004.839303.
- [24] JUSTINO RIBEIRO, José Antônio. Engenharia de Microondas: Fundamentos e aplicações. Editora Érica, 1ª edição, 2009.

Gamificação como uma abordagem ao ensino de redes de telecomunicações e segurança cibernética: Telecom Challenge

Luiz F. F. Irineu, Vitória M. Dutra, Francisco A. S. do Carmo, Marcelo O. Marques, Evandro C. Vilas Boas
Laboratório de Cyber Segurança e Internet das Coisas (CS&I Lab.), Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
luizirineu@get.inatel.br, vitoria.dutra@gea.inatel.br, francisco.assis@inatel.br, marcelo@inatel.br, evandro.cesar@inatel.br

Abstract—This article presents the Telecom Challenge project on gamification to teach fundamental telecommunications networks and cybersecurity principles. This innovative methodology engages students, developing skills and competencies in the related area. The Telecom Challenge project is based on a Capture the Flag (CTF) style competition, where students must solve challenges presented through an online platform assertively in the shortest possible time. The projects second edition brought together around 250 students from Minas Gerais, São Paulo, and Rio de Janeiro secondary and technical schools.

Index Terms—Teaching, cyber security, gamification, innovation, Telecommunication.

Resumo—Esse artigo apresenta o projeto Telecom Challenge - Desafio Hacker desenvolvido com base em gamificação como uma abordagem ao ensino de redes de telecomunicações e cyber segurança. Emprega-se a gamificação aplicada ao ensino tradicional como forma de desenvolvimento de metodologias inovadoras, buscando estimular a participação de alunos em diversas atividades para desenvolver habilidades e competências na área correlata. O projeto Telecom Challenge baseia-se em uma competição estilo *Capture the Flag* (CTF) em que alunos devem solucionar desafios por meio de uma plataforma online de forma assertiva e no menor tempo possível. Em sua segunda edição, o projeto reuniu cerca de 250 alunos de escolas de ensino médio e/ou técnico dos estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro.

Palavras chave—Ensino, cyber segurança, gamificação, inovação, Telecomunicações.

Portanto, o Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel), por meio da Coordenação de Engenharia de Telecomunicações e Núcleo de Relacionamento de Colégios, desenvolveu o projeto Telecom Challenge – Desafio Hacker. Esse projeto tem como objetivo disseminar o conhecimento na área de redes de telecomunicações e cyber segurança por meio de uma competição para alunos de ensino médio e/ou técnico de escolas públicas e particulares. Estrutura-se o evento em fase preparatória, onde os alunos recebem materiais didáticos, conteúdo audiovisual e tutoria no aprendizado de aspectos relacionados a redes de telecomunicações e cyber segurança. Em uma segunda etapa, tem-se o desenvolvimento de uma competição que visa reforçar o aprendizado por meio de jogos em grupos e individuais em uma plataforma on-line. Além disso, o projeto também contribui para a instrução desse público sobre boas práticas em segurança cibernética, refletindo em seu desenvolvimento pessoal e profissional.

Esse trabalho apresenta um panorama geral do projeto Telecom Challenge - Desafio Hacker e encontra-se estruturado em quatro seções. Na Seção II, apresentam-se os conceitos básicos em telecomunicações e segurança cibernética, que são abordados na competição. Discutem-se a estrutura e etapas do projeto Telecom Challenge na Seção III. Assim como, apresenta-se a plataforma de competição online. Conclusões e comentários finais encontram-se na Seção IV.

I. INTRODUÇÃO

A gamificação ou *gamification* é uma prática que utiliza elementos de jogos como ferramentas de engajamento para atingir determinado objetivo em diversas áreas como, por exemplo, a educação ou negócios [1]. No ensino, essa prática tornou-se útil para o engajamento e aprendizado de jovens e adolescentes devido ao seu alto potencial em despertar interesse, estimular o trabalho em equipe, desenvolver criatividade e autonomia, promover diálogo e um *feedback* instantâneo do aprendizado [1, 2]. Aplicam-se jogos como metodologias para o aprendizado, tornando a assimilação de conteúdo prazerosa e intuitiva. Essa prática encontra-se em evidência e desenvolvimento, dado o contexto atual, em que o acesso à dispositivos eletrônicos têm-se popularizado. Dessa forma, a realização de competições tecnológicas, relacionadas as mais diversas áreas, visa motivar o aluno, tornando-se um meio para o aprendizado e popularização do conhecimento correlato. Esses eventos também permitem a inclusão social de jovens e adolescentes à um mundo cada vez mais digitalizado.

II. FUNDAMENTOS EM TELECOMUNICAÇÕES E CYBER SEGURANÇA

No projeto, abordam-se como conteúdos quatro temas macro: introdução às telecomunicações, introdução as redes de computadores, conceitos básicos de protocolos de rede, redes Ethernet e WiFi e fundamentos de segurança cibernética. Em introdução às telecomunicações, discutem-se os princípios e elementos básicos de uma telecomunicação, tipos de telecomunicação e meios físicos. Esse conhecimento é base para a compreensão dos módulos posteriores.

Em introdução as redes de computadores e Internet, apresentam-se os conceitos e elementos básicos, tipos de redes de computadores e classificações, topologias físicas de redes, arquiteturas de redes em camadas (ex.: Modelo OSI - *Open System Interconnection*) e tráfego de informações pela rede [3]. Demonstrem-se os conceitos básicos em protocolos de rede e discutem-se protocolos como DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*), ARP (*Address Resolution Protocol*) e DNS (*Domain Name System*).

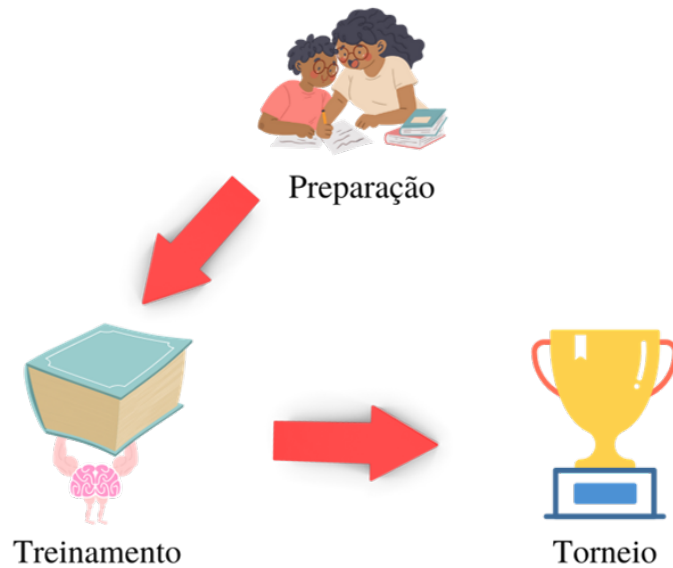


Fig. 1. Estrutura do projeto Telecom Challenge.

Estudam-se as principais características das redes Ethernet e WiFi como forma de demonstrar aos participantes como as redes de telecomunicações estão presentes no dia-a-dia das pessoas garantindo a conectividade à Internet. Por fim, introduzem-se os fundamentos de cyber segurança como seus pilares, os tipos de ataques em que uma pessoa ou empresa esta vulnerável, a definição de *Pentester* e *Ethical Hacker*, finalizando assim o conteúdo programático para que os participantes possam participar da competição [4, 5].

III. PROJETO TELECOM CHALLENGE

Nessa seção descreve-se a estrutura do projeto Telecom Challenge. Assim como, apresenta-se a plataforma de competições online CTFd.io [6]. O projeto Telecom Challenge compreende duas categorias: individual e em grupo.

A. Estruturação

Estrutura-se o projeto em etapas que compreendem a preparação, treinamento e torneio, conforme ilustrado na Fig. 1. A preparação tem como objetivo introduzir os conceitos discutidos na Seção II. Dessa forma, os alunos recebem material didático em formato de apostilas que contemplam quatro capítulos: Introdução às Telecomunicações, introdução as redes de computadores, conceitos básicos em protocolos, redes Ethernet e WiFi e fundamentos de cyber segurança. Além do material didático, ofertam-se cursos em formato online para apresentação e discussão desses assuntos de forma a prover melhor compreensão. Meios audiovisuais como vídeos de curta duração são disponibilizados na plataforma You Tube para que os participantes possam acessá-los e revisar o conteúdo. Ao fim da etapa de preparação, apresentam-se algumas ferramentas de criptografia básica como, por exemplo, cifras de César e texto cifrado. Empregam-se essas ferramentas para a elaboração dos desafios das fases seguintes.

Na etapa de treinamento, oferecem-se competições, em grupos e individual, que tem como objetivo fixar o aprendizado por meio de jogos em uma plataforma on-line que permite a

interação entre os alunos. Durante o treinamento, os alunos tem a oportunidade de conhecer a plataforma e suas diversas funcionalidades, treinar os conhecimentos adquiridos durante a preparação, assim como compreender a dinâmica do torneio. Por fim, estrutura-se um torneio para as categorias individual e em grupo, sendo composto por fases eliminatórias e final. Nas fases eliminatórias, os participantes jogam com o objetivo de acumular pontos para se classificar para a final. Nessa fase, definem-se os ganhadores de cada categoria em uma única competição, respectivamente.

B. Plataforma de competição CTFd.io

Para gamificar o aprendizado dos participantes e estimulá-los a participar das atividades de ensino, utilizou-se a plataforma on-line CTFd.io [6], cuja interface inicial é vista na Fig. 2. Essa plataforma permite a competição em caráter on-line tanto nas categoria individual quanto em grupo, viabilizando a exequibilidade e abrangência geográfica do projeto.

A plataforma baseia-se em competições no estilo *Capture the Flag* (CTF), apresentando ao participante desafios dentro de uma temática, no caso, telecomunicações e segurança cibernética. Para obter a pontuação e o melhor posicionamento no *rank*, deve-se fornecer a resposta de forma correta no menor tempo possível em relação ao início da competição.

Para o projeto, as resposta assumem formatos diversos para trabalhar de forma alusiva aspectos de cyber segurança. Dessa forma, exploram-se as funcionalidades *case sensitive* e *case insensitive*. A primeira permite restringir o formato da resposta pela diferenciação de maiúsculas e minúsculas. Já o segundo tipo não faz nenhuma distinção. No contexto do projeto, manipulam-se as respostas por meio de ferramentas básicas de criptografia disponíveis online. A plataforma também permite ofertar dicas para a solução dos desafios ao custo de uma parcela da pontuação acumulada. Logo, estimula-se, além de conhecimentos técnicos, outras competências como a administração de recursos e riscos, inerentes aos projetos de engenharia.



Fig. 2. Plataforma CTFd.io utilizada no projeto Telecom Challenge.

C. Público-alvo e edições do Telecom Challenge

O projeto Telecom Challenge tem como foco alunos de ensino médio e técnico de escolas públicas e particulares do Brasil e encontra-se em sua segunda edição. Na primeira edição, o projeto reuniu cerca de 130 alunos nas categorias individual (92 participantes) e em grupo (60 participantes). Na segunda edição, 250 alunos se inscreveram, sendo 118 participantes na categoria individual e 173 na categoria em grupo. Observa-se aumento na captação de participantes, oriundo da disseminação da competição por membros que participaram da primeira edição e maior engajamento das escolas em agregar o projeto ao calendário letivo.

IV. CONCLUSÃO

Esse trabalho apresentou o projeto Telecom Challenge, como um exemplo de gamificação dos estudos relacionados às telecomunicações e segurança cibernética. Demonstrou-se a estrutura desenvolvida com base em três etapas: capacitação, treinamento e competição. Verificou-se que a gamificação desempenhou importante papel no engajamento dos participantes, comprovando-se um método eficaz para disseminação de conhecimentos em Telecomunicações e Engenharia à alunos de escolas públicas e particulares da região sudeste do Brasil. Como trabalhos futuros, visa-se estruturar as competições em torno de uma temática, permitindo desenvolver uma narrativa (*storytelling*) como forma de aumentar o engajamento dos alunos e atrair maior público.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio na execução das atividades propostas, ao Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel) e ao Laboratório de Segurança Cibernética e Internet das Coisas (CS&I Lab.) por todo o suporte técnico oferecido.

REFERÊNCIAS

- [1] B. V. Tomolei. “A Gamificação como Estratégia de Engajamento e Motivação na Educação”. Em: *Revista Científica do Ensino à Distância (EaD em Foco)* 2.7 (2017), pp. 145–156. DOI: 10.18264/eadf.v7i2.440.
- [2] J. de A. Santos e A. L. C. Freitas. “Gamificação Aplicada a Educação: Um Mapeamento Sistemático da Literatura”. Em: *RENOTE – Revista Novas Tecnologias na Educação* 1.15 (2017), pp. 1–10. DOI: 10.22456/1679-1916.75127.
- [3] J. Kurose e K. Ross. *Redes de computadores e a Internet: Uma abordagem top-down*. São Paulo: Person Education do Brasil, 2013.
- [4] W. Stallings. *Criptografia e Segurança de Redes*. São Paulo: Person Education do Brasil, 2008.
- [5] S. McClure, J. Scambray e G. Kurtz. *Hackers expostos: segredos e soluções para a segurança de redes*. Porto Alegre: Bookman, 2014.
- [6] CTFd. *CTFd: The Easiest Capture the Flag Platform*. . [Online]. Disponível em: <https://ctfd.io/features/>. Acesso: 17.08.2021.

Análise numérica de estruturas eletromagnéticas utilizando *scripts* em Python

Beatriz B. Assis, Elyce M. G. de Lima, Antonio A. F. Junior, Evandro C. Vilas Boas
Laboratório de Cyber Segurança e Internet das Coisas (CS&I Lab.), Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
beatriz.bastos@get.inatel.br, elyce.maria@get.inatel.br, antonioa@inatel.br, evandro.cesar@inatel.br

Abstract—This work presents a qualitative study on numerical analysis of electromagnetic structures using Python scripts. The EMPro electromagnetic analysis tool from Keysight is used with Python scripts to build up a microstrip transmission line three-dimensional model and analyze it. Concepts related to electromagnetism, aspects of the Python programming language, design procedures, such as calculations, selection of numerical methods, and definition of boundary conditions are discussed. The script's numerical results are compared with those obtained from direct user interaction through the human-machine interface. The approaches are equivalent, with easy reproduction of numerical analysis by direct execution of the Python scripts. Meanwhile, direct human-machine interaction requires a longer reproduction time, sensitive to human subjectivity.

Index Terms—Electromagnetism, EMPro, numerical methods, Python, electromagnetic simulation.

Resumo—Este trabalho apresenta um estudo qualitativo sobre análises numéricas de estruturas eletromagnéticas utilizando *scripts* em linguagem Python. Emprega-se a ferramenta de análise eletromagnética EMPro da empresa Keysight e aplicam-se *scripts* em Python para a construção do modelo tridimensional e análise de uma linha de transmissão impressa. Abordam-se conceitos relacionados ao eletromagnetismo, aspectos da linguagem de programação Python, procedimentos de projeto, tais como cálculos, seleção de métodos numéricos e definição de condições de contorno. Comparam-se os resultados numéricos obtidos por meio de *scripts* com aqueles oriundos da interação direta do usuário pela interface homem-máquina. Verificam-se equivalência entre as abordagens e a fácil reprodução da análise numérica pela execução direta dos *scripts* em Python. Enquanto, a interação direta homem-máquina exige maior tempo de reprodução, sendo susceptível a subjetividade humana.

Palavras chave—Eletromagnetismo, EMPro, métodos numéricos, Python, simulação eletromagnética.

I. INTRODUÇÃO

A simulação computacional tornou-se uma ferramenta importante para o desenvolvimento de produtos no âmbito da Engenharia. A Engenharia assistida por simulação ou Engenharia assistida por computador (CAE, *Computer Aided Engineering*) fornece meios computacionais que possibilitam a análise e exploração de soluções distintas para um determinado problema, reduzindo custos durante o desenvolvimento de um projeto. Quando comparada ao uso de CAD e análise convencional e testes de protótipos, a simulação computacional concentra as alterações de um projeto nas fases iniciais, reduzindo a construção sequencial de protótipos ou provas de conceito. Essa ferramenta proporciona maior assertividade na fase de prototipagem e validação mediante processos de otimização. Dessa forma, obtêm-se baixo custo de produção e maior rentabilidade.

Dentre as diversas áreas, a simulação computacional possui ampla aplicação em projetos relacionados ao eletromagnetismo [1, 2, 3]. Desenvolvem-se estruturas eletromagnéticas como guias de ondas, antenas e filtros por meio de simulações eletromagnéticas [4]. Os programas de simulação eletromagnética fornecem ferramentas para a construção de modelos numéricos que se assemelham ao produto final, permitindo aplicar diferentes materiais para otimização de resultados. Assim como, utilizam-se processos de otimização para obter resultados ótimos em conformidade com as técnicas de fabricação.

Estruturam-se os programas de simulação em modelagem matemática, implementação numérica ou cálculo de solução, ambiente gráfico e interface homem-máquina. A modelagem matemática compreende o conjunto de equações e fórmulas previamente definidas pelo homem e que modelam os fenômenos naturais, como os eletromagnéticos. O cálculo de solução emprega métodos numéricos que permitem resolver conjuntos de equações e/ou fórmulas para obtenção das soluções, que seriam impossíveis por meios analíticos. O ambiente gráfico proporciona a visualização científica por meio do tratamento das soluções e exibição de resultados. A interface homem-máquina integra as partes supracitadas, tornando-as de fácil acesso ao usuário final.

Dentre os programas de simulação eletromagnética, encontra-se o PathWave EM Design, referenciado como EMPro [5]. Com o aprimoramento dessa ferramenta ao longo dos anos, tornou-se possível empregar a linguagem de programação em Python para a escrita de projetos eletromagnéticos diretamente na ferramenta [6, 7]. Contudo, essa área é pouco difundida entre os profissionais que atuam no desenvolvimento de estruturas eletromagnéticas. Portanto, este trabalho tem por objetivo apresentar um estudo qualitativo sobre análises numéricas de estruturas eletromagnéticas utilizando *scripts* em linguagem Python. Emprega-se a ferramenta de análise eletromagnética EMPro e aplicam-se *scripts* em Python para a construção do modelo tridimensional e análise de uma linha de transmissão impressa. Estrutura-se o trabalho em quatro seções. Na Seção II, discutem-se os princípios e conceitos básicos relacionados a execução de uma simulação eletromagnética. Exploram-se *scripts* em Python na Seção III. Aborda-se a construção do modelo numérico e a simulação de uma linha de transmissão impressa por *scripts*, onde comparam-se os resultados com aqueles obtidos por meio de interação direta do usuário com a interface do EMPro. Conclusões e comentários finais encontram-se na Seção IV.



Fig. 1. Etapas de um processo de simulação.

II. PRINCÍPIOS BÁSICOS EM SIMULAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Um processo de simulação envolve no mínimo seis etapas, conforme estruturado na Fig. 1. Inicialmente, têm-se os cálculos ou decisões preliminares que resultam em uma solução ou modelo inicial. Essa etapa não possui relação direta com os programas de simulação e fundamenta-se nos conhecimentos adquiridos pelo profissional ao longo de sua formação. Com a abordagem inicial, constrói-se o modelo numérico inicial no programa. Atribuem-se materiais para as geometrias e definem-se o método numérico, domínio computacional e condições de contorno. Discretizam-se as geometrias para obtenção da malha inicial, empregando-a para a solução e obtenção de resultados. Em alguns casos, o pré-processamento inclui a adaptação de malha para que ocorra a convergência. Por fim, pós processa-se a solução e extrai-se os resultados, que devem ser interpretados pelo projetista.

As equações de Maxwell correspondem a um sistema de equações diferenciais acopladas, tendo duas funções desconhecidas: os campos elétrico E e magnético H . Definem-se esses campos dentro de um determinado espaço de solução ou domínio computacional e sob condições de contorno, estabelecidas de acordo com o problema em análise. Geralmente, problemas de natureza eletromagnética também envolvem uma fonte de irradiação primária e independente dos campos E e H , do material e do meio. As equações de Maxwell apresentam soluções analíticas apenas para caso simples como, por exemplo, um elemento de corrente infinitesimal. Referenciam-se esses casos como problemas de soluções canônicas. Contudo, grande parte das aplicações reais em eletromagnetismo não se enquadram nessa categoria. Logo, faz-se necessária uma abordagem numérica para solução das equações de Maxwell, resultando no uso de métodos numéricos.

A adequação do método numérico ao problema em análise depende de um conjunto de fatores. Destacam-se limitações da abordagem numérica e a natureza do modelo numérico em relação à aplicação. Os diversos métodos numéricos se diferem quanto a complexidade, demanda por recursos computacionais e domínio de solução. Por exemplo, a densidade de discretização de um método reflete diretamente na precisão da solução do problema, definindo o erro de discretização. Dependendo da aplicação, tem-se maior ou menor tolerância a esse erro, impactando na escolha do método. Por outro lado, a natureza do modelo numérico refere-se ao comportamento previamente determinado pelo problema real e permite definir entre o uso de técnicas numéricas de solução no domínio do tempo ou da frequência. No campo do eletromagnetismo, destacam-se o uso do método de domínio do tempo com diferenças finitas (FDTD, *Finite-difference time-domain*), método dos elementos finitos (FEM, *Finite Element Method*)

e o método dos momentos (MoM, *Method of Moments*) [1, 2, 3].

A. Métodos numéricos

O FDTD emprega a discretização das equações de Maxwell no domínio do tempo para solucioná-las diretamente. Já o FEM e o MoM resolvem as equações de Maxwell indiretamente por meio de suas formas integrais, resultando em uma solução intermediária para determinar as componentes de campo elétrico e magnético. Independentemente do método, a abordagem numérica utiliza a discretização dos campos dentro do domínio computacional como princípio de solução. Dessa forma, obtém-se uma distribuição discreta dentro de uma grade (ou malha) de pontos finitos e calcula-se uma solução para os campos em um determinado ponto discreto desse espaço. O FDTD discretiza uma estrutura dividindo-a em elementos uniformes para a formação da malha. Esses elementos possuem formato quadrado ou retangular para geometrias bidimensionais e formato cúbico para geometrias tridimensionais [1, 2].

O FEM se baseia na solução volumétrica, em que secciona-se o domínio de solução em pequenos elementos triangulares ou tetraedros, referenciados como elementos finitos [1]. Essa abordagem garante flexibilidade e fácil representação de estruturas complexas e domínio de solução durante o processo de discretização. Além disso, o FEM permite a criação de uma malha adaptativa de acordo com as características físicas do problema. Criam-se malhas densas em regiões onde a variação dos campos é maior para obter-se uma solução mais precisa. Em regiões da geometria em que essa variação é menor, aplicam-se malhas com elementos finitos maiores. Essa característica colabora para otimização no uso de recursos computacionais.

O MoM divide a estrutura em diversos segmentos lineares e planos, cujas dimensões são inferiores ao comprimento de onda de interesse [1, 2, 3]. Em seguida, utiliza-se uma função expandida em uma combinação linear de N funções para representar a corrente elétrica desconhecida. Aplicam-se operações matriciais para gerar a equação matricial, solucionando-a para a distribuição de corrente na superfície da estrutura. Emprega-se essa distribuição de corrente para determinar o campo elétrico em um ponto do espaço por meio da contribuição de cada elemento.

B. PathWave EM Design – EMPro e scripts em Python

PathWave EM Design, referenciado como EMPro, é uma ferramenta de simulação eletromagnética 3D da empresa Keysight Technologies [1]. Essa ferramenta permite a análise de desempenho eletromagnético de estruturas 3D em radio-frequência (RF) e micro-ondas. O EMPro possui um ambiente para modelagem de estruturas 3D com a possibilidade de importação/exportação de arquivos CAD. Pode-se realizar as

análises eletromagnéticas por meio do método numérico FEM ou FDTD. Dentre as aplicações do EMPro, citam-se a análise de circuitos integrados, módulos RF com múltiplas camadas, componentes de RF (ex.: conectores), placas de circuito impresso, conectores de alta-velocidade (ex.: HDMI) e antenas. Além disso, emprega-se a ferramenta em análises no campo aeroespacial, de compatibilidade eletromagnética (EMC, *electromagnetic compatibility*) e/ou interferência eletromagnética (EMI, *electromagnetic interference*).

O EMPro possui em sua interface homem-máquina um campo voltado para a programação em linguagem Python, viabilizando a construção de *scripts* para análise de estruturas eletromagnéticas [7]. Existem alguns grupos de comandos necessários para a implementação de *scripts*. Esses comandos encontra-se agrupados em uma biblioteca nativa do programa, a *empro*. Destacam-se comandos usuais como *clear*, que permite limpar qualquer comando escrito anteriormente, assim como geometrias e excitações; *activeProject* para iniciar um novo projeto e validar algumas ações; e *name* para renomear geometrias. Exploram-se esses e outros comandos na Seção III.

III. PROJETO E SIMULAÇÃO DE UMA LINHA DE TRANSMISSÃO IMPRESSA EM SCRIPT PYTHON

Nessa seção, avalia-se qualitativamente a análise de uma estrutura eletromagnética em relação ao uso de *scripts* em Python e interface homem-máquina. Para o estudo, considera-se o projeto de uma linha de transmissão impressa com impedância característica (Z_o) de 50Ω construída sobre laminado dielétrico FR4, cuja espessura (h) e constante dielétrica (ϵ_r) são respectivamente iguais a 1,6 mm e 4,6. Determina-se a largura da microlinha de fita (w) por meio de [4]:

$$\frac{w}{h} = \frac{e^u}{8} + \frac{1}{4e^u} \quad (1)$$

sendo u :

$$u = \frac{Z_o \sqrt{2(\epsilon_r + 1)}}{120} + \frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \right) \left[\ln \left(\frac{\pi}{2} \right) + \frac{1}{\epsilon_r} \ln \left(\frac{\pi}{4} \right) \right] \quad (2)$$

Para o projeto, obteve-se $w = 2,96$ mm. Definiu-se as dimensões do substrato e plano terra em: 40 mm x 20 mm. Aplicaram-se essas dimensões na programação dos *scripts* por meio do ambiente de programação em Python do EMPro denominado de *Scripting* [7]. Para iniciar um projeto no EMPro, empregam-se comandos específicos da biblioteca *empro*, conforme indicado a seguir. Posteriormente, iniciam-se as etapas discutidas na Seção II, conforme visto na Fig 1.

```
1 #Criando um novo projeto:
2 empro . activeProject . clear ()
```

A. Construção da geometria e atribuição de materiais

Para construir geometrias tridimensionais diversas por meio de *scripts*, deve-se criar uma lista de geometrias, como visto na linha 3 do bloco de códigos a seguir. Posteriormente, emprega-se o comando *empro.geometry* e especifica-se a geometria e suas respectivas dimensões. Utilizam-se comandos específicos como *box* para paralelepípedos, *sphere* para esferas, *torus* para toroides, *prism* para prisma, *pyramid* para pirâmides, *cylinder*

para cilindro, *cone* para cone e *helix* para hélices. Após criar a geometria, adiciona-a à lista de geometria do projeto, como demonstra a linha 6. Por conseguinte, atribui-se um material a geometria, cuja inclusão deve ser feita previamente ao projeto, linha 10. Para o exemplo, adicionou-se o material FR4 presente na biblioteca do programa EMPro. Por fim, pode-se renomear a geometria para fins de identificação.

```
1 #Criando o substrato:
2 model = empro . geometry . Model ()
3 model . recipe . append ( empro . geometry . Box ("
4 40 mm", "1.6 mm", "20 mm"))
5 empro . activeProject . geometry . append ( model )
6 #Adicionando o material FR4 ao projeto:
7 empro . activeProject . materials . append (empro .
8 toolkit . defaultMaterial ("FR-4"))
9 #Atribuindo o material FR4 ao substrato:
10 empro . activeProject . geometry [0]. material =
11 empro . activeProject . materials ["FR-4"]
12 #Renomeando a geometria do substrato:
13 parts = empro . activeProject . geometry
14 parts [0]. name = " Substrato "
```

Para os laminados de cobre que representam a linha de transmissão impressa e o plano de terra, utilizam-se geometrias planares. A construção desse tipo de geometria envolve operações com seus respectivos vértices, que formam parâmetros de entradas para comandos específicos da biblioteca *empro*. Utilizam-se algumas funções que podem ser vistas no Apêndice A desse documento. No código a seguir, demonstra-se como definir os vértices dessas geometrias, adicionando-as à lista de geometrias do projeto. Assim como, atribui-se o material cobre à esses laminados.

```
1 #Definindo as dimensoes dos vertices do plano terra:
2 verts = [ (" -20 mm", " -10 mm"), ("20 mm", " -10 mm")
3 , ("20 mm", " 10 mm"), (" -20 mm", "10 mm")]
4 #Criando a geometria do plano terra:
5 wirebody = makePolygon ( verts )
6 sheet = sheetFromWireBody ( wirebody )
7 sheet . name = " Ground "
8
9 #Adicionando a geometria ao projeto:
10 parts . append ( sheet )
11
12 #Adicionando o material cobre ao projeto e
13 atribuindo ao plano terra:
14 mats = empro . activeProject . materials
15 mats . append ( empro . toolkit . defaultMaterial ("
16 Cu") )
17 parts [ -1]. material = mats ["Cu"]
18
19 #Definindo as dimensoes dos vertices da linha de
20 transmissao:
21 verts = [ (" -20 mm", "0 mm"), ("20 mm", "0 mm")]
22 wirebody = makePolyLine ( verts )
23
24 #Parametrizando a espessura da linha e atribuindo o
25 valor calculado:
26 empro . activeProject . parameters . append ( "
27 myWidth", "2.96 mm")
28 model = empro . geometry . Model ()
29
30 #Atribuindo as dimensoes a linha de transmissao:
31 trace = empro . geometry . Trace ( wirebody )
32 trace . width = " myWidth "
33 model . recipe . append ( trace )
34 model . name = " Microstrip "
```

```

30 parts . append ( model )
31
32 #Posicionando a linha de transmissao no topo do
33   substrato:
34 parts [ -1]. coordinateSystem . anchorPoint = (0, 0,
35   "1.6 mm")
36
37 #Adicionando o material cobre ao projeto e
38   atribuindo a linha de transmissao
39 mats = empro . activeProject . materials
40 mats . append ( empro . toolkit . defaultMaterial ( "
41   Cu" ) )
42 parts [ -1]. material = mats [ "Cu" ]
43
44 feed . name = "My Feed " #nomeando a porta
45 feed . definition = empro . activeProject .
46   defaultFeed ()
47 feed . tail = ( "20 mm", 0 , 0 ) #definindo o inicio
48   do vetor
49 feed . head = ( "20 mm", 0 , "+1.6 mm" ) #definindo o
50   inicio do vetor
51 empro . activeProject . circuitComponents . append (
52   feed )
53
54 #Definindo a tensao e impedancia da fonte de
55   excitacao:
56 feedDef = empro . components . Feed ( "My Voltage
57   Source" )
58 feedDef . feedType = "Voltage"
59 feedDef . amplitudeMultiplier = "1 v"
60 feedDef . impedance . resistance = "50 ohm"
61 feed . definition = feedDef

```

A execução do código no Apêndice até a linha 96, permite a construção do modelo numérico tridimensional da linha de transmissão, como visto na Fig 2. Posicionaram-se as geometrias em torno da origem dos eixos de forma simétrica.

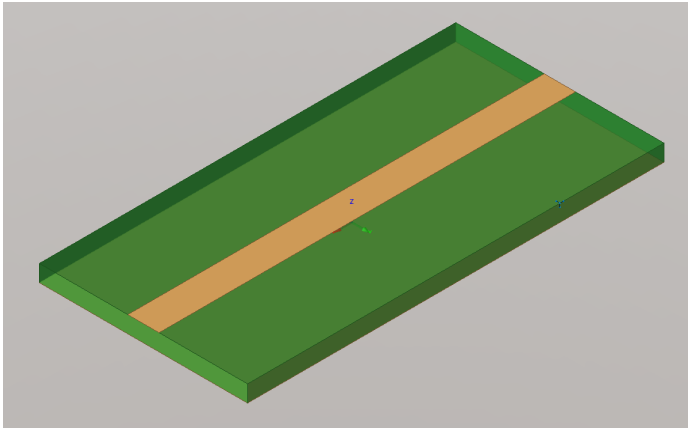


Fig. 2. Geometria da linha de transmissão.

B. Atribuição de excitação

Para reproduzir a excitação em um modelo numérico, utilizam-se de estruturas definidas como excitações. O EM-Pro possui três tipos: *Line Port*, *Sheet Port* e *Wave Port*. Cada excitação possui características peculiares relacionadas a construção e aplicação. Essa discussão não está no escopo desse trabalho e recomenda-se que o leitor consulte [5] para detalhes. No projeto, definiu-se a excitação *Line Port* formada por um vetor, cujas extremidades indicam a diferença de potência entre as geometrias. Posicionaram-se duas excitações nas extremidades da linha de transmissão impressa da Fig 2. No bloco abaixo, definem-se os principais comandos para acrescentar as excitações ao longo da geometria. Em seguida, definem-se a tensão e a impedância dessas fontes de excitação.

```

1 #Adicionando excitacoes:
2
3 #Line port 1
4 feed = empro . components . CircuitComponent ()
5 feed . name = "My Feed " #nomeando a porta
6 feed . definition = empro . activeProject .
7   defaultFeed ()
8 feed . tail = ( "-20 mm", 0 , 0 ) #definindo o inicio
9   do vetor
10 feed . head = ( "-20 mm", 0 , "+1.6 mm" ) #definindo o
11   inicio do vetor
12 empro . activeProject . circuitComponents . append (
13   feed )
14
15 #Line port 2
16 feed = empro . components . CircuitComponent ()

```

C. Definição de método numérico e execução da simulação

Após construir a geometria do modelo, atribuir materiais e excitações, tem-se um modelo numérico apto a execução da análise numérica. Logo, deve-se incluir os comandos relacionados à definição do método numérico e seus parâmetros de análise. Para este trabalho, selecionou-se o FEM. No bloco de códigos abaixo, definem-se os parâmetros necessários para a execução da análise numérica pelo FEM: tipo de análise (adaptativa), frequências mínima e máxima da faixa de análise (1 à 10 GHz), quantidade de pontos de discretização (101), abordagem da solução (Direta) e operação de malha (auto adaptativa). Por fim, inicia-se a simulação. No código apresentado no Apêndice, acrescentaram-se linhas de códigos que permitem identificar e avisar ao usuário quando a simulação numérica encerrou.

```

1 #Iniciando a simulacao e configurando parametros
2 simSetup = empro . activeProject .
3   simulationSettings
4
5 simSetup . engine = "FemEngine" #selecionando o
6   metodo FEM
7
8 freqPlans = simSetup . femFrequencyPlanList ()
9 freqPlans . clear ()
10
11 plan = empro . simulation . FrequencyPlan ()
12 plan . type = "Adaptive" #tipo de analise
13 plan . startFrequency = " minFreq " #frequencia
14   minima de analise
15 plan . stopFrequency = " maxFreq " #frequencia
16   maxima de analise
17 plan . samplePointsLimit = 101 #numero de pontos
18 freqPlans . append ( plan )
19
20 params = empro . activeProject . parameters
21 params . setFormula ( " minFreq ", "1 GHz " )
22 params . setFormula ( " maxFreq ", "10 GHz " )
23
24 #Definindo o solver:
25 simSetup . femMatrixSolver . solverType = "
26   MatrixSolverDirect"
27
28 simSetup . femMeshSettings . autoConductorMeshing =
29   True

```

D. Comparação de resultados

Pode-se obter os resultados diretamente do programa por meio de comandos específicos e uma API (*Application Programming Interface*). Nesse caso, utilizou-se a interface homem máquina. Na Fig 3, apresentam-se os parâmetros S para

a linha de transmissão impressa para um modelo construído por meio da interface de usuário em um modelo construído e simulado por meio de comandos em Python, agrupados em *script*. Verifica-se a concordância numérica entre os resultados, validando a abordagem proposta. Destaca-se que o uso de *scripts* em Python permite automatizar o processo de construção e configuração de simulações eletromagnéticas, reduzindo tempo de projetistas na configuração de passos comuns à diversos projetos.

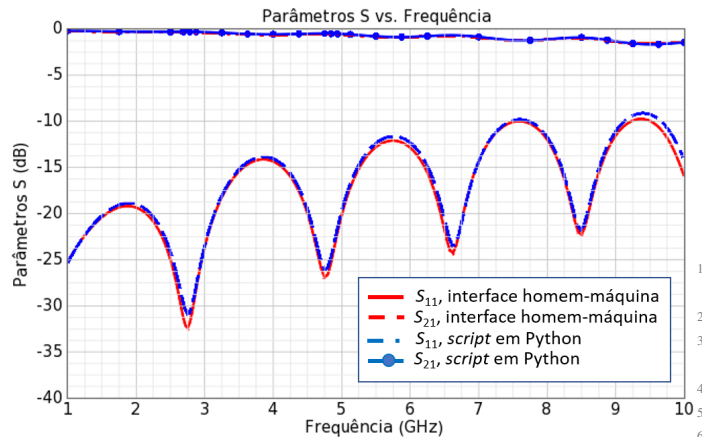


Fig. 3. Parâmetros S para a linha de transmissão impressa.

IV. CONCLUSÃO

Esse trabalho apresentou um estudo qualitativo sobre análises numéricas de estruturas eletromagnéticas utilizando *scripts* em linguagem Python. Para o estudo, empregou-se a ferramenta EMPro da Keysight e desenvolveram-se *scripts* para viabilizar a análise numérica de uma linha de transmissão impressa. Comparam-se os parâmetros S do modelo obtido por meio de *scripts* com aqueles oriundos de um segundo modelo analisado pela interação direta do usuário com a interface da ferramenta. Obteve-se concordância entre as curvas, validando a abordagem e sua adoção na automação total ou parcial de um projeto. Etapas repetitivas como configuração de parâmetros de simulação configuram um exemplo de automação por meio de *scripts* em Python, que podem ser executados após a conclusão das etapas que precedem-na.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio na execução das atividades propostas, ao Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel) e ao Laboratório de Segurança Cibernética e Internet das Coisas (CS&I Lab.) por todo o suporte técnico oferecido.

REFERÊNCIAS

- [1] J. L. Volakis, A. Chatterjee e L. C. Kempel. *Finite Element Method for Electromagnetics*. New York: IEEE Series, 1998.
- [2] A. F. Peterson, S. L. Ray e R. Mittra. *Computational Methods for Electromagnetics*. New York: IEEE Series, 1998, 1998.

- [3] M. N. O. Sadiku. *Numerical Techniques in Electromagnetics*. 2ª ed. New York: CRC Press, 2001.
- [4] J. A. J. Ribeiro. *Engenharia de Antenas: Fundamentos, Projetos e Aplicações*. 1ª ed. São Paulo: Editora Érica, 2012.
- [5] Keysight. *PathWave EM Design (EMPro)*. URL: <https://www.keysight.com/br/pt/products/software/pathwave-design-software/pathwave-em-design-software.html> (acesso em 03/01/2021).
- [6] M. Lie Hetland. *Python Algorithms Mastering Basic Algorithms in the Python Language*. 1ª ed. Apress, 2010.
- [7] Keysight. *Keysight EMPro Scripting Cookbook*. 5ª ed. 2020.

V. APÊNDICE

A. Código final para a construção e simulação de uma linha de transmissão impressa

```

1 #Codigo para simulacao de uma linha de transmissao
  impressa:
2
3 def makePolyLine ( vertices , sketch =None , name =
  None ) :
4
5     """
6     Funcao para conectar os pontos do poligono:
7     - vertices: sequencia de coordenadas (x,y,z) a
8       serem conectadas.
9     - sketch[opcional]: se fornecido, acrescenta uma
10      polyline a ele. Caso contrario, um novo Sketch
11      sera criado.
12     - name[opcional]: nome do sketch.
13     """
14
15     from empro import geometry
16     sketch = sketch or geometry . Sketch ()
17
18     #Enquanto o inicio e o fim da geometria estao
19     dentro dos vertices,adicionam as linhas do
20     esboco
21     if name :
22         sketch . name = name
23     for tail , head in zip ( vertices [: -1] ,
24                             vertices [1:] ) :
25         sketch . add ( geometry . Line (tail , head ))
26     return sketch
27
28 def makePolygon ( vertices , sketch =None , name =
29     None ) :
30
31     """
32     Funcao para criar o poligono.
33     A Polilinha retorna o vertice das extremidades
34     do poligono,seu esboco e nome
35     """
36
37     return makePolyLine ( vertices + vertices [:1] ,
38                           sketch = sketch , name = name )
39
40 def sheetFromWireBody ( wirebody , name = None ) :
41
42     """
43     Funcao para criar Sheet Body cobrindo a Wire
44     Body.
45     Um novo modelo retornado.
46     Wirebody e clonado para que o original nao seja
47     danificado .
48     """
49
50     from empro import geometry
51     model = geometry . Model ()
52     #Na receita da geometria cria um clone da wirebody
53     , pois eh necessario ter nas duas tampas
54     model . recipe . append ( geometry . Cover (
55         wirebody . clone ()))
56     model . name = name or wirebody . name
57     return model

```

```

39
40
41 #Criando um novo projeto:
42 empro . activeProject . clear ()
43
44 #Criando o substrato:
45 model = empro . geometry . Model ()
46 model . recipe . append ( empro . geometry . Box ("
47     40 mm", "1.6 mm", "20 mm"))
48 empro . activeProject . geometry . append ( model )
49
50 #Adicionando o material FR4 ao projeto:
51 empro . activeProject . materials . append (empro .
52     toolkit . defaultMaterial ("FR-4"))
53
54 #Atribuindo o material FR4 ao substrato:
55 empro . activeProject . geometry [0]. material =
56     empro . activeProject . materials ["FR-4"]
57
58 #Renomeando a geometria do substrato:
59 parts = empro . activeProject . geometry
60 parts [0]. name = " Substrate "
61
62 #Definindo as dimensoes dos vertices do substrato:
63 verts = [( " -20 mm", " -10 mm"), ("20 mm", " -10 mm")
64     , ("20 mm", " 10 mm"), (" -20 mm", "10 mm")]
65
66 #Criando a geometria do plano terra:
67 wirebody = makePolygon ( verts )
68 sheet = sheetFromWireBody ( wirebody )
69 sheet . name = " Ground "
70
71 #Adicionando a geometria ao projeto:
72 parts . append ( sheet )
73
74 #Adicionando o material cobre ao projeto e
75     atribuindo ao plano terra:
76 mats = empro . activeProject . materials
77 mats . append ( empro . toolkit . defaultMaterial ("
78     Cu") )
79 parts [ -1]. material = mats ["Cu"]
80
81 #Definindo as dimensoes dos vertices da linha de
82     transmissao:
83 verts = [( " -20 mm", " 0 mm"), ("20 mm", " 0 mm")]
84 wirebody = makePolyLine ( verts )
85
86 #Parametrizando a espessura da linha e atribuindo o
87     valor calculado:
88 empro . activeProject . parameters . append ("
89     myWidth", "2.96 mm")
90 model = empro . geometry . Model ()
91
92 #Atribuindo as dimenses ao substrato:
93 trace = empro . geometry . Trace ( wirebody )
94 trace . width = " myWidth "
95 model . recipe . append ( trace )
96 model . name = " Microstrip "
97 parts . append ( model )
98
99 #Posicionando a linha de transmissao no topo do
100     substrato:
101 parts [ -1]. coordinateSystem . anchorPoint = (0, 0,
102     "1.6 mm")
103
104 #Adicionando o material cobre ao projeto e
105     atribuindo a linha de transmissao
106 mats = empro . activeProject . materials
107 mats . append ( empro . toolkit . defaultMaterial ("
108     Cu") )
109 parts [ -1]. material = mats ["Cu"]
110
111 #Adicionando excitacoes:
112
113 #Line port 1
114 feed = empro . components . CircuitComponent ()
115
116 feed . name = "My Feed " #nomeando a porta
117 feed . definition = empro . activeProject .
118     defaultFeed ()
119 feed . tail = (" -20 mm", 0 , 0) #definindo o inicio
120     do vetor
121 feed . head = (" -20 mm", 0 , " +1.6 mm") #definindo o
122     inicio do vetor
123 empro . activeProject . circuitComponents . append (
124     feed )
125
126 #Line port 2
127 feed = empro . components . CircuitComponent ()
128 feed . name = "My Feed " #nomeando a porta
129 feed . definition = empro . activeProject .
130     defaultFeed ()
131 feed . tail = ("20 mm", 0 , 0) #definindo o inicio
132     do vetor
133 feed . head = ("20 mm", 0 , " +1.6 mm") #definindo o
134     inicio do vetor
135 empro . activeProject . circuitComponents . append (
136     feed )
137
138 #Definindo a tensao e impedancia da fonte de
139     excitacao:
140 feedDef = empro . components . Feed ("My Voltage
141     Source")
142 feedDef . feedType = "Voltage"
143 feedDef . amplitudeMultiplier = "1 v"
144 feedDef . impedance . resistance = "50 ohm"
145 feed . definition = feedDef
146
147 #Iniciando a simulacao e configurando parametros
148 simSetup = empro . activeProject .
149     simulationSettings
150
151 simSetup . engine = "FemEngine" #selecionando o
152     metodo FEM
153
154 freqPlans = simSetup . femFrequencyPlanList ()
155 freqPlans . clear ()
156
157 plan = empro . simulation . FrequencyPlan ()
158 plan . type = "Adaptive" #tip de analise
159 plan . startFrequency = " minFreq " #frequencia
160     minima de analise
161 plan . stopFrequency = " maxFreq " #frequencia
162     maxima de analise
163 plan . samplePointsLimit = 101 #numero de pontos
164 freqPlans . append ( plan )
165
166 params = empro . activeProject . parameters
167 params . setFormula ( " minFreq ", "1 GHz " )
168 params . setFormula ( " maxFreq ", "10 GHz " )
169
170 #Definindo o solver:
171 simSetup . femMatrixSolver . solverType = "
172     MatrixSolverDirect"
173
174 simSetup . femMeshSettings . autoConductorMeshing =
175     True
176
177 #Salvando o projeto:
178 empro . activeProject . saveActiveProjectTo (r"C:\
179     tmp\ linesimulation .ep")
180
181 #Iniciando a simulacao
182 sim = empro . activeProject . createSimulation (
183     True )
184
185 #Comandos para indicar o fim da simulacao:
186 from empro . toolkit . simulation import wait
187 empro . gui . activeProjectView ().
188     showScriptingWindow ()
189
190 print ( " waiting ... ")
191 wait ( sim )
192 print ( " Done !")
193 print (sim . status )

```


IAB and Fiber-based Xhaul for 5G Radio Access Networks

Pedro Augusto da Luz Mota, Ramon Maia Borges
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
pedro.mota@ges.inatel.br, ramonmb@inatel.br

Abstract—This article presents a functional radio access network (RAN) approach for the fifth-generation of wireless systems (5G), combining an integrated access and backhaul (IAB) topology with fiber-based Xhaul. Such technical solutions for network planning are from the 5G phases one and two, respectively, being overlaid into a common physical architecture in the current study. IAB and fiber-based Xhaul are discussed individually, as well as conducted together toward multi-application millimeter-waves deployments.

Keywords—5G, Fiber-based Xhaul, IAB.

I. INTRODUÇÃO

The fifth-generation of wireless systems (5G) has been a hot research topic, which deals with challenging and conflicting usage scenarios toward a broadband evolution followed by new mobile applications [1]. Naturally, the 5G design has been divided in phases. The first one, under deployment, focused on the enhanced mobile broadband (eMBB) scenario and introduced the 5G New Radio (NR) standard according to the 3rd Generation Partnership Project (3GPP) Release 15 [2]. The second 5G phase, driven by the 3GPP Release 16, has been expected to address also the ultra-reliable low latency communication (URLLC) and massive machine type communication (mMTC) scenarios. Such global initiative has proposed technical solutions as industrial Internet of things (IoT), satellite access and NR-based access in unlicensed spectrum (NR-U) [3]. It is worth mentioning the 3GPP Release 17 is under construction, aiming to bring additional improvements to 5G systems.

From the physical layer point of view, the 5G phase 1 has planned the next-generation radio access network (NG-RAN), which shows a promising direction to be centralized due to the imminent increase in the number of base stations (BSs). NG-RAN leads to the fiber-based 5G Xhaul vision and brings the possibility of supporting flexible functional splits into a common physical architecture [4]. In addition, 5G phase 2 recently introduced the integrated access and backhaul (IAB) concept as an alternative to the network planning. IAB is a Release-16 feature toward a multi-hop approach, allowing millimeter-waves (mm-waves) cost-effective deployments without fiber backhaul transport needs. In short, IAB enables broadband radio sites at street level by combining wireless backhaul with 5G NR access [5].

The current work presents an approach in which IAB and fiber-based Xhaul are overlaid into a common physical architecture toward a functional 5G radio access network. To the best of our knowledge, IAB and fiber-based Xhaul have been conducted as alternatives to each other in the literature. Our goal is innovating by reporting a schematic embracing these physical layer solutions in the same network.

Additional contributions refer to the state-of-the-art review of IAB and fiber-based Xhaul, as well as to the designation of potential performance metrics for evaluating the proposed architecture.

The paper is structured in five sections. Section II describes the fiber-based Xhaul concept and reports the advances on this subject. Section III presents an IAB topology and progress on this theme. Section IV concerns the architecture combining IAB and fiber-based Xhaul. Finally, the conclusions and future works are drawn in Section V.

II. FIBER-BASED XHAUL

The centralized RAN (C-RAN), widely implemented in fourth-generation (4G) commercial networks, brings the backhaul and fronthaul concept. C-RAN consists on locating the remote radio unit (RRU) in the cell site and the baseband unit (BBU) in a central unit (CU), which accommodates a BBU pool. The connection between CU and core network is called backhaul, typically deployed using fiber-optic link. The connection between CU and RRU is called fronthaul, a link which can be optical or wireless, although it is mostly based on single mode fiber (SMF). With the physical layer review toward 5G, the fiber-based Xhaul architecture, illustrated in Fig. 1, has emerged. Such topology exploits C-RAN and may introduce a distribution unit (DU), which connects RRU through fronthaul and CU through a new optical link called midhaul. Therefore, Xhaul concerns a physical architecture integrating back-, mid- and fronthaul transport. Mobile access is provided by antennas at the cell site, after these fiber-based transport links. Among the fiber-based Xhaul advantages, one can cite: high capacity, electromagnetic interference immunity; centralization; functional split options [4].

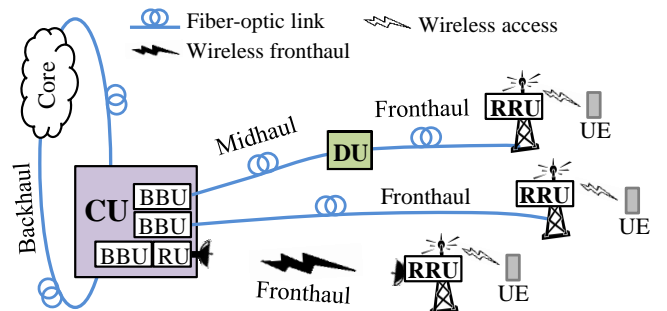


Fig. 1. Fiber-based Xhaul architecture. CU- central unit; BBU- baseband unit; RU- radio unit; DU- distribution unit; RRU- remote radio unit; UE- user equipment.

A. State-of-the-art on fiber-based Xhaul

The state-of-the-art on fiber-based Xhaul includes: advances on radio over fiber (RoF) technology; multiband and hybrid 5G fronthaul solutions; photonically amplified Xhaul. These topics are going to be discussed below.

Radio over fiber technology has been the basis of the fiber-based Xhaul and can be digital or analog [6, 7]. Progress on digital RoF (D-RoF) schemes, which transmit digitized signals through the Xhaul, point out to data compression [8, 9] and use of the enhanced Common Public Radio Interface (eCPRI) as transmitting protocol [10, 11]. The latter one enables to reduce the total throughput required on the fronthaul, typically higher than peak rates achieved in the air. For instance, a 5G remote site with 64x64 multiple-input multiple-output (MIMO) configuration and 100 MHz bandwidth requires 25 Gbit/s in an eCPRI-based fronthaul, whereas using the previous CPRI leads to a 400 Gbit/s data rate requirement in the optical link [11]. Therefore, eCPRI solutions have contributed to a bandwidth-efficient digital fronthaul. Another D-RoF related progress to benefit fiber-based Xhaul is the design of high-capacity small form-factor pluggable (SFP) optical transceivers, which have become available in the market to deal with 100 Gbit/s throughput and beyond [12]. On the other hand, advances on analog RoF (A-RoF), a solution that distributes radiofrequency (RF) signals already in the wireless channel frequency through the optical fronthaul, embrace the use of dual-drive Mach-Zehnder modulators (DD-MZMs) and digital pre-distortion (DPD) [13, 14]. The DD-MZM employment has enabled to reduce the signal-to-noise ratio (SNR) degradation in case of transmitting multiple RF signals simultaneously at the same optical wavelength [13], whereas DPD has efficiently contributed to the link linearization and consequent error vector magnitude (EVM) reduction even for frequencies above 20 GHz [14]. Moreover, artificial intelligence-assisted A-RoF schemes have started to be designed for improving the fronthaul performance. As an example, numerical results reported in [15] indicate the symbol error rate (SER) reduction due to the evolutive computational use in an A-RoF link assuming different modulation orders.

Regarding the multiband fronthaul solutions, they have enabled to simultaneously distribute RF signals in the 5G frequency ranges 1 (FR1: 0.45 – 6.00 GHz) and 2 (FR2: 24.25 – 52.60 GHz). Significant achievements have been reported in [16] and [17], related to the integration of a Brazilian 5G transceiver in a multiband fronthaul, and distribution of the 5G NR standard through this one using A-RoF and wavelength division multiplexing (WDM) overlay, respectively. It is worth mentioning that WDM overlay consists of using one or more specific wavelengths (from 1550 to 1560 nm) on top of passive optical networks (PONs) [18, 19]. It has allowed leveraging the optical infrastructure from Internet service providers for deploying the 5G fronthaul, as reported in [17]. The referred work has presented a three-band fronthaul, transporting a RF signal in the 700 MHz band for long-reach application, the 5G NR standard at 3.5 GHz for outdoor eMBB, and a 26 GHz high-bandwidth (above 100 MHz) RF signal for indoor eMBB. Gbit/s throughput has been achieved with EVM within the 3GPP requirements after fiber-wireless transmission. Additionally, hybrid fronthaul solutions have been designed converging RoF, free space optical (FSO) and wireless links, besides considering the 5G coexistence with 4G [20, 21, 22]. This kind of fronthaul configuration has been shown potential to enable the Xhaul extension for regions where optical fiber cannot be deployed all the way.

Particularly, the research group of the Laboratory WOCA (Wireless and Optical Convergent Access) from Inatel has demonstrated the possibility of enabling RF signal amplification in the optical domain [23, 24]. The innovative approach, which is based on photonics technology and nonlinear optics, has been named as “photonics-assisted amplification (PAA)” and successfully exploited for implementing photonically amplified fiber-based 5G Xhails [25, 26, 27]. The latter ones have met with margin the 3GPP EVM requirements for 5G and provided a power increment of at least 15 dB for baseband and RF signals after photodetection. Such achievement has been shown attractive for bringing robustness to the links or extending the Xhaul reach.

III. INTEGRATED ACCESS AND BACKHAUL (IAB)

IAB differs from fiber-based Xhaul by fully integrating mobile access and wireless backhaul. It is potential to enable very dense mm-waves 5G-NR cells deployment without densifying the transport network proportionately. Fig. 2 presents one of the IAB topologies introduced by 3GPP, structured with one IAB-donor and multiple IAB-nodes [5]. The IAB-donor comprises a logical node in the core network, embracing CUs and DUs entities, which are wired connected. One can note IAB leverages existing entities and additional functions may also be available. Using wireless backhaul, the IAB-donor connects IAB-nodes (IAB mobile terminations - IAB-MTs), which provide mobile access and/or connect other IAB-nodes through backhaul hops. IAB approaches can use in-band or out-of-band backhauling. In case of an in-band scenario, backhaul and access at least partially overlap in frequency, implying that the IAB-node provide both functionalities in a half-duplex way. Assuming out-of-band scenarios, it is employed a radiofrequency for backhauling and another for access. Regarding frequency spectrum, IAB is likely to operate at 4 and 30 GHz, with aggregated system bandwidth (access + backhaul) of up to 100 and 400 MHz (downlink + uplink), respectively. IAB can cover indoor and outdoor applications, as well as mobile relays. A drawback from this approach is the wireless backhaul susceptibility to blockage, fading and self-interference (SI) [28, 29].

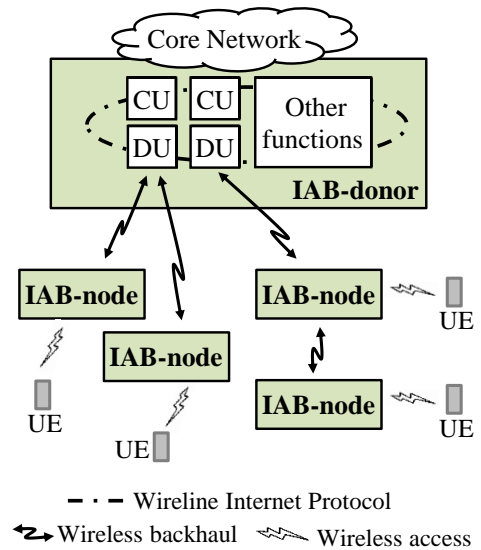


Fig. 2. Topology of integrated access and backhaul. CU- Central unit; DU- distribution unit; UE- user equipment.

A. State-of-the-art on IAB

IAB has been studied by market players and research groups after being introduced by 3GPP. Ericsson, for example, has reported an IAB review from the 3GPP perspective and a proof of concept testbed with two-hop IAB deployment [30]. The results, assuming IAB nodes with either 28 or 39 GHz NR backhaul links, has been considered in accordance with expectations and shown end-to-end peak rates independent of hop level. Nokia has also reported IAB network deployment studies at 39 GHz. The company has investigated the base stations density (nodes per km²) as a function of user equipment (UE) load and demonstrated that IAB requires a number of nodes similarly to an all fiber network in case of lighter loads [31]. Both companies have pointed out IAB as a promising option for deploying mm-waves sites at street level.

Potential and challenges of IAB for mm-waves 5G networks have been described in [28]. The potentials have embraced lower deployment time and costs, as well as lower complexity, compared to the all-wired transport solution. Economic benefits have then been expected with IAB toward mobile network densification. Regarding the challenges, they have included: resources split between access and backhaul, which affects the network performance specially assuming saturated traffic; dealing with the additional access delay from the use of advanced antenna architectures with beamforming and sequential scans; dealing with interference aspects, e.g. for in-band operation.

With respect to the IAB self-interference, a consequence of access and backhaul occurring at the same time-frequency resource, it has been demonstrated through simulations the possibility of mitigating such effect using subarray hybrid precoding structures/baseband digital signal processing (DSP) at the IAB node [29, 32]. Moreover, self-interference cancellations at the level of the antennas and analog circuits have demonstrated to be useful to improve the total SI cancellation, which has achieved 57.8 dB as reported in [33].

Beam sweeping is also within the state-of-the-art on IAB solutions, as reported in [32]. The referred work has proposed the beam sweeping by both base station and user equipment. In case of beam sweeping by BS, the transmit antenna array has been divided into subarrays, which transmit a synchronization signal burst at distinct azimuth and elevation angle of departure. The UE can select then one random beam or perform a selection based on beam measurement and determination, next reporting the beam index to the BS. In case of beam sweeping by user equipment, BS transmits a training signal and UE sweeps the beam to find the optimum azimuth and elevation angle of departure for establishing the mobile communication.

IV. ARCHITECTURE COMBINING IAB AND FIBER-BASED XHAUL

Fig. 3 reports the paper main contribution, i.e. the architecture combining IAB and fiber-based Xhaul, in which these RAN solutions are overlaid. The fiber-based Xhaul ensures key benefits from the fiber-optic communications and can even take advantage of the passive optical networks (PONs) capillarity for its deployment. This allows increasing the network reach, even for mm-waves. Moreover, IAB adds radio sites at street level through the IAB-nodes, which may provide broadband access earlier or where fiber terminations

are not available. Another option is enabling quickly site acquisition for meeting temporary demands. One can note from Fig. 3 the network entities coexist in a functional architecture and can even share facilities toward reduced capital and operational expenditures (CAPEX and OPEX). One can also observe from Fig. 3 that RAN is densified toward a multi-application 5G system, in such a way that a variety of integrated services might be offered accordingly to the network operator needs. Although Fig. 3. presents the IAB donor close to the core network, there is also the possibility of such entity be away and connected to the core through the fiber-optic backhaul. In this case, the network reach may be increased or the number of hops among IAB nodes can be reduced assuming the same last mile.

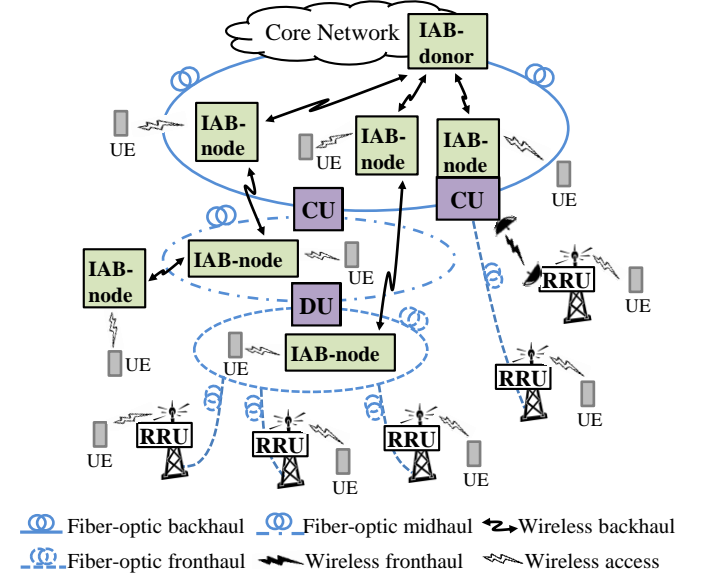


Fig. 3. Architecture combining IAB and fiber-based Xhaul.

Table I summarizes the main IAB and fiber-based Xhaul advantages, which are grouped in an architecture as that from Fig. 3. Drawbacks are also considered. Table II reports some of the performance metrics that has been used to evaluate these RAN technologies, according with the works found in the literature. The referred metrics are options to be used for evaluating the architecture from Fig. 3.

TABLE I
THE MAIN ADVANTAGES AND DRAWBACKS OF IAB AND FIBER-BASED XHAUL

Advantages and Drawbacks	IAB	Fiber-based Xhaul
Advantages	<ul style="list-style-type: none"> - Enables 5G NR cells where fiber terminations are not available. - Deployment time and costs. - Enables mm-waves access at the street level. - Can address wireless coverage gaps to increase de broadband access availability. 	<ul style="list-style-type: none"> - High-capacity. - Electromagnetic interference immunity. - Can be deployed over existing PONs. - Can connect distant RRUs without significant degradation.
Drawbacks	<ul style="list-style-type: none"> - Fading on backhaul. - Self-interference. - High number of nodes for supporting high data traffic. - Limitations on the capacity. 	<ul style="list-style-type: none"> - The need for wired transport link. - Deployment time and costs. - Not economically feasible for temporary demands. - Operational issues in case of failure.

TABLE II
SOME OF THE PERFORMANCE METRICS APPLIED TO IAB
AND FIBER-BASED XHAUL

RAN Technology	Performance Metrics
IAB	<ul style="list-style-type: none"> - UEs throughput as a function of the fraction of IAB donors [28]. - Delay as a function of the fraction of IAB donors [28]. - End-to-end peak rates as a function of hop level [30]. - BSs density as a function of UE load [31]. - SNR as a function of spectral efficiency and SI cancellation [29, 33]. - Bit error rate (BER) [32].
Fiber-based Xhaul	<ul style="list-style-type: none"> - Total data rate on the 5G fronthaul as a function of RoF technology, functional split and radio interface [9, 11]. - Wireless throughput for indoor and outdoor scenarios [17]. - EVM according with the 5G NR requirements [17]. - Symbol error rate (SER) [15]. - SNR assuming the DPD use, DD-MZM use and coexistence of mobile technologies [13, 14, 20]. - RF gain from photonics-assisted amplification [25, 26].

V. CONCLUSIONS

This article presented the view of an architecture combining IAB and fiber-based Xhaul for 5G radio access networks. First, these RAN technical solutions were discussed individually in order to provide an overview about them. A state-of-the-art review regarding fiber-based X-haul indicated the advances on such topic, which points to radio over fiber techniques, multiband and hybrid 5G fronthaul solutions, as well as to photonic amplified Xhaul. Similarly, a state-of-the-art review concerning IAB indicated the progress on such topic, which in turn points to testbeds in the mm-waves band, e.g. at 39 GHz, self-interference cancellation up to 57.8 dB and beam sweeping by both base station and user equipment. Next, we proposed the architecture embracing IAB and fiber-based Xhaul, overlaid into a common physical network. Such architecture merges advantages from these distinct RAN solutions and then shows a promising direction to favor multi-application and mm-waves 5G-NR cells deployment. IAB may contribute to the plug-and-play mm-waves site deployment at the street level, addressing coverage gaps, locations where fiber terminations are not available and temporary events or emergency situations. At the same time, fiber-based Xhaul can ensure high capacity for RRUs benefiting from optical communications features. Therefore, the densified architecture combining IAB and fiber-based Xhaul can be an economically feasible mechanism to quickly provide full coverage. Future works regard the implementation, as proof of concept, of a topology according with that from Fig. 3 and posterior investigations using performance metrics according with Table II.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was partially supported by RNP, with resources from MCTIC, Grant No. No 01245.010604/2020-14, under the Brazil 6G project of the Radiocommunication Reference Center (Centro de Referência em Radiocomunicações - CRR) of the National Institute of Telecommunications (Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel), Brazil. Authors also thank the financial support from CNPq and Finatel.

REFERENCES

- [1] ITU, "Setting the scene for 5G: Opportunities & challenges," *White paper*, 2018.
- [2] S. Parkvall et al., "NR: The new 5G radio access technology," *IEEE Commun. Standards Mag.*, v. 1, pp. 24-30, Dec. 2017.
- [3] J. Peisa et al., "5G evolution: 3GPP Releases 16 & 17 overview," *Ericsson Technology Review*, Mar. 2020.
- [4] C. I. H. Li, J. Korhonen, J. Huang, and L. Han, "RAN Revolution with NGFI (xhaul) for 5G," *J. Lightw. Technol.*, v. 36, pp. 541-550, Jan. 2018.
- [5] 3GPP, "Study on integrated access and backhaul," TR 38.874 v16.0.0 (Release 16), Dec. 2018.
- [6] C. Liu, J. Wang, L. Cheng, M. Zhu, and G. Chang, "Key microwave-photonics technologies for next-generation cloud-based radio access networks," *J. Lightw. Technol.*, vol. 32, no. 20, pp. 3452-3460, Oct. 2014.
- [7] C. Lim, Y. Tian, C. Ranaweera, T. A. Nirmalathas, E. Wong, and K. Lee, "Evolution of radio-over-fiber technology," *J. Lightw. Technol.*, vol. 37, no. 6, pp. 1647-1656, Mar. 2019.
- [8] L. Li et al., "Enabling flexible link capacity for ecpr-based fronthaul with load-adaptive quantization resolution," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 102174-102185, 2019.
- [9] J. G. Santos, "Radio over fibre techniques for backhaul and fronthaul," Ph.D. thesis, Technischen Universität Berlin, Berlin, 2017.
- [10] Ericsson, Huawei, NEC, and Nokia, "Common public radio interface: ecpr interface specification," eCPRI Specification V2.0, pp. 1-109, 2019.
- [11] X. Liu and N. Deng, "Emerging optical communication technologies for 5G," in *Optical fiber telecommunications*, vol. 11. Elsevier Inc, 2020, ch. 17, pp. 751-783.
- [12] Intel, "Intel Silicon photonics products," Available in <https://www.intel.com.br/content/www/br/pt/architecture-and-technology/silicon-photonics/silicon-photonics-overview.html>. Accessed: Aug. 2021.
- [13] L. A. M. Pereira et al., "Implementation of a multiband 5G NR fiber-wireless system using analog radio over fiber technology," *Optics Communications*, vol. 474, May 2020.
- [14] M. Noweir et al., "Digitally linearized radio-over fiber transmitter architecture for cloud radio access network's downlink," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 66, no. 7, pp. 3564-3574, Jul. 2018.
- [15] Arismar Cerqueira S. Jr., L. A. M. Pereira, P. H. F. Santos, R. M. Borges, L. L. Mendes, and C. J. A. Bastos Filho, "Artificial intelligence-assisted radio over fiber system for 5G/6G applications," *Brazilian Journal of Development*, vol. 7, no. 5, pp. 48948-48958, May 2021.
- [16] R. M. Borges et al., "Integration of a GFDM-based 5G transceiver in a GPON using radio over fiber technology," *J. Lightw. Technol.*, vol. 36, no. 19, pp. 4468-4477, Oct. 2018.
- [17] R. M. Borges et al., "DSP-based flexible-waveform and multi-application 5G fiber-wireless system," *J. Lightw. Technol.*, vol. 38, no. 3, pp. 642-653, Feb. 2020.
- [18] N. Cheng, "Flexible TWDM PON with WDM overlay for converged services," *Opt. Fiber Technol.*, vol. 26, pp. 21-30, Dec. 2015.
- [19] A. Shahpari et al., "Real-time bidirectional coherent nyquist UDWDM-PON coexisting with multiple deployed systems in field-trial," *J. Lightw. Technol.*, vol. 34, no. 7, pp. 1643-1650, Apr. 2016.
- [20] C. H. S. Lopes et al., "Non-standalone 5G NR fiber-wireless system using FSO and fiber-optics fronthauls," *J. Lightw. Technol.*, vol. 39, no. 2, pp. 406-417, Jan. 2021.
- [21] R. M. Borges et al., "Integrating optical and wireless techniques towards novel fronthaul and access architectures in a 5G NR framework," *Applied Sciences*, vol. 2021, no. 11, p. 5048, 2021.
- [22] A. O. Mufutau, F. P. Guiomar, M. A. Fernandes, A. Lorences-Riesgo, A. Oliveira, and P. P. Monteiro, "Demonstration of a hybrid optical fiber-wireless 5G fronthaul coexisting with end-to-end 4G networks," *J. Opt. Commun. Netw.*, vol. 2020, no. 12, pp. 72-78, 2020.
- [23] Arismar Cerqueira S. Jr. et al., "Photonic-assisted microwave amplification using four-wave mixing," *IET Optoelectronics*, vol. 10, no. 5, pp. 163-168, 2016.
- [24] A. L. M. Muniz, D. F. Noque, R. M. Borges, A. Bogoni, M. Hirano, and Arismar Cerqueira S. Jr., "All-optical RF amplification toward Gbps communications and millimeter-waves applications," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 59, pp. 2185-2189, 2017.

- [25] E. S. Lima, L. A. M. Pereira, R. M. Borges, and Arismar Cerqueira S. Jr., "5G new radio photonically-amplified Xhaul," *Optical Fiber Technology*, vol. 60, 102358, 2020.
- [26] E. S. Lima, R. M. Borges, L. A. M. Pereira, H. R. D. Filgueiras, A. M. Alberti, and Arismar Cerqueira S. Jr., "Multiband and photonically amplified fiber-wireless Xhaul," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 44381-44390, Mar. 2020.
- [27] R. M. Borges, E. S. Lima, A. C. Ferreira, D. H. Spadoti, L. L. Mendes, and Arismar Cerqueira S. Jr., "Multiband 5G NR system with photonic-assisted RF amplification," *Opt. Lett.*, vol. 45, no. 6, pp. 1539-1542, Mar. 2020.
- [28] M. Polese et al., "Integrated access and backhaul in 5G mmWave networks: potential and challenges," *IEEE Commun. Mag.*, v. 58, pp. 62-68, Mar. 2020.
- [29] J. Zhang, N. Garg, M. Holm, T. Ratnarajah, "Design of full duplex millimeter-wave integrated access and backhaul networks," *IEEE Wireless Commun.*, v. 28, pp. 60-67, Feb. 2021.
- [30] Ericsson, "Introducing integrated access and backhaul," *Ericsson Technology Review*, Jul. 2020.
- [31] A. Ghosh and M. Cudak, "Integrated access and backhaul: Why it is essential for mmWave deployments," Nokia White Paper, Nov. 2020.
- [32] A. Bishnu, M. Holm, and R. Ratnarajah, "Performance evaluation of full-duplex IAB multi-cell and multi-user network for FR2 band," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 72269-72283, May 2021.
- [33] J. K. Ray, S. N. Sur, R. Bera, P. Biswas, S. Sil, and Q. M. Alfred., "Integrated access backhaul node supporting 5G and IoT access," in *IEEE India Council International Conference*, New Delhi, India, 2020.

Pedro Augusto da Luz Mota is currently working toward the B.Sc. degree in software engineering at the National Institute of Telecommunications (Inatel), Santa Rita do Sapucaí, Brazil. He is also a scientific initiation student with Inatel.

Ramon Maia Borges received the B.Sc. and M.Sc. degrees from the National Institute of Telecommunications (Inatel), Santa Rita do Sapucaí, Brazil, in 2012 and 2015, respectively, and the Ph.D. degree from the Federal University of Itajubá (UNIFEI), Itajubá, Brazil, in 2020. He was a researcher for the Radiocommunications Reference Center Project and Lab. WOCA (Wireless and Optical Convergent Access) at Inatel from 2015 to 2021. He is currently a professor with Inatel. His fields of interest include optical communications, wireless systems and microwave photonics.

Otimização dos treinamentos para os iniciantes da equipe de Maratona de Programação do Inatel

Lucas A. Marques
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
lucas.a@gea.inatel.br

Abstract—The present article exhibits the results obtained by the CodeTroopers team throughout the year 2021. These results converge from two work fronts: recruiting new team members and training the main group, both aiming to achieve better placements in official contests. The focus of this Scientific Research is to formulate training and study strategies and modify them based on the freshmen's feedback, in way to find the best methodologies and applying them on the next semesters.

Index Terms—Algorithms, contest, marathon, training

Resumo—O presente artigo exibe os resultados obtidos pela equipe CodeTroopers ao longo do ano de 2021. Esses resultados convergem de duas frentes de trabalho: o recrutamento de novos integrantes à equipe e o treinamento da equipe principal, ambos visando atingir melhores colocações nas competições oficiais. O foco desta Iniciação Científica é elaborar estratégias de treino e de ensino e alterá-las de acordo com o retorno dado pelos novos membros, de forma a buscar as melhores metodologias e aplicá-las nos treinamentos de semestres posteriores.

Palavras chave—Algoritmos, competição, maratona, treinamento

I. INTRODUÇÃO

É impossível imaginar o mundo como conhecemos sem programação. O uso de máquinas e computadores se tornou parte da rotina dos seres humanos, seja para fins de trabalho ou lazer. Com isso, o conhecimento de programação e lógica se tornou indispensável para engenheiros de todas as áreas de atuação.

Empresas de tecnologia são as que mais surgem e crescem no mercado da atualidade, tendo em vista a ampla gama de possibilidades que a programação traz. Um estudo[1] apontou que o número delas praticamente dobrou a cada ano entre 2018 e 2021. Por conta disso, profissionais dessa área são sempre requisitados pelas empresas, e uma das formas de se identificar esses talentos é através das Maratonas de Programação.

Maratonas são competições em equipes que têm por objetivo solucionar o maior número de problemas de programação no menor tempo possível. Existem maratonas criadas por órgãos oficiais, como a Olimpíada Brasileira de Informática (OBI) e as da Sociedade Brasileira de Computação (SBC), mas existem também competições criadas pelas próprias empresas de tecnologia. Exemplos disso são a CodeJam[2], da Google, e a HackerCup[3], do Facebook, ambas com premiação em dinheiro e que abrem oportunidades de trabalho para os melhores colocados.

Com a intenção de participar dessas competições, foi criada em 2013 uma equipe de programação competitiva do Inatel, chamada CodeTroopers. A equipe realiza treinos semanais para estudar novos assuntos e algoritmos que auxiliem nas

competições. Esse treinamento contribui para melhorar a capacidade de raciocínio lógico, otimização e resolução de problemas, além de estimular o trabalho em grupo e a organização do tempo.

Por ser formada por alunos do Inatel, a CodeTroopers precisa constantemente do ingresso de novos integrantes para que ela se mantenha ativa e elegível para as competições. Por isso, os calouros interessados em participar da equipe participam de um treinamento de um semestre, onde aprendem novos códigos, competem em torneios e solucionam problemas para que possam aprender o básico de programação antes de finalmente ingressarem na equipe.

Tendo em vista os bons resultados obtidos em 2020, o projeto de Iniciação Científica foi renovado para 2021 para continuar com o treinamento dos calouros e otimizar o treino da equipe principal.

II. METODOLOGIA DAS AULAS

Os treinamentos de 2021 começaram com um certo atraso em relação ao ano anterior, mas isso não comprometeu o ensino dos conteúdos aos calouros. Além disso, por já terem aprendido boa parte da matéria de Algoritmos I, foi possível acelerar o ensino dos conteúdos mais básicos e aproveitar melhor o tempo de aula.

A. Aulas

Assim como nos anos anteriores, o planejamento das aulas seguiu as mesmas etapas. Com encontros semanais, o treino se iniciava com a resolução de alguns exercícios da aula anterior, seguido por novos conteúdos e novos exercícios propostos. Os alunos podiam tirar suas dúvidas ao vivo e solicitar qualquer ajuda.

O conteúdo planejado para as aulas está indicado na Figura 1.

Os conteúdos abordados nos treinamentos de programação são escolhidos pensando no que é cobrado nas principais competições. Por isso, tanto o ritmo de estudos quanto a quantidade de assuntos são mais intensos do que na disciplina de Algoritmos e Estruturas de Dados. Em Algoritmos I, os alunos aprendem os conceitos básicos, declaração de variáveis, comparadores, operações matemáticas, vetores e matrizes. Já nos treinamentos, esse é apenas o assunto das primeiras aulas: os integrantes aprenderão também sobre cálculo de complexidade, busca binária, teoria de grafos, programação dinâmica e outros assuntos vitais para qualquer competidor.

Os exercícios escolhidos para as aulas foram retirados da plataforma Beecrowd[4], um repositório *online* com mais de

Aula	Dia	Assunto	Conteúdo
1	18/mai	Variáveis indexadas	Vetores e matrizes
2	25/mai	Strings	char, char[] e string; tabela ASCII; operações
3	01/jun	Soma acumulada	Complexidade; soma 1D
4	11/jun	Busca binária	Busca binária em posição; funções: declaração e parâmetros
4.5	12/jun	Contest	Simular primeira fase; problemas antigos (1h30)
III	14 a 16/jun	OBI	Primeira fase OBI
5	22/jun	Funções recursivas + Soma 2D	Resolução de problemas da OBI; BB em resposta; Recursividade, conceito e exemplos
6	29/jun	STL	Vector; pair; set; map; queue; priority_queue
7	06/jul	Grafos	Conceito de grafos; aplicações; DFS
Intensivo	19/jul	Grafos	BFS e Dijkstra
	20/jul	Aplicações de DFS e BFS	Conexidade; contagem de componentes; ciclos; flood fill; floyd-warshall
	21/jul	Árvores	Conceitos; subárvore; diâmetro e centroide; LCA
	22/jul	PD	Conceito; Mochila; Troco
	23/jul	PD	LCS; LIS; num de possibilidades
8	17/ago	SegTree	Soma 2D; SegTree; comentário sobre BIT 1D
9	24/ago	Matemática	MDC; MMC; Crivo de Eratóstenes (Primos)
10	31/ago	Matemática	Arit. modular; fast pow

Fig. 1. Cronograma de aulas

2000 problemas de várias origens, divididos em categorias e nível de dificuldade. Eles eram postados em uma planilha do Google Sheets[5] à qual todos os alunos tinham acesso, para que pudessem marcar aqueles já concluídos e assim houvesse um melhor *feedback* dos alunos. Nessa planilha, indicada na Figura 2, os exercícios foram divididos quanto ao assunto e nível de dificuldade.

Nomes	Vetor					Matriz					Desafio
	Verde	Amarelo	Vermelho	Verde	Vermelho	Verde	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Vermelho	
Leonardo	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	9
Dimitt	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	2
Donatello	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	1
Felipe	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	8
Marcelo	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	2
Bruno	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	7
Francisco	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	1
Henrique	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	4
Breno Rocha	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	2
José Miguel	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	7
Gabriel	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	4
Manuela	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	9
Malu	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	8
Pedro Lucchese	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	2
Fernando	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	6
Vitor Woegel	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	8
Breno Amaral	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	2
Pedro Henrique	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	4
Bernardo	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	4
Igor	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	9
Carlos Alberto Teixeira	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	9
Lida	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	2

Fig. 2. Planilha de exercício

Todas as aulas ocorreram de maneira *online*, a partir da equipe da CodeTroopers na plataforma Teams, a mesma usada pelo Inatel para ministrar suas aulas. Seguindo os resultados obtidos no ano anterior, as reuniões ocorriam ao vivo e ficavam gravadas para que os alunos pudessem rever os conteúdos posteriormente

Dentre os programas utilizados no treinamento, podem ser citados o Beecrowd, Neps Academy[6] e o Graph Editor da CS Academy[7].

B. Contests

Para que um estudante de programação esteja preparado para as competições oficiais, não basta apenas aprender os códigos e conhecer diversos algoritmos. Em um ambiente competitivo, seja presencial ou virtual, os programadores têm de lidar com a pressão do tempo, que na maioria das vezes não é suficiente para solucionar todos os problemas. Além disso, quase todas essas competições são realizadas em equipe, fazendo-se necessário um entrosamento entre os estudantes, boa organização e comunicação.

De modo geral, as competições possuem as seguintes características:

- entre 10 e 14 problemas, não ordenados por nível de dificuldade;
- cerca de cinco horas de duração;
- cada equipe deve possuir três participantes;
- há apenas um computador por equipe, que deverá se organizar para utilizá-lo;
- os competidores podem consultar qualquer material de apoio (livros, cadernos de códigos), exceto equipamentos eletrônicos e a internet.

Assim como em 2020, por causa da pandemia de Coronavírus, as competições ocorreram de forma virtual e as duas últimas regras foram desconsideradas, de forma que os três competidores podiam usar seus próprios computadores e acessar a internet com algumas restrições.

Para que os alunos conhecessem o ambiente de uma competição e se acostumassem a ele, foram montados *contests* nesses mesmos moldes para que os alunos pratiquem os algoritmos e técnicas aprendidos nas aulas. Os *contests* foram pensados inicialmente para se adequarem à OBI e, posteriormente, ao formato padrão de competições.

Para criar esses torneios, foram usadas a plataforma Neps Academy e o Beecrowd como repositórios de problemas.

C. Intensivo de férias

Além das aulas semanais e dos *contests*, se seguiu a tradição de realizar um intensivo de férias após as provas finais dos alunos. Com aulas de manhã e *contests* toda tarde, os novos integrantes da equipe treinaram durante uma semana os assuntos de Grafos, Árvores e Programação Dinâmica.

Diferentemente dos anos anteriores, em 2021 houve uma diminuição na quantidade de horas e de conteúdos ensinados durante esse intensivo. Isso aconteceu tendo em vista a dificuldade dos alunos de memorizar todos os assuntos de uma vez, sem que fossem aprofundados. Assim, a mudança ocorreu para que alguns poucos assuntos mais importantes fossem estudados a fundo, buscando maior compreensão e maior retenção do conhecimento passado.

Em 2021, esse intensivo ocorreu no final de julho e contou com a participação de quatro calouros.

D. Competições oficiais

Os participantes do treinamento, mesmo antes de ingressarem oficialmente à equipe, foram incentivados a se inscreverem nas competições oficiais de programação. Assim, vários alunos participaram da Olimpíada Brasileira de Informática[8] entre os dias 14 e 16 de junho e da Olimpíada de Algoritmos, uma competição interna do Inatel, no dia 26 de junho.

Além dessas duas competições, a equipe CodeTroopers participou da fase regional da Maratona SBC[9] no dia 30 de outubro, onde o Inatel foi representado por dois times de calouros além do time principal.

Os resultados das três competições serão discutidos no próximo tópico.

III. RESULTADOS

Nesta seção, serão discutidos os resultados quanto à participação dos alunos nas aulas e aos seus resultados nas competições.

A. Participação

É importante comentar sobre a diminuição do número de alunos participantes a cada aula. Esta informação pode ser visualizada no gráfico da Figura 3.

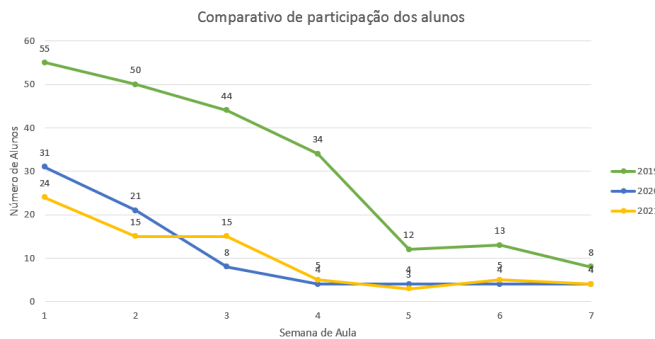


Fig. 3. Comparativo de participação entre 2019 e 2021

Os números foram obtidos através da dedicação dos alunos à resolução de listas de exercícios propostas em cada semana de aula. Aqueles que foram às aulas mas não se esforçaram na resolução de exercícios foram desconsiderados.

Assim como nos anos anteriores, houve uma constante diminuição no número de alunos participantes dos treinamentos, do mesmo modo como em qualquer atividade extracurricular.

No ano de 2019, a queda no número de alunos ocorreu de maneira gradativa, em um ritmo mais lento nas primeiras aulas, e ao final seis alunos foram ingressados à equipe, uma proporção de 10,9% em relação ao número inicial.

Em 2020, a queda ocorreu de forma acentuada, estabilizando logo em seguida e terminando o semestre com quatro novas adições à CodeTroopers, totalizando 12,9%.

Já em 2021, houve dois momentos de queda de participação dos alunos, que foram após a primeira aula e após o primeiro *contest* realizado. Com exceção desses dois momentos, o número de alunos permaneceu constante, e ao final os cinco que se mantiveram até o final foram adicionados à equipe. Foi a maior proporção em relação ao número inicial até então, com 20,8% dos novatos se dedicando até o fim do treinamento.

B. Competições

Apesar da melhora do número de ingressantes em relação ao ano anterior, a participação nas competições não atingiu os mesmos resultados obtidos no ano anterior, ainda que pontos positivos devam ser salientados.

A fase Regional da Maratona SBC resultou novamente na classificação da equipe principal para a modalidade Nacional, que ocorrerá em abril de 2022 em Gramado. Já as outras duas equipes, compostas por iniciantes, não conseguiram solucionar nenhum problema da competição.

Já na OBI, vários alunos participaram da primeira fase da prova, mas, mesmo solucionando mais da metade dos problemas, nenhum se classificou para a segunda fase.

O resultado mais expressivo veio da Olimpíada de Algoritmos do Inatel. Entre as quase quarenta equipes participantes, o primeiro lugar foi para a Cypher, a única a solucionar o problema G, um dos mais difíceis da prova. A equipe era

composta por dois alunos do primeiro período, em que um dos dois era participante dos treinamentos. Outros novatos que participaram da prova também atingiram ótimos resultados.

O placar da competição está mostrado na Figura 4:

#	Who	Penalty	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Cypher ->no practice	7 617	+1	-1		+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
2	no main no gain() ->no practice	6 435	+2			+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
3	Falcon ->no practice	6 573	+2			+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
4	C Mais Menos ->no practice	5 118	+1	-6		+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
5	B&C ->no practice	5 180	+1			+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
6	Balacobabo ->no practice	5 190	+1			+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
7	The solo coder ->no practice	5 210	+1	-8		+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
8	Thomas e Tácio ->no practice	5 277	+1			+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
9	100UH172 ->no practice	5 287	+1	-2		+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
10	Devs de Atencao ->no practice	5 345	+1	-5		+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
11	Masterquest ->no practice	5 375	+1			+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
12	Millennium Falcon C++ ->no practice	5 467	+1			+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
13	Yatagarasu ->no practice	5 518	+1			+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1

Fig. 4. Placar final da Olimpíada de Algoritmos

IV. CONCLUSÃO

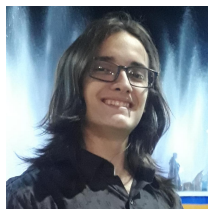
Nos últimos anos, a CodeTroopers tem melhorado seu método de treinamento e, por consequência, atingido melhores resultados nas competições. Ainda que a pandemia tenha mudado o ritmo e forma dos treinos, é importante que esses resultados não se percam ao longo do caminho. Por isso, esta Iniciação Científica é importante para buscar por otimizações e novos integrantes à equipe.

A CodeTroopers não atingiu resultados tão expressivos nas competições como nos anos anteriores, mas o bom desempenho dos alunos nos treinos e na Olimpíada de Algoritmos demonstraram o potencial de crescimento dos ingressantes. Com o retorno das aulas e dos encontros presenciais, o objetivo para 2022 é potencializar o aprendizado dos novatos e dos recém-integrados e levá-los às melhores colocações do placar das competições.

REFERÊNCIAS

- [1] Globo Valor. *Estudo aponta crescimento de empresas de tecnologia*. URL: <https://valor.globo.com/patrocinado/dino/noticia/2022/02/02/estudo-aponta-crescimento-de-empresas-de-tecnologia.ghtml> (acesso em 12/05/2022).
- [2] Google. *Code Jam*. URL: <https://codingcompetitions.withgoogle.com/codejam> (acesso em 12/02/2022).
- [3] Facebook. *Hacker Cup*. URL: <https://www.facebook.com/codingcompetitions/hacker-cup/> (acesso em 12/02/2022).
- [4] Beecrowd. *Beecrowd Onlode Judge*. URL: <https://www.beecrowd.com.br> (acesso em 14/02/2022).
- [5] Lucas Andrade. *Treinamento 2021*. URL: https://docs.google.com/spreadsheets/d/1Ktz5_4AvcaPgmXTSOYkyBSN037A054E_bHCTU0LjnRY (acesso em 14/02/2022).
- [6] Neps Academy. *Neps Academy*. URL: <https://neps.academy> (acesso em 14/02/2022).
- [7] CS Academy. *Graph Editor*. URL: https://csacademy.com/app/graph_editor/ (acesso em 18/02/2022).
- [8] UNICAMP. *Olimpíada Brasileira de Informática*. URL: <https://olimpiada.ic.unicamp.br> (acesso em 18/02/2022).
- [9] Sociedade Brasileira de Computação. *Maratona SBC de programação*. URL: <http://maratona.sbc.org.br> (acesso em 18/02/2022).

AUTOR



Lucas Andrade Marques cursando graduação em Engenharia de Controle e Automação pelo Inatel, técnico em Mecatrônica pela Escola Técnica Pandiá Calógeras (ETPC). Atualmente integrante da equipe CodeTroopers, bolsista do programa de Jovens Talentos e monitor da disciplina Álgebra e Geometria Analítica.

Programação 1.0

Alice Coelho
Guilherme Muniz
Marcelo Henrique Gonçalves da Silva

Anthony Victor
Pedro Piccichelli

Francisco Junior
Tiago Rodrigues

Renzo Paranaíba Mesquita

Abstract— Taking into account the current pandemic scenario, it was possible to note the importance of programming today, because without it, interpersonal contact would not exist in times like this. Therefore, the project had to be adapted in some aspects and some tools were important for this to happen. In addition, there has been a notable increase in the use of the Python programming language in recent years. Because it is an easy-to-learn language, it has been gaining more and more prominence in the market. The article specifies and generally analyzes the activities provided in the year 2021.

Index Terms— Programming, Technology, Python, Teaching, Students.

Resumo— Levando em consideração o cenário pandêmico atual pôde-se notar a importância da programação nos dias atuais, pois sem ela o contato interpessoal não existiria em tempos como esse. Por isso, o projeto teve de ser adaptado em alguns aspectos e algumas ferramentas foram importantes para que isso acontecesse. Além disso, foi notável o aumento da utilização da linguagem de programação Python nos últimos anos, por ser uma linguagem de fácil aprendizado vem ganhando cada vez mais destaque no mercado. O artigo especifica e analisa de forma geral as atividades proporcionadas no ano de 2021.

Palavras Chave— Programação, Tecnologia, Python, Ensino, Alunos.

I. INTRODUÇÃO

Segundo a Brasscom (Associação das Empresas de Tecnologia da Informação e Comunicação), o Brasil forma 46 mil pessoas com perfil tecnológico por ano[1], esse número não é tão animador, pois, a estimativa para 2024 é uma demanda de 420 mil profissionais na área, um número ainda longínquo. Tendo em vista essa necessidade, o ensino de programação vem se mostrando cada vez mais importante para melhor suprir o mercado, e para isso o auxílio de uma linguagem de programação de fácil aprendizagem e técnicas de programação competitiva se mostram aliadas para introduzir os jovens nessa realidade que a era digital traz para os dias de hoje.

É fato que a utilização do Python vem crescendo desde 2018 e em 2020 se tornou a linguagem mais utilizada no mundo[2], o que mostra como sua importância vem aumentando no mercado de programação. Além disso, ela se mostra de fácil aprendizado, trazendo a união de importância e facilidade para que os novos alunos interessados na área de tecnologia, se sintam mais confortáveis ao ingressarem nesse novo ambiente.

Ademais, dentre os métodos de ensino de programação, tem-se a programação competitiva, essa, por sua vez, desenvolve o raciocínio lógico, criatividade, além de estimular a eficiência sob pressão. Para isso, utiliza-se a técnica PBL (Problem Based Learning)[3] se baseia especificamente no aluno, onde o foco principal é a resolução de exercícios, algumas ferramentas facilitam esse processo, como por exemplo o URI online Judge

(atual beecrowd)[4], uma plataforma de correção on-line, que conta com inúmeros exercícios e competições abertas.

Dessa forma, nos últimos dois anos, que foram marcados pela pandemia de covid, o projeto teve de se adaptar para conseguir manter sua eficiência, e os resultados foram além do esperado. Mesmo diante do distanciamento social, o projeto conseguiu se adaptar para conseguir um maior alcance de escolas e um bom número de alunos interessados.

Dentre as novas ferramentas que surgiram com o EAD, a utilização do Discord[5] e do Zoom[6], junto com plataformas que já vinham sendo utilizadas nas edições presenciais, a exemplo do Whatsapp e do Sympla[7], tornaram a comunicação entre monitores e alunos mais fluida e permitiram uma abordagem mais pessoal para as dúvidas dos participantes, garantindo assim um melhor resultado no aprendizado e na permanência dos interessados no projeto.

Sendo assim, o projeto Programação 1.0 mostrou-se como uma iniciativa importante em uma atualidade na qual se caminha para um meio cada vez mais tecnológico. Já que, prepara os jovens que ainda não estão no ensino superior para a futura realidade do mercado de trabalho, utilizando dos melhores métodos de ensino na área, para assim, abastecer o mercado e também instruir essa nova geração de profissionais no mundo da programação.

II. PROGRAMAÇÃO 1.0

O Programação 1.0 completou em 2021 5 anos desde sua criação e consiste em um treinamento de programação voltado para a linguagem Python. O projeto nasceu com o intuito de explorar no ensino médio das escolas a aplicação da programação básica. Desde então foram muitas mudanças e obstáculos ao decorrer dos anos para cumprir as metas estipuladas para que o programa prosperasse.

Após vir acumulando experiências de ensino e testando métodos, no ano de 2020 tudo veio a ficar mais difícil. Pois com a pandemia foi preciso repensar no projeto como um todo para que conseguisse atender os objetivos traçados para o ano que já estava em andamento. Diante do cenário de distanciamento o projeto se reformulou para que tudo acontecesse de forma online, contando com a ajuda de diversas ferramentas que foram se encaixando conforme a demanda. “Dado os devidos fatos, para transmissão das aulas ficou estabelecido que seria utilizada a plataforma de videoconferência Zoom Pro. Em relação a aquisição dos ingressos e inscrição dos interessados, foi utilizada a ferramenta Sympla, permitindo melhor controle do número de participantes e coleta de informações dos alunos. O material de aula foi desenvolvido por meio do Microsoft PowerPoint[8], software o qual também foi empregado para exibição do material. Já para aumentar a interatividade com os

estudantes e afim de testar os conhecimentos teóricos adquiridos no curso foi utilizado uma gameificação do formulário de perguntas e respostas pelo site Quizizz[9]. Para testar os conhecimentos práticos, utilizou-se a plataforma URI Online Judge com o intuito de dispor problemas com soluções computacionais simples como desafio aos estudantes. Para realização da Maratona Anual de Programação do Inatel (MAPI) foi escolhido o site NEPS Academy[10]. O ambiente de desenvolvimento Python adotado pela equipe do Programação 1.0 foi o Repl.it[11] utilizado para compilação do programa de forma online. Como parte do método de ensino foram utilizados vídeos curtos gravados pelos alunos do Programação 1.0 e disponibilizados no YouTube[12], tais vídeos revisam assuntos importantes abordados em aula e resolução de exercícios do URI Online Judge“.[13]

Em 2021 foi aproveitado a maior parte do aprendizado adquirido em 2020 utilizando as mesmas ferramentas para os cursos, já que o cenário se encontrava o mesmo do ano anterior. O ano começou com a inclusão de novos bolsistas que, em primeiro momento receberam o treinamento de Python e logo após seguiu produzindo um novo material didático para que fosse utilizado ao decorrer do ano.

A primeira atuação do Programação 1.0 em 2021 foi aplicar um curso de programação em Python voltado para alunas do Inatel utilizando o material recém-criado, tendo a oportunidade de verificar se estava adequado para uso nas escolas que seriam atendidas.

Os objetivos eram sempre fazer com que os alunos interagissem, e para isso o Programação 1.0 nunca mediu esforços. Foi pensando nisso que no ano de 2021 aprimorou-se as formas de comunicação, tanto entre os bolsistas e os alunos, quanto entre os alunos de diferentes escolas, tornando então um ambiente mais amigável entre todos. Um dos meios de tornar isso possível foi continuar criando os grupos no WhatsApp já implementado no ano anterior e, outro fator que ajudou foi a utilização do Discord, uma ferramenta de comunicação global onde é possível criar diversas formas de interação entre os usuários, tanto por chats de texto quanto por chats de voz. Assim os alunos poderiam entrar em qualquer horário em contato com os bolsistas para sanar dúvidas pelas plataformas.

III. METODOLOGIA

Uma das características mais marcantes do projeto é o dinamismo no qual ele é desenvolvido. Todo o processo de ministrar aulas, executar a aplicação de exercícios e realizar o torneio classificatório ocorre em um período de oito horas em um único dia. Sendo assim, uma vez que o curso tem foco na programação competitiva, a densidade do conteúdo é diluída, com o custo da perda de detalhes, em prol do aumento do tempo hábil para a realização de exercícios.

Em grande parte do sistema de educação público do Brasil, para não dizer em sua totalidade, é utilizada uma metodologia passiva de ensino, isto é, o docente é o protagonista em aulas expositivas em que o estudante apenas assiste. Esse fato é possível uma vez que o tempo disponível para ministrar o conteúdo é abundante e distribuído ao longo de um extenso período, no caso, um ano. Enquanto isso, o Programação 1.0

apresenta um modus operandi oposto, em que o aluno é o protagonista, com aulas que incentivam a prática com exercícios e exemplos, já que o tempo é reduzido. Dessa forma, a principal ferramenta pedagógica do projeto é o modo que a apresentação do conteúdo é feita, utilizando uma metodologia ativa de aprendizagem.

Além da forma de ensino adotada, algumas ferramentas digitais de estudo foram incluídas objetivando a interatividade. A primeira a aparecer no curso é o Replit, um interpretador online de fácil acesso e manuseio, não exigindo nenhum tipo de download ou registro, usado para escrever os scripts e executá-los. A segunda é o Quizizz, usado para a realização de atividades que funcionam como um questionário avaliativo, no qual os alunos competem por pontos obtidos com respostas corretas, dessa forma também introduzindo a ideia de competição entre os alunos. Em seguida, foi apresentado o URI Online Judge, atual beecrowd, que é uma plataforma de correção automatizada de códigos-fonte, onde são realizados exercícios práticos e o torneio classificatório nas escolas. Por fim, já em um segundo momento, durante a MAPI, é usado o NEPS Academy, uma plataforma de correção automática similar à utilizada anteriormente, mas com algumas particularidades ideais para a realização da competição final.

Ao longo do ano, dentre as várias instituições de ensino atendidas pelo projeto, foram notados alguns fatos. Vale dizer que cada um dos bolsistas ministrava aulas com características e ritmos próprios, o que por sua vez evidenciou algumas circunstâncias comuns a cada uma delas. Primeiramente notou-se que, em um curso EAD, a utilização de uma linguagem casual durante as aulas juntamente com a criação de um ambiente descontraído geravam maior engajamento dos estudantes com o conteúdo. Uma hipótese para a ocorrência do fato é que essas práticas evidenciam que quem está do outro lado da tela também é uma pessoa, fato que inconscientemente pode ser perdido pelo discente, uma vez que o tutor se faz presente apenas por uma transmissão em vídeo de sua câmera. Essa situação faz com que o docente perca diversas características de sua forma de se comunicar com o público, por exemplo, não sendo capaz de gesticular durante a explicação. Sendo assim, quando o instrutor mostra um lado pessoal durante processo, sem causar prejuízos a seriedade e ao primor do conteúdo, o estudante tende a se sentir mais interessado pelo curso. Em segundo lugar, foi observado que, diante da opção de utilizar meios de comunicação digitais, sejam canais de voz ou mensagem, os alunos apresentaram maior contato com os bolsistas. Um dos fatores que pode ter contribuído com esse fato é que os discentes poderiam enviar suas dúvidas, perguntas e sugestões a qualquer momento, evitando ser necessário aguardar a próxima aula. Dessa forma, ficou claro que conforme são adicionados diferentes meios de comunicação entre os estudantes e os tutores, a utilização dos mesmos cresce concomitantemente.

IV. RESULTADOS

O Programação 1.0 em 2021, assim como em 2020, sofreu desafios devido à pandemia. O objetivo de atender pelo menos 10 escolas foi alcançado, totalizando 188 alunos. Em 2020, devido ao evento “AGCC (American Girls Can Code)”, o número de inscritos no projeto foi de 221, sendo 147 por parte do evento

e 74 pelos colégios atendidos. Portanto, em 2021, obteve-se um aumento de 154% de alunos das escolas. Confira abaixo o gráfico que representa o aumento de números de estudantes do ano 2020 para 2021.

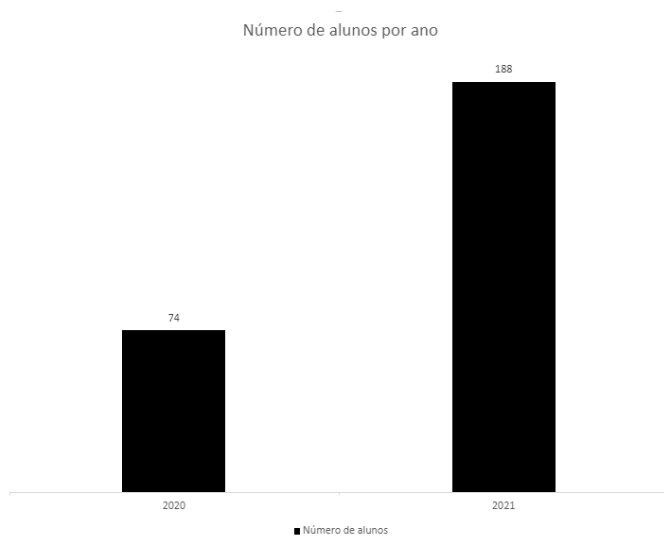


Fig. 1. Número de estudantes por ano.

As escolas atendidas e suas respectivas cidades em 2021 foram: CEJA (Volta Redonda - RJ); Interativo (Volta Redonda - RJ); CEDEC (Campanha - MG); COC SJC (São José dos Campos - SP); COC Sete de Setembro (Poços de Caldas - MG); Batista Mineiro Unidade Floresta (Belo Horizonte - MG); Colégio Europa (Pouso Alegre - MG); Colégio Intelecto (Pouso Alegre - MG); Colégio Objetivo (Pouso Alegre -MG); Colégio Batista Unidades (Betim, Buritis, Ouro Branco, Sete Lagoas, Uberlândia, Vila Mariana e Porto Alegre). Portanto, ao todo foram 16 cidades atendidas de quatro diferentes estados, sendo esses Minas Gerais, São Paulo, Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro.

Em 2021, o número de alunos do gênero masculino aumentou consideravelmente, de 43 em 2020, para 118 em 2021. Isso, fez com que o percentual de participantes do gênero feminino no projeto, caísse de 42% para 37%. Segundo uma pesquisa realizada pela consultoria global de tecnologia Thoughtworks em parte de 2018 e 2019, mostrou que os homens ainda possuem maior atuação e incentivo na área da tecnologia. No total, 68% dos profissionais são homens e apenas 32% mulheres. De fato, o número de mulheres inscritas no Programação 1.0 segue esse padrão.[14]

É importante destacar também que alunos do primeiro ano tiveram mais interesse no projeto. No total, 50% dos inscritos se encontram na primeira série do segundo grau. Segundo uma matéria da Folha de São Paulo, com a volta às salas de aulas presenciais, os alunos estão passando por uma fase de mudança devido à pandemia que ocorre nos últimos anos. Consequentemente, com essa fase de readaptação, os alunos enfrentam maior pressão psicológica. Portanto, vê-se imprescindível a inclusão de alguma atividade extracurricular, pois ajudam os alunos a despertar a criatividade, focar na sala de aula e melhoraram o convívio social, fatores importantes para o desempenho acadêmico segundo a ex-presidente de da Associação Brasileira

de Psicopedagogia (ABPP) Quêzia Bombonato.[15, 16]

V. CONCLUSÃO

No ano de 2021 foi possível observar a notável evolução da equipe do Programação 1.0 ministrando aulas totalmente remotas, tanto na interatividade com os alunos durante as aulas, quanto no atendimento posterior às aulas. Consequente, para amenizar os efeitos das atividades remotas em relação a falta de interatividade, a equipe criou um servidor na plataforma Discord, assim os alunos poderiam entrar em qualquer horário em contato com os bolsistas para sanar dúvidas pela plataforma. Com isso, o Programação 1.0 apresentou resultado significativo, onde apesar do cenário adverso, em que a sociedade foi obrigada a se adaptar a um novo estilo de vida, nosso projeto de Iniciação Científica superou as dificuldades encontradas no período de aulas online, alcançando o total de 213 alunos, sendo 188 graduandos do Ensino Médio, de 16 colégios em 13 cidades distintas, com destaque especial para uma aula ministrada exclusivamente para o público feminino no “Girls in ICT Day” com adesão de 24 alunas, visando atrair mais o público feminino para área da programação.

Por fim, para o ano de 2022 o projeto Programação 1.0, permanecerá com a linguagem Python, porém sofrerá uma nova reformulação para se adequar ao atendimento ao público de forma presencial, seguindo todas as medidas de proteção contra a Covid-19, mas com a mesma ideologia adotada, onde através da comunicação e a técnica PBL de aprendizado a equipe buscará estimular uma adesão dos alunos do ensino médio e tentando sempre atrair o público feminino no curso. Para assim estar cada vez mais próximo dos alunos através de constantes inovações.

REFERÊNCIAS

- [1] CNNBrasil. *Importância da Programação*. URL: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/procurase-busca-por-profissionais-de-ti-com-menos-experiencia-cresce-no-1-sem/#:~:text=Segundo%5C%20a%5C%20Brasscom%5C%20>.
- [2] Tiobe. *A linguagem de programação Python*. URL: <https://www.tiobe.com/tiobe-index/python>.
- [3] IE. *Ensino da Programação competitiva*. URL: <http://www.br-ie.org/pub/index.php/sbie/article/view/8740/6301>.
- [4] beecrowd. *beecrowd*. URL: <https://www.beeecrowd.com.br/judge/en/login>.
- [5] Discord. *Sobre Discord*. URL: <https://discord.com/>.
- [6] Zoom Video Communications Inc. *Sobre Zoom Video Communications*. URL: <https://zoom.us/>.
- [7] SYMPLA INTERNET SOLUC, OES S.A. *Sobre SYMPLA INTERNET SOLUÇÕES S.A.* URL: <https://www.sympla.com.br/sobre-sympla>.
- [8] Microsoft Corporation. *Sobre o PowerPoint*. URL: <https://support.microsoft.com/pt-br/office/o-que-%5C%C3%5C%A9-o-powerpoint-5f9cc860-d199-4d85-ad1b-4b74018acf5b>.
- [9] Quizizz Inc. *Sobre Quizizz Inc.* URL: <https://quizizz.com/about>.

- [10] Neps Academy. *Sobre Neps Academy*. URL: <https://neps.academy/br/about-us>.
- [11] Repl.it. *Sobre Repl.it*. URL: <https://replit.com/languages/python3>.
- [12] YouTube. *Canal do Programação 1.0 no YouTube*. URL: <https://www.youtube.com/channel/UCvZRw7Q0xXRWCvXqVdWs5nQ>.
- [13] Alexandre Mendes de Oliveira, Marcelo Henrique Gonçalves da Silva, Renzo Paranaíba Mesquita, Victória Rocha Brito, Isabela Rezende Barbosa da Silva, Nícollas Evangelista Oliveira, Samuel Mangia Maciel, Luiz Gustavo Domingues de Carvalho, Pedro Piccichelli Carvalho e Sinal Exaucé Mavoungou Nzaou. “Programação 1.0”. Em: *Programação 1.0*. Incitel. Santa Rita do Sapucaí, MG, Brasil: Inatel, 2021, pp. 2–3.
- [14] Mindtek. *Mulheres na TI, dados estatísticos do Brasil*. URL: <https://www.mindtek.com.br/2021/05/mulheres-na-tecnologia-dados-estatisticos-no-brasil/#:~:text=Dentro%5C%20das%5C%20organiza%5C%C3%5C%A7%5C%C3%5C%B5es%5C%2C%5C%20em%5C%2064,%5C%2C%5C%20project%5C%2C%5C%20tester%5C%20e%5C%20design..>
- [15] Folha de S.Paulo. *Volta à sala de aula aumenta pressão por bom desempenho no vestibular*. URL: <https://www1.folha.uol.com.br/educacao/2021/11/volta-a-sala-de-aula-aumenta-pressao-por-bom-desempenho-no-vestibular.shtml>.
- [16] Supera Neuroeducação. *Atividades extracurriculares: como inserir na escola, exemplos e muito mais*. URL: <https://superaparaescolas.com.br/atividades-extracurriculares-como-inserir-na-escola-exemplos-e-muito-mais/>.

Desenvolvimento do Sistema de Realidade Virtual - Esquilo

Mariana Venezian Musto Bassi, João Gabriel da Silva, Juliano Augusto Nascimento Leite

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

mariana.bassi@ges.inatel.br, joao.g@gea.inatel.br, juliano.leite@inatel.br

Abstract—This document presents the development of the scenario called “pre-flight” of the training in Virtual Reality called Esquilo, which is intended to train health professionals to perform rescues in risk areas. The simulation of the first scenario is being developed using Blender and Unity software. The detailed operation of this system is also being described in the User’s Manual.

Index Terms—Training, Unity, Virtual Reality.

Resumo—Este documento apresenta o desenvolvimento do cenário nomeado “pré voo” do treinamento em Realidade Virtual denominado Esquilo, o qual destina-se a capacitação de profissionais da área da saúde ao realizarem resgates em ambientes de risco. A simulação do primeiro cenário está sendo desenvolvida utilizando os softwares Blender e Unity. O funcionamento detalhado desse sistema está sendo descrito no Manual do Usuário.

Palavras chave—Realidade Virtual, treinamento, Unity.

I. INTRODUÇÃO

Treinamentos utilizando Realidade Virtual permitem, por exemplo, profissionais da área da saúde a aprenderem a realizar resgates em variados ambientes adversos, cada qual com suas características, limitações e procedimentos específicos, sem colocar suas seguranças em risco. Isso é possível porque há *software*, como o Unity, que permite o desenvolvimento e geração de simulações do mundo real a partir de objetos em três dimensões (3D). O usuário precisará utilizar um óculos de Realidade Virtual, também conhecido como *headset* para treinar nesse ambiente imersivo e interativo.

Atualmente, existem diversos modelos de *headset*. Há o que precisa de um dispositivo móvel para reproduzir as imagens; o que não precisa do dispositivo móvel, mas que possui apenas a imersão visual, como visto na Figura 1 [1], e um mais completo que também possui a imersão auditiva. Além disso, é possível acrescentar outros acessórios como os controles de mão, Figura 2 [2]. Esses permitem aos usuários interagirem com o ambiente simulado, “pegando” objetos ou selecionando opções do menu. Dessa maneira, a Realidade Virtual torna o aprendizado mais divertido e motivador [3].

Acrescenta-se que, nesses cenários simulados de Realidade Virtual é possível adicionar, modificar e remover facilmente elementos da cena. Consequentemente, permite o desenvolvimento de treinamentos personalizados de acordo com o aluno ou turma e maiores possibilidades de treinamentos em cenários variados.

O projeto Esquilo é um Sistema de Realidade Virtual que simula o treinamento de profissionais da área da saúde em resgate em áreas de risco. Alguns desses salvamentos são realizados com o auxílio do helicóptero. Portanto, esses profissi-



Fig. 1. Oculus Quest 2.



Fig. 2. Controle da mão esquerda do Oculus Quest 2.

onais também precisam aprender os procedimentos específicos para embarcar, permanecer e desembarcar da aeronave. O desenvolvimento desse projeto teve início em 2019. Baseado nisso, definiu-se que o primeiro cenário a ser desenvolvido, utilizando os *softwares* Blender e Unity, é o “pré voo”, o qual será apresentado neste trabalho [3].

II. METODOLOGIA

A primeira cena, denominada de “pré voo”, definiu-se através de reuniões com a equipe do projeto e os futuros usuários do simulador. Essa primeira etapa consiste na aproximação do socorrista pela lateral do helicóptero, precisando respeitar as distâncias de segurança e os sinais do piloto para que o embarque aconteça com segurança.

Em [3], apresentou-se o modelo e as etapas utilizados para a modelagem do helicóptero utilizando o *software* Blender na versão 2.90. Após essa criação, iniciou-se o desenvolvimento do cenário 3D através do *software* Unity na versão 2020.3.11f1. Para esse desenvolvimento, precisou-se inicialmente estudar sobre o programa e suas funcionalidades.

A primeira etapa da criação da cena foi a adição dos objetos. Neste caso, há três elementos principais: *i)* a cidade com o hospital; *ii)* o helicóptero e *iii)* o piloto. Para a cidade, utilizou-se um pacote chamado *Polygon city pack*, com objetos prontos reutilizáveis e pré-configurados, conhecidos como Prefabs. Neste, estão contidos os objetos dos prédios, árvores, placas, hospital, entres outros. Para o helicóptero, utilizou-se a

aeronave modelada em [3]. Para o piloto, também utilizando o Blender, modelou-se o corpo baseado nas proporções reais de um corpo humano do gênero masculino.

A segunda etapa foi a implementação do jogador principal (*Player*). Neste caso, para o treinamento ser com o *headset*, utilizou-se o modelo de jogador FPS (do inglês, *First Person Shooter*), muito utilizado em jogos de tiro [4]. Isto é, um jogador em primeira pessoa que consegue visualizar a cena em 360° e pegar objetos específicos do ambiente ou selecionar opções de menu.

Em seguida, iniciou-se a implementação das animações das i) rotações das hélices, através de códigos na linguagem C# e do *software* Visual Studio 2019 e ii) abertura das portas do helicóptero, por meio do recurso *Animator* do Unity.

Além disso, durante o treinamento, é preciso ter informativos e alertas explicando aos socorristas os procedimentos corretos. Baseado nisso, acrescentou-se em determinados locais da cena, painéis com textos utilizando os recursos de *Box Collider* e UI (do inglês, *User Interface*) junto ao código de C# para ativação dos mesmos.

Na execução do treinamento final será utilizado um óculos de Realidade Virtual. Nesse caso, a movimentação do jogador é realizada através do caminhar do mesmo; a movimentação da cabeça através da movimentação da mesma e a interação com o ambiente, através de um controle de mão. Contudo, para os testes iniciais do sistema, sem o óculos, a movimentação do jogador foi através das setas do teclado; a movimentação da cabeça através do *mouse* e a interação através da barra de espaço.

Por fim, paralelamente ao desenvolvimento do sistema, também está sendo criado o Manual do Usuário descrevendo o funcionamento do treinamento, assim como, um tutorial para a utilização do Unity.

III. RESULTADOS

A criação do primeiro cenário, utilizando o *software* Unity, iniciou-se com a adição da cidade e do hospital, como apresentados nas Figuras 3 e 4. Em seguida, do helicóptero na Figura 5 e por fim, do piloto nas Figuras 6 e 7.



Fig. 3. Cidade adicionada ao cenário.



Fig. 4. Hospital da cidade adicionado ao cenário.



Fig. 5. Helicóptero adicionado ao cenário.



Fig. 6. Piloto modelado no Blender.



Fig. 7. Piloto adicionado ao cenário.

A visão do socorrista no treinamento ao se aproximar do helicóptero é vista na Figura 8. Assim como, o ponto branco referente a mira do jogador.



Fig. 8. Visão do jogador em primeira pessoa.

O aviso referente ao alerta para aguardar o comando do piloto para embarcar no helicóptero é visto na Figura 9.



Fig. 9. Aviso para embarque no helicóptero.

Uma parte do Manual do Usuário é apresentada na Figura 10.



Fig. 10. Parte do Manual do usuário.

Neste primeiro cenário, “pré voo”, o profissional de saúde simula o caminho da saída do hospital até o local onde a aeronave está pousada. Ao chegar nesse local, precisa respeitar uma distância de segurança da aeronave, porque as hélices estão em movimento. Em seguida, aguarda as sinalizações e comunicação do piloto para a aproximação lateral da aeronave. Por fim, embarca no helicóptero, apoiando as mãos e os pés nos locais específicos. Assim, concluídos os procedimentos corretamente, avança para a próxima etapa do treinamento.

Baseado nisso, as hélices em movimento, sinalizações, comunicação com o piloto e os apoios nos locais específicos

da aeronave para o embarque são considerados recursos importantes e sensíveis do treinamento, porque afetam diretamente a segurança do piloto, da equipe socorrista, do paciente e das outras possíveis pessoas no local do resgate. Portanto, o desenvolvimento do sistema está sendo realizado de forma cautelosa e minuciosa a fim de obter uma simulação próxima ao cenário real.

Os resultados obtidos até o momento se encontram satisfatórios. A evolução está progressiva. No sistema em desenvolvimento estão incluídos os principais objetos (hospital, helicóptero e piloto) para a simulação do embarque no helicóptero. Além disso, estão implementadas as animações referentes à abertura da porta da aeronave, rotações das hélices e sinalizações. A próxima etapa é continuar o aprimoramento do primeiro cenário, adicionando novos informativos e animações do piloto. Em seguida, testar o sistema com o óculos de Realidade Virtual. Por fim, revisar e finalizar o Manual do usuário até o primeiro cenário “pré voo”.

IV. CONCLUSÃO

Treinamentos em Realidade Virtual auxiliam na capacitação de profissionais da área da saúde a realizarem resgates em áreas adversas, sem colocar em risco a segurança dos mesmos. Portanto, é um recurso que auxilia na fixação da teoria de uma forma divertida e interativa, assim como, pode ser personalizada para diferentes situações e repetida inúmeras vezes. Nos salvamentos, também pode ser requisitado o transporte de helicóptero, sendo necessário treinamentos de embarque, permanência e desembarque da aeronave. Considerando o primeiro cenário do simulador como o “pré voo” referente ao embarque, desenvolveu-se essa cena utilizando os *softwares* Blender e Unity. A proposta futura é criar novas cenas para simularem outras áreas de riscos, como ambientes com escombros e presença de fogo. Por fim, o Manual do Usuário desse sistema está sendo desenvolvido, no qual descreve os recursos do Unity e os procedimentos para a execução do treinamento.

REFERÊNCIAS

- [1] *QUEST 2*. URL: <https://www.oculus.com/quest-2/> (acesso em 16/02/2022).
- [2] *Quest 2 Left Controller*. URL: <https://www.oculus.com/accessories/quest-2/> (acesso em 16/02/2022).
- [3] J. G. da Silva e J. D. M. da Silva. “Esquilo - Sistema de Realidade Virtual para Capacitação de Enfermeiros em Ambientes de Salvamentos Adversos”. Em: *33º Congresso de Iniciação Cinética do Inatel - Incitel*. Santa Rita do Sapucaí, MG, Brasil, 2021, pp. 5–7.
- [4] URL: <https://assetstore.unity.com/top-assets/top-paid?q=FPS&orderBy=1> (acesso em 2021).

Software de Rastreamento Ocular para Auxílio na Identificação de Crianças com Transtorno do Espectro Autista (TEA)

Isadora Coelho Faggiani, Rita Elizabeth Santos de Almeida, Marcelo Vinícius Cysneiros Aragão, Filipe Bueno Vilela, Eliane Sousa de Oliveira Fernandes, Elisa de Paula Pinto, Walter Luiz Magalhaes Fernandes
isadora.coelho@geb.inatel.br, rita.elizabeth@geb.inatel.br, marcelovca90@inatel.br, filipe.bueno@inatel.br, elianeof_psi@yahoo.com, depaulaelisa05@gmail.com, walterlmfernandes@gmail.com

Abstract—Eye Tracking is one of the techniques used to monitor eyeball movement through an image detection system, usually used in neuromarketing, in order to identify preferences through involuntary movements. This tracking allows researchers to measure how the observer performs eye movement and can be used to address a wide range of applications not only for marketing, but also for possible diagnoses, such as Autistic Spectrum Disorder. Therefore, it was necessary to develop a software capable of helping in the diagnosis of autism in children. This technique must provide clear and precise results, in addition to being easily handled by the professional to analyze the data obtained. Thus, it is noted that as innovative as it may be, the Eye Tracking technique has already been positively manifested, taking its proper place in order to help the technological population in several modern areas.

Index Terms—Autism, detection, diagnosis, eye tracking, innovation

Resumo—O Eye Tracking é uma das técnicas utilizadas para monitorar o movimento do globo ocular por meio de um sistema de detecção de imagem, geralmente utilizado no neuromarketing, a fim de identificar preferências por meio de movimentos involuntários. Esse rastreamento permite que pesquisadores meçam como o observador realiza o movimento dos olhos e pode servir para abordar uma ampla gama de aplicações não somente para marketing, mas também para possíveis diagnósticos, como por exemplo o Transtorno do Espectro Autista. Assim, fez-se necessário elaborar um *software* capaz de auxiliar no diagnóstico de autismo em crianças. Essa técnica, deve apresentar resultados claros e precisos, além de um fácil manuseio do profissional para análise dos dados obtidos. Deste modo, nota-se que por mais inovadora que seja, a técnica do Eye Tracking já vem se manifestando positivamente tomando seu devido lugar a fim de auxiliar a população tecnológica em diversas áreas atuais.

Palavras chave—Autismo, detecção, diagnóstico, eye tracking, inovação

I. INTRODUÇÃO

Rastreamento ocular, do inglês *Eye tracking*, é uma tecnologia que permite o mapeamento do comportamento visual de uma pessoa para saber qual tipo de objeto chama a sua atenção, experiência de leitura de textos, *design* e entre outros [1]. A premissa por trás disso é que quando uma pessoa olha diretamente para um objeto, sua imagem cai sobre a fóvea, a parte da retina especializada pelo processamento visual detalhado. Os olhos, portanto, precisam se mover para inspecionar toda uma cena visual em detalhes. Os principais dados numéricos que um sistema de *Eye Tracking* retorna são:

sacadas, pontos de fixação, tempo de fixação e micro sacadas. As sacadas são os movimentos que os olhos fazem entre dois pontos focais, enquanto os pontos de fixação são justamente estes pontos focais[2].

Assim, é utilizado o *Eye Tracking* como uma ferramenta para possíveis diagnósticos de transtornos mentais, como por exemplo o Transtorno do Espectro Autista (TEA). Pessoas autistas possuem uma dificuldade na comunicação e na interação social e até mesmo na identificação de sentimentos mais complexos em outras pessoas [3]. Visto que pessoas com TEA preferem observar a região da boca à região dos olhos durante uma interação social, dificultando a compreensão das emoções alheias e do contexto social [4]. É importante ressaltar, que as pessoas que possuem o diagnóstico de autismo, possuem uma atenção maior para figuras geométricas e cenas sem presenças de interação social. O uso do rastreamento ocular é visto como uma boa solução em virtude do baixo custo e de seu diferencial em comparação a exames e diagnósticos. Dado que para a realização de alguns procedimentos em crianças é necessário partir para condutas desconfortáveis ou invasivas podendo citar a sedação do paciente para obter o diagnóstico, como por exemplo, ao utilizar a ressonância nuclear magnética [5]. No entanto, o emprego do *Eye Tracking* no Brasil é evidentemente desconhecido pela comunidade médica. De fato, grande parte da população médica brasileira nunca viu ou teve contato com a tecnologia de rastreamento ocular. As causas identificadas para tal dificuldade de incorporação tecnológica estão atreladas à complexidade da técnica, operação pelo profissional da saúde e fidedignidade comparativa das respostas [6].

Tendo consciência da necessidade de uma tecnologia de fácil manuseio e eficácia, foi criado o projeto “Software de Rastreamento Ocular para Auxílio na Identificação de Crianças com Transtorno do Espectro Autista (TEA)”, possuindo como pré-requisitos um dispositivo que seja capaz de monitorar os movimentos oculares por meio de uma câmera que permite detectar a interação do paciente com vídeos pré selecionados que são exibidos para a criança. Deste modo, com o auxílio de um *software*, é feita uma calibração para obter as dimensões da tela em que está sendo realizado o processo e, posteriormente, é realizada a captura das coordenadas referentes a localização da fixação do olhar do paciente na tela em que está sendo

exibido os vídeos. Por final, é executado um escalonamento das coordenadas obtidas na captura em relação as dimensões da tela adquiridas pela calibragem. Após todo esse processo, todos os dados são organizados em um gráfico *heatmap* que aponta as regiões com cores mais quentes onde o usuário fixou mais seu olhar e um outro gráfico tipo *pizza* para analisar a localização da sacada. Com a análise dos resultados obtidos no gráfico é possível obter informações e auxiliar em um laudo médico para ser utilizado como uma espécie de "triagem" para um possível diagnóstico de autismo em crianças.

II. METODOLOGIA

A. O Setup

Antes de começar a idealização do código, foram necessários estudos acerca de tecnologias já existentes voltadas para o rastreamento ocular em pessoas autistas, além de uma busca para a compreensão de dados que poderiam ser analisados e utilizados como base para um possível diagnóstico. Depois de debates com o neuropediatra e a psicóloga responsáveis pela orientação do projeto e ao que seria apresentado para as crianças durante o teste, chegou-se à conclusão de que seriam exibido dois vídeos, sendo um dividindo a tela ao meio, do lado esquerdo é exibidos um vídeo de uma interação social e do lado direito são apresentadas imagens geométricas em movimento. O outro vídeo é composto por uma conversação, representando uma cena do dia-a-dia, como por exemplo uma conversa descontraída. Esse vídeo tem o propósito de analisar para qual região do rosto do orador a criança direcionará seu olhar. Todos esses dados podem ser analisados por meio de gráficos específicos exibidos a partir do rastreio ocular.

B. Captação do movimento

Para a captação de movimento, usa-se o *Python*, uma linguagem *Open-Source* de propósito geral e bastante utilizada por conter uma ampla gama de bibliotecas específicas para engenharia e análise de dados como, por exemplo, *OpenCV*, *Numpy*, *Pandas*, *Seaborn*, dentre outras que auxiliam no seu processamento desde a captação da imagem, quando o programa é iniciado, até no seu processamento final, quando os gráficos são exibidos. Juntamente com o *Python*, utiliza-se a IDE *PyCharm* que fornece aos desenvolvedores ferramentas de conclusão de código e correções rápidas, além da plataforma de edição de código aberto *VS Code*. Para que o *software* processe os dados adequadamente, tem-se vários comandos que são fundamentais. Pode-se citar funções que auxiliam na calibração do programa afim de que ele capte as coordenadas de modo coerente com a realidade, e outras que contribuem na contagem do tempo para que os dados sejam ordenados de forma cronológica com o propósito de exibí-los em gráficos posteriormente.

C. Código

Para um melhor desempenho do *software* a parte de processamento e exibição são divididas em módulos capazes de trabalharem de modo independente e autônomo para que no final todos se juntem e obtenham um único valor que é utilizado para a exibição do gráfico. Assim, o algoritmo é dividido nas seguintes partes:

c.1) calibragem

Para a determinar a direção do rastreamento, primeiramente o paciente passa por uma calibração do programa que permite com que sejam obtidos valores que ajudem a deixar o *software* mais preciso. Deste modo, são apresentados círculos nas extremidades da tela e a criança é orientada a fixar o olhar por determinado tempo até que surja a próxima imagem, como mostra a figura 1, e a calibragem seja encerrada. Esse processo permite que o algoritmo capte o máximo de coordenadas possíveis de cada extremidade e realize o cálculo, a fim de determinar valores específicos que são armazenados em um arquivo *JSON* utilizado na etapa do escalonamento. A criação desse arquivo é muito importante para que não seja necessária a realização da calibragem repetidas vezes visto que os dados ficam armazenados.



Fig. 1. Ponto para calibração. Fonte: Autoria própria

c.2) captura

A próxima fase é destinada à captura das coordenadas captadas pela *webcam* durante a exibição dos vídeos interativos. Esses valores, assim como os da calibragem, também são armazenados em um arquivo *JSON*. Essa etapa dispõe de diversos sistemas lógicos importantes para o funcionamento, como por exemplo a exibição automática do vídeo, bem como seu encerramento e dentre outros fatores que são imprescindíveis no código.

c.3) escalonamento

Nessa parte do algoritmo é realizada a junção dos valores obtidos na calibragem e na captura, escalonando as coordenadas da captura para a faixa de resolução da tela que se encontra dentro do arquivo *JSON*. O escalonamento permite que as coordenadas obtidas pelas sacadas do paciente sejam proporcionais à localização em que se encontram na tela do computador. Assim, os valores obtidos são utilizados para a construção de um gráfico de calor que é utilizado para auxiliar no diagnóstico da criança.

c.4) exibição

A exibição é composta por dois gráficos, sendo um de porcentagem que indica a direção onde a criança olhou na tela (direita ou esquerda), e outro do tipo *Heatmap*. Neste tipo de gráfico, é possível analisar as coordenadas da pupila direita e esquerda e observar as áreas onde houve maior atividade do

usuário. Lateralmente, tem-se uma escala de cores que vai da cor mais quente a cor mais fria de acordo com a intensidade de interação do paciente com aquele lugar específico.

D. Testes realizados

Os testes realizados foram essenciais para o progresso do projeto. Pode-se citar um dos mais importantes, a calibração do programa que consiste em fixar o olhar nas extremidades da tela do computador para que possa observar a precisão das coordenadas capturadas com as exibidas no gráfico na finalização do teste. Outro aspecto importante foi a escolha do gráfico para facilitar a interpretação e visualização dos resultados pelo profissional da saúde na hora de fazer o diagnóstico. Assim, foi implantado um gráfico de dispersão (*Scatter*), como pode ser observado na figura 2 para a análise de dados. Porém, posteriormente esse gráfico foi substituído por um gráfico de calor.

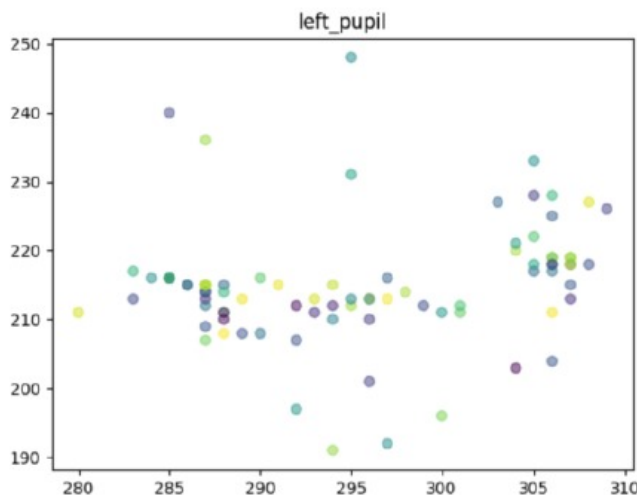


Fig. 2. Gráfico de dispersão. Fonte: Autoria própria

Outro teste realizado diz respeito ao funcionamento do gráfico de porcentagem. Pode-se analisar o seu comportamento quando é fixado o olhar na região direita da tela e posteriormente na região esquerda com a duração de 5 segundos para ambas as extremidades. Deste modo, foi possível obter o seguinte gráfico da figura 3.

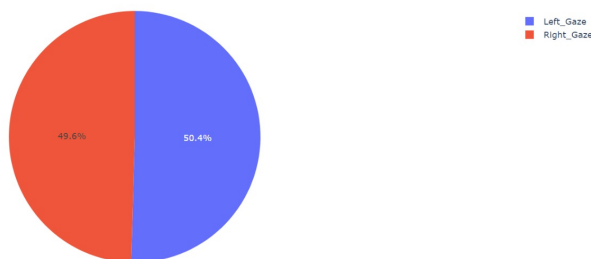


Fig. 3. Gráfico de porcentagem. Fonte: Autoria própria

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após testes, pode se notar que o gráfico de calor (*heatmap*) se adequaria melhor para analisar o ponto de maior fixação

do paciente, visto que pode-se observar melhor a densidade na fixação do olhar na tela de acordo com as cores mais quentes apontadas no gráfico. Assim, o gráfico de calor se ajustou melhor ao programa trazendo resultados mais precisos e mais simples de serem analisados. Como pode ser observado na imagem 4.

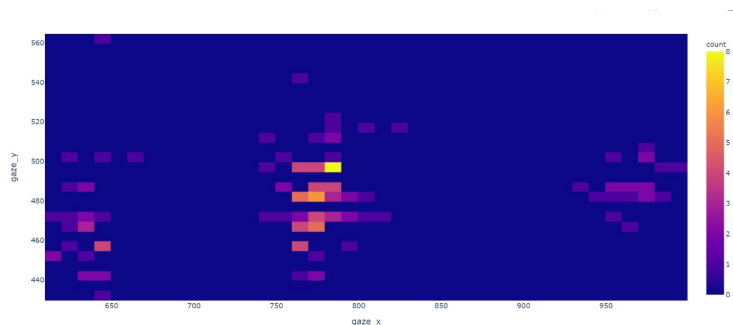


Fig. 4. Gráfico de calor. Fonte: Autoria própria

Depois das modificações citadas, nota-se que o programa inicia com a calibração e os dados provenientes dessa etapa são armazenados. Logo depois, começa uma nova etapa de captura de dados para serem utilizados posteriormente em gráficos que indicam a direção da movimentação dos olhos e as coordenadas da pupila direita e esquerda em tempo real, como pode ser visto na figura 5.

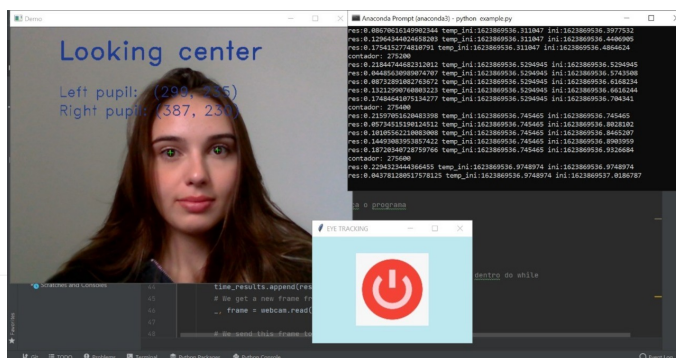


Fig. 5. Inicialização do Software. Fonte: Autoria própria

Atualmente está sendo elaborada a documentação do comitê de ética necessária para a autorização das pesquisas e testes realizados com as crianças do ambulatório de neuropediatria da instituição parceira Univás (Universidade do Vale do Sapucaí). Com estes testes será possível obter resultados que podem auxiliar no melhor desenvolvimento do *software* para que o programa esteja apto a ser utilizado em clínicas e hospitais para o auxílio do diagnóstico de autismo.

IV. CONCLUSÃO

Por todos os aspectos mencionados e testes realizados, conclui-se que o algoritmo responde de forma adequada no rastreamento ocular, fornecendo dados suficientes para a exibição de dois gráficos, sendo um de calor (*heatmap*) e um de porcentagem. Desse modo o *software* de rastreamento ocular para auxílio na identificação de crianças com Transtorno do Espectro Autista (TEA) cumpre os requisitos descritos na metodologia, devolvendo uma resposta clara e objetiva acerca

do movimento ocular ao longo do tempo. Os próximos passos para o projeto são a submissão do artigo para o comitê de ética e pesquisa, para posteriormente realizar testes com crianças que apresentam diagnósticos de autismo e em crianças com suspeita de TEA. Os dados coletados a partir desses testes realizados com crianças indicarão os próximos passos a serem cumpridos e possíveis melhorias a serem implementadas no algoritmo.

REFERÊNCIAS

- [1] Flávio Beraldo. *Eye Tracking para melhorar o desempenho do seu e-commerce*. <https://cicloecommerce.com.br/blog/eye-tracking/>.
- [2] Kenneth Holmqvist e Richard Andersson. *Eye-tracking: A comprehensive guide to methods, paradigms and measures*. Nov. de 2017. ISBN: ISBN-13: 978-1979484893.
- [3] Neuro Saber. *Como a terapia pode melhorar a interação social no autismo* - Instituto NeuroSaber. <https://institutoneurosaber.com.br/como-a-terapia-pode-melhorar-a-interacao-social-no-autismo-2/>. (Accessed on 08/11/2021). Set. de 2020.
- [4] Dr. José Leandro. *Contato visual no autismo: Olhos nos olhos, o reconhecimento de emoções e contextos sociais* - Dr. José Leandro – Neuropediatra em Fortaleza. <http://drjoseleandro.com.br/contato-visual-no-autismo-olhos-nos-olhos-o-reconhecimento-de-emocoes-e-contextos-sociais/>. Jan. de 2020.
- [5] Thomas W. Frazier, Eric W. Klingemier, Sumit Parikh, Leslie Speer, Mark S. Strauss, Charis Eng, Antonio Y. Hardan e Eric A. Youngstrom. “Development and Validation of Objective and Quantitative Eye Tracking-Based Measures of Autism Risk and Symptom Levels”. eng. Em: *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry* 57.11 (nov. de 2018), pp. 858–866. DOI: 10.1016/j.jaac.2018.06.023. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2018.06.023>.
- [6] Renê Forster. “Aspectos da utilização do rastreamento ocular na pesquisa psicolinguística”. Em: *Documentação de Estudos em Lingüística Teórica e Aplicada* 33 (2017), pp. 609–644. URL: <https://doi.org/10.1590/0102-445095461720767529>.

Fio Branco - Aplicativos de Monitoramento de Idosos e Compartilhamento de Dados

Isadora Bello Pereira Rodrigues, Heloisa Marcela de Faria Paula (Bolsistas)

Filipe Bueno Vilela (Orientador)

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

isadora.bello@gec.inatel.br, heloisa.marcela@geb.inatel.br, filipe.bueno@inatel.br

Abstract—This article aims to solve the problem of lack of related technologies for possible asylum patient data incidents, as well as an alert aid. In this sense, a security application was developed for the safe storage of the patient's medical record, as well as notification of warnings arising from problems, such as a fall, in order to improve data agility and increase problems for eventual emergencies.

Index Terms—Nursing Homes, Medical Record, Elderly, Technology

Resumo—O presente artigo tem como objetivo solucionar o problema de falta de tecnologias envolvidas para armazenar dados de idosos em asilos, assim como auxiliar cuidadores com possíveis alertas de incidentes. Neste sentido, foi desenvolvido um aplicativo voltado para armazenamento seguro da ficha médica do paciente, em lares e clínicas, bem como a notificação de alertas advindos de problemas, como uma queda, a fim de melhorar a agilidade na procura de dados e aumentar a segurança para eventuais emergências.

Palavras chave—Asilos, Ficha Médica, Idoso, Tecnologia

I. INTRODUÇÃO

Apesar da modernização tecnológica, o uso de fichas de idosos em manuscrito de papéis em clínicas e asilos ainda é comum, tornando árduo a procura do cuidador pelos dados do paciente. De acordo com estudos desenvolvidos pela Gerontology & Geriatric Research (2013), asilos são surpreendentemente lentos para integrar novas tecnologias, fazendo com que ocorra retrocesso e perdas de eventuais documentos [1].

Nas últimas décadas mudanças demográficas levaram a um crescente envelhecimento da população, consequentemente um aumento significativo de pacientes em casas de repouso, porém não foram introduzidas novas tecnologias visando auxiliar os cuidadores com as fichas e alertas dos pacientes com comorbidades [2]. Ademais, é possível perceber a necessidade de sofisticada infraestrutura para melhorar a qualidade dos cuidados em clínicas e casas de repouso, portanto diversos projetos foram criados. O CleMed, aplicativo criado para documentar os dados do paciente digitalmente, apresenta os dados do idoso, do cuidador, opções para editá-las, contatos, funcionamento em Android e iOS e entre outras configurações. Além disso, conta com aplicativo sincronizado entre cuidador e paciente, evitando que notificações e eventuais mudanças sejam perdidas por ambas as partes. Entretanto, o aplicativo funciona apenas para uma casa de asilo específica, impedindo que várias instituições possam se cadastrar e usufruir do mesmo aplicativo em suas clínicas [3].

Assim estabelecido, o objetivo desse trabalho é a criação de dois aplicativos, sendo um voltado para o cuidador e outro

para o idoso. O aplicativo notificará alertas relacionados aos pacientes cadastrados, quando os mesmos estiverem passando por alguma emergência, como uma queda. O propósito do estudo é a concepção de um sistema seguro para guardar as informações do paciente, pesquisa de dados de maneira simples e rápida para auxiliar a clínica ou casa de repouso, além de maior segurança para eventuais emergências.

II. METODOLOGIA

Como descrito na seção anterior, este artigo tem como principal objetivo apresentar a criação de dois aplicativos voltados para o monitoramento da saúde dos idosos, a fim de auxiliar não apenas o paciente, mas também seus familiares, responsáveis e cuidadores. Entretanto, primeiro é preciso avaliar certos parâmetros que o software precisa alcançar para ser realmente útil e eficaz.

A partir da procura e leitura de três artigos no âmbito da revisão integrativa, diversos aplicativos voltados para a área da saúde foram analisados e comparados com o projeto deste trabalho em questão. O intuito foi achar quais tópicos e objetivos sofrem com escassez ou ausência completa nos aplicativos, como por exemplo a inclusão de letras em fontes de fácil compreensão quanto a sua legibilidade e tamanho, para que parte do público alvo, os idosos, sejam capazes de usufruir do software.

Não obstante, o artigo também tem como objetivo mostrar alguns campos alcançados por este projeto e que podem auxiliar no mercado da saúde e responsável por idosos, que é grupo de pessoas que os aplicativos pretendem amparar.

Ambos os projetos foram programados no AndroidStudio, na versão 4.2.0. O software é um 'ambiente de desenvolvimento integrado (IDE – Integrated Development Environment) oficial para o desenvolvimento de aplicativos Android'. As linguagens disponíveis para programação são Java e Kotlin, e possui compatibilidade com C++ e NDK. Nestes programas em questão, utilizou-se Java. [4]

Como banco de dados, uma das opções viáveis e que melhor agradou a equipe de programadores foi o Firebase, 'uma plataforma, desenvolvida pela Google, para a criação de aplicativos WEB e para celulares' [5]. É uma alternativa gratuita, de fácil acesso e compatível com o AndroidStudio.

Os dois aplicativos dispõem das mesmas estruturas básicas, iniciam-se na tela de autenticação (Login), onde é possível entrar para a interface de início ou clicar na opção de cadastro. A partir deste ponto, os dois programas começam a diferenciar-se.

No total, o aplicativo Particular, como foi identificado, visto que é destinado ao paciente ou responsável por ele, possui 7 interfaces de interação, sendo elas: cadastro, autenticação, menu inicial, área de alertas, perfil, solicitação de vínculo e edição de perfil. O aplicativo Gerenciador, destinado a hospitais e asilos, com o objetivo de auxiliar no gerenciamento e vigilância de seus pacientes, possui 2 interfaces a mais: a ficha médica e a edição da ficha médica.

Os softwares foram testados de forma manual, ou seja, os dados que, originalmente, seriam captados por sensores e enviados ao banco de dados, foram colocados de antemão no Firebase pelos desenvolvedores. Dessa forma, quando os aplicativos identificassem a mudança de estado das informações, seria mais perceptível caso algum erro fosse detectado.

Foi pesquisado por trabalhos que incluíssem as palavras chaves ‘idoso’, ‘aplicativo’, ‘saúde’, ‘aplicativos de saúde’, ‘aplicativos para idosos’. Após a leitura e compreensão dos trabalhos relacionados, foi feita uma comparação com o que os nossos aplicativos se propõem. Analisa-se, por exemplo, áreas em que o software possa aprimorar ou, até mesmo, incluir em uma versão atualizada.

III. RESULTADO

Primeiramente, iremos apresentar o que foi alcançado nos dois projetos. É importante ressaltar que ambos não estão concluídos, mas possuem grande parte de seus objetivos concluídos e programados. O intuito deste artigo é justamente encontrar pontos a serem incluídos nos aplicativos, afim de melhorá-los. Separou-os em duas seções, para uma melhor organização. Na primeira, será exibido o aplicativo Particular, destinado para uso próprio ou por um responsável próximo do usuário. Em seguida, o aplicativo Gerenciador, indicado para o gerenciamento dos pacientes de asilos e hospitais.

A. Particular

O app Particular, como mencionado anteriormente, foi desenvolvido pra uso pessoal. Sua finalidade é auxiliar no monitoramento remoto de idosos por meio do uso de sensores. Inicialmente, o objetivo deste projeto é ser utilizado combinado a um outro dispositivo que capta tanto sinais vitais quanto a possível queda de um idoso. Usando de sensores, como os de temperatura e de queda, por exemplo, os dados colhidos por estes seriam armazenados em um banco de dados e ilustrados no aplicativo. Caso alguma anomalia seja detectada, o software é capaz de alertar, notificando o celular ao qual estiver sido instalado.

O aplicativo inicia-se na tela de autenticação, onde é necessário o email e senha, previamente registrados, para logar (entrar). Também possui o texto “CADASTRAR”, que ao ser clicado, leva à tela de cadastro. Nela são inseridas algumas informações básicas: nome, telefone de contato, email e senha. Ao serem colocados os dados e caso todos estejam na formatação adequada, ou seja, todos os campos preenchidos, email digitado de forma padrão (sem caracteres especiais) e a senha seja de um tamanho suficientemente adequado, os mesmos são armazenados no Firesabe.

Após a criação de uma conta e idealizando que a conexão entre o dispositivo sensorial e aplicativo tenha sido feita com

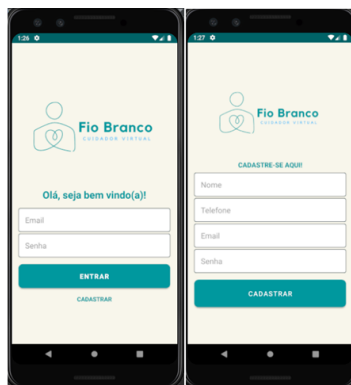


Fig. 1. Tela inicial e de cadastro.

sucesso, o software está pronto para receber os dados captados. Após a autenticação, a próxima tela é separada em três subdivisões. Tem-se a tela de inicio, onde procura-se expor os sinais vitais e o estado atual do paciente, constantemente. A princípio, os dados captados serão colhidos e exibidos em períodos curtos de tempos, como a cada 5 minutos, por exemplo. Nesta interface, o propósito é possibilitar que o usuário, ou mesmo seu responsável, seja capaz de se manter ciente de sua condição física. Em sequência, apresenta-se a tela de alertas. Quando qualquer anomalia for detectada, queda ou alteração na temperatura corporal, por exemplo, uma informação aparecerá nesta interface. Outro detalhe é que o alarme do celular tocará e uma notificação surge no monitor do aparelho, e não sumirá até que o usuário entre no aplicativo e informe que o alerta foi verificado.

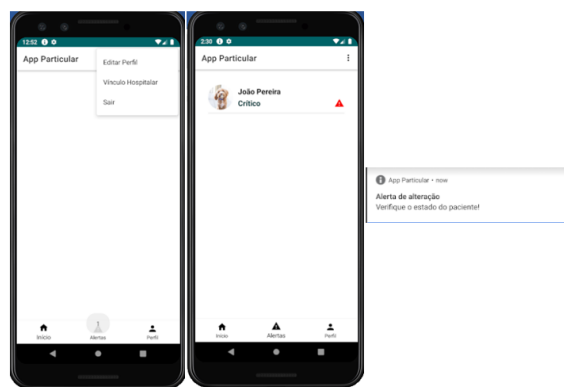


Fig. 2. Parte inicial e de alertas.

A terceira e última subdivisão é a tela de perfil. Nesta interface é apresentado alguns dos dados cadastrados inicialmente e outras opções de informações adicionais que podem ser arquivadas junto ao perfil.

Para a edição dessas informações tem-se a área ‘Editar Perfil’. Nela, os elementos cadastrados são dispostos e é possível a edição dos mesmos, além da opção de alterar a foto de perfil, pois inicialmente a área de foto aparece limpa para o usuário.

Por fim e para introduzir o segundo aplicativo, temos a área ‘Vínculo Hospitalar’. O intuito desta tela é criar um ponte entre o app Particular e o Gerenciador. Funciona da seguinte maneira: nesta parte aparecerá todos os hospitais ou asilos previamente cadastrados no aplicativo Gerenciador, o usuário poderá escolher e pedir uma solicitação de vínculo àquele onde faz acompanhamento. Assim, caso a solicitação seja aceita, as informações, até o momento armazenadas, do paciente serão compartilhadas com a local de saúde.

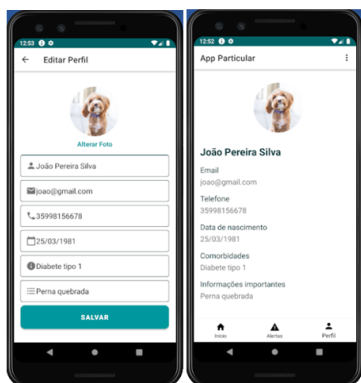


Fig. 3. Perfil e edição do perfil.

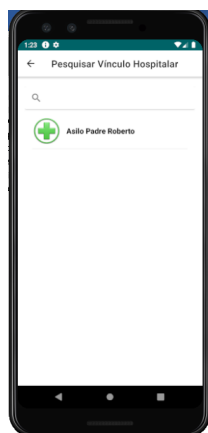


Fig. 4. Hospitais e asilos cadastrados e listados para vínculo.

B. Gerenciador

O objetivo principal deste software é auxiliar equipes médicas e cuidadores no gerenciamento de um grande grupo de pacientes que necessitam de acompanhamento contínuo. As telas são dispostas como no aplicativo anterior, sendo que a interface de Início é destinada a exibição dos pacientes e a de Alertas, mostrará os alertas de todos os que apresentarem alguma anomalia detectada. Conforme mencionado na seção Metodologia, o segundo aplicativo dispõe de apenas duas telas adicionais, a ficha médica e a edição da mesma, por este motivo será listado apenas as interfaces inéditas. Iniciaremos com a tela de ‘Solicitação de Vínculo’, onde aparecerá todos os usuários que que solicitarão vínculo com o hospital/asilo. Caso a solicitação seja aceita, o ícone do paciente começará a aparecer na tela de início, por onde pode ser acessada a ficha médica.

Na tela de ficha médica é possível ver alguns dos dados que foram passados do aplicativo Particular, como foto, nome, data de nascimento e comorbidades, porém após essa transferência de informações, a responsabilidade de mantê-las atualizadas é do usuário do aplicativo Gerenciador, visto que qualquer alteração feita pelo paciente no Particular, não acarretará em mudanças na ficha médica. Por esta razão, tem-se a área de edição da ficha, onde há a possibilidade tanto de alterar as informações recebidas quanto adicionar outras que possam ser necessárias.

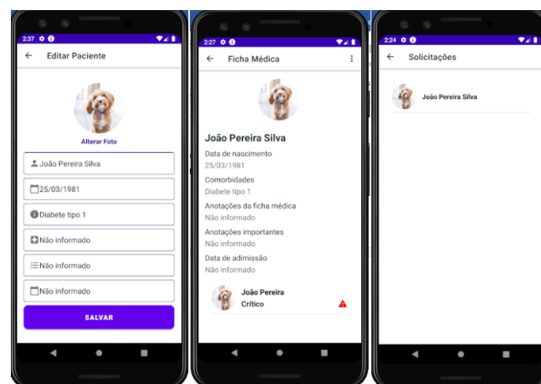


Fig. 5. Edição da ficha médica, ficha médica e paciente integrado.

IV. DISCUSSÃO

Após a visualização e compreensão de como funciona os aplicativos desse projeto, faz-se necessário a dissecação dos pontos os quais carecem de atualizações e dos pontos alcançados que obtiveram êxito.

Os principais problemas de usabilidade encontrados em aplicativos, principalmente quando o público alvo ou parte dele se trata de idosos, são com as interfaces [6]. Como foi mencionado no início desse artigo, a fonte e tamanho das letras utilizadas em textos ou para botões com ações importantes, tendem a ser pequenas e simples, para se igualar ao que é encontrado em aplicativos variados no mercado, porém, levando em consideração o grupo de pessoas que softwares para saúde pretendem auxiliar, vê-se necessário uma alteração nesta questão. Letras grandes e em fontes com destaque permitem que um grande grupo de pessoas sejam capazes de usufruir do aplicativo.

O artigo ‘Usabilidade dos aplicativos móveis para profissionais de saúde: Revisão integrativa’ também destaca a necessidade de testes contínuos, empíricos (quando há a participação do público alvo nos momentos de análises) ou não empíricos (apenas os profissionais da tecnologia testam o produto) com os softwares, principalmente por se tratarem de aplicativos voltados a área da saúde [6]. Outros assuntos também são tópicos de análise. Os sistemas operacionais aos quais os aplicativos são encontrados são algo, por exemplo, a ser considerado. Em ‘Análise de aplicativos móveis para cuidadores de idosos em plataformas digitais’, mais de 50% das revisões se tratavam de softwares exclusivos para Android e cerca de apenas 10% para sistema iOS. Mesmo que a maior quantidade de aparelhos celulares consumidos no mundo seja

da plataforma Android, é necessário que a distribuição seja ao menos parecida, proporcionando atendimentos e alcance ao maior número de pessoas [7].

Foi datado a procura de idoso por aplicativos que os permitissem registrar informações, por exemplo sobre suas condições físicas, e compartilha-las. Também foi registrado a procura por aplicativos que auxiliassem na saúde cognitiva, adesão de medicamentos e exercícios físicos, áreas de compartilhamento de fotos, formas que podem aumentar o engajamento e preocupação do grupo com sua própria saúde [7].

Em 'Análise de aplicativos móveis para cuidadores de idosos em plataformas digitais', alerta a importância dos softwares possibilitarem a conexão entre os dois grupos de utilizadores finais, os idosos e seus responsáveis, seja os familiares ou equipes médicas.

Outra questão a ser listada é a necessidade de um botão de acionamento de ajuda. Como trata-se de uma população, consideravelmente, frágil, é importante deixar como uma opção de assistência, uma ferramenta que acione não apenas os responsáveis pelo paciente, mas também serviços como SAMU, bombeiros e até a polícia. [8]

O presente artigo não levou em consideração diversos desses pontos listados, mostrando então temas a serem atualizados ou mesmo adicionados. Entretanto, apresenta tópicos interessantes a serem mencionados.

Os dois aplicativos criados tendem a ter uma dinâmica simples e auto explicativa. Por exemplo, qualquer ação a ser efetuada é conferida com o usuário, via caixas de confirmação, afim de não permitir que atos inesperados ou não intencionais sejam realizados. O processo de compartilhamento de dados entre aplicativo Particular e Gerenciador também são pontos interessantes. A possibilidade de ambos, equipe médica e usuário (paciente ou familiar), poderem ter acesso a casos de anomalias detectadas, facilita no acompanhamento remoto pelos dois lados.

A aspiração dos idosos de se manterem independentes, junta-se com a possibilidade dos profissionais da área da saúde de, muitas vezes, possuírem pouca mobilidade em seu dia a dia e formam motivações suficientes para a criação e implementação de aplicativos que assistem ambas as partes de forma contínua e remota.

V. CONCLUSÃO

O intuito do artigo é evidenciar as conquistas que os aplicativos desenvolvidos alcançaram, compartilhar suas dinâmicas e desings, além de indicar melhorias que podem ser atualizadas ao trabalho atual.

Sabe-se ainda que é necessário que ambos sejam funcionais, ou seja, quando o dispositivo sensorial, anteriormente mencionado, estiver completo e em uso, é esperado compatibilidade entre eles, afim de sancionar os problemas que justificam suas criações.

Outro ponto importante é que, com a tecnologia tornando-se cada vez mais presente na vida do ser humano, é importante poder leva-la ao alcance de todos, da melhor maneira possível. O público idoso, que apresenta um nível de inexperiência compreensível frente a tal desafio, necessita de meios que possam auxilia-los nesta questão.

A adaptação de aplicativos que são destinados a essa população, que muitas vezes não levam em conta suas dificuldades com instrumentos modernos, se faz necessária. Mesmo aplicações voltadas a cuidadores, responsáveis ou equipes médicas, ferramentas de diversificação e inclusão são sempre importantes, nos mais variados ambientes.

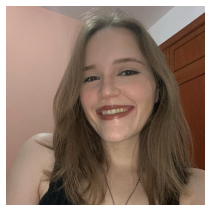
Assim, conclui-se que ambos os aplicativos atingem um nível satisfatório do que espera-se para seus objetivos, porém ainda possuem campos nos quais podem melhorar. É, até o momento, uma ideia de ferramenta útil, apresentando o monitoramento de idosos e compartilhamento de dados entre o paciente e o hospital/asilo. Uma vez concluído e posto em prática, poderá auxiliar na vida de muitas pessoas.

VI. BIOGRAFIA

Filipe Bueno Vilela Filipe Bueno Vilela, graduado em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), mestrando em Engenharia de Materiais com foco em biomateriais pela Universidade Federal de Itajuba (UNIFEI). Coordenador do e-Health Innovation Center do Inatel, professor auxiliar da mesma instituição. Professor do curso técnico em eletro^nica da Escola Técnica de Eletrônica "FMC".



Isadora Bello Pereira Rodrigues Graduanda do 7º período de Engenharia da Computação pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), membro atuante do e-Health Innovation Center. Atualmente é estagiária da Fundação Instituto Nacional de Telecomunicações (Finatel), terceirizada pela empresa multinacional Huawei.



Heloisa Marcela de Faria Paula Formada em técnica em eletrônica com ênfase em equipamentos biomédicos pela ETE "FMC". Graduanda do 2º período de Engenharia Biomédica, pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL). Membro atuante do e-Health Innovation Center,



REFERÊNCIAS

- [1] Wendy BROUGHTON, Hope LASHLEE, Chrissy MARCUM e Gabriela WILSON. "Health Information Technology: A New World of Nursing Homes". Em: *Rev Gerontology and Geriatric Research, Evansville* 2 (2013), pp. 1–6. ISSN: 2167-7182. DOI: <http://dx.doi.org/10.4172/2167-7182.1000122>. URL: https://www.researchgate.net/publication/258810030_Health_Information_Technology_A_New_World_of_Nursing_Homes.

- [2] Iva HOLMEROVA, Kate SHIELLS, Michal STEFFL e Olga. STEPANKOVA. “Electronic patient records as a tool to facilitate care provision in nursing homes: an integrative review.” Em: *Rev Taylor and Francis, Praga* 44 (2018), pp. 1–17. ISSN: 2167-7182. DOI: <https://doi.org/10.1080/17538157.2018.1496091>.
- [3] Yépez CALLE, Triviño GARCÍA, Ariana PAOLA e Melissa POLET. “Aplicación móvil de registro automatizado del Historial Médico para personal del Asilo Sofía Ratinoff”. Em: *Tese (Engenharia de Produção e Direção em Artes Multimídia) - Faculdade de Artes e Humanidade. Guaiaquil* 2 (2018), p. 76. ISSN: 3317-10534. URL: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/10534>.
- [4] AndroidStudio. *Tudo de que você precisa para criar no Android*. URL: <https://developer.android.com/studio/features?hl=pt> (acesso em 09/04/2022).
- [5] Firebase. *O Firebase ajuda você a criar e executar apps de sucesso*. URL: <https://firebase.google.com/?hl=pt-br> (acesso em 09/04/2022).
- [6] A. da Silva, B. Barbosa, P. Hino e L. Nichiata. “Usabilidade dos aplicativos móveis para profissionais de saúde: Revisão integrativa”. Em: *Journal of Health Informatics* 13 (2021), pp. 100–105. ISSN: 2175-4411. URL: <http://www.jhi-sbis.saude.ws/ojs-jhi/index.php/jhi-sbis/article/view/879/0>.
- [7] Epaminondas, J. M., Carneiro, A. C. M. de O., Félix, R. A., Vilaça e K. H. C Silva. “ANÁLISE DE APLICATIVOS MÓVEIS PARA CUIDADORES DE IDOSOS EM PLATAFORMAS DIGITAIS”. Em: *Estudos Interdisciplinares Sobre O Envelhecimento* 25 (2021), pp. 153–166. ISSN: 2316-2171. DOI: <https://doi.org/10.22456/2316-2171.103156>. URL: <https://seer.ufrgs.br/RevEnvelhecer/article/view/103156>.
- [8] D. Amorim, L. Sampaio, G. Carvalho e K. Vilaça. “Aplicativos móveis para a saúde e o cuidado de idosos”. Em: *Revista Eletrônica de Comunicação Informação e Inovação em Saúde* 12 (2018), pp. 58–71. ISSN: 1981-6278. DOI: <http://dx.doi.org/10.29397/reciis.v12i1.1365>. URL: <https://www.reciiis.icict.fiocruz.br/index.php/reciis/article/view/1365>.

Classificação de arritmias usando redes neurais artificiais

Bruno Giuliatti Winter, Ygor Daniel Cardoso de Freitas, Carlos Alberto Ynoguti

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

bruno.giuliatti@geb.inatel.br, ygor.d@geb.inatel.br, ynoguti@inatel.br

Abstract—This article consists of the classification of arrhythmias (focused on heart attack) using neural networks and artificial intelligence through the computer language Python, from studies on deep learning (Deep Learning) which assists and delivers results with the maximum accuracy found. Using free databases available on the internet and with the improvement of the program by using a PCA (Principal Component Analysis) so that there is less consumption and demand of the process by the machine, a satisfactory result was found with a reduced database. the less processing demand and the better percentage of correct answers, the software may be able to help health professionals in different fields of activity.

Index Terms—Principal Component Analysis, Cardiovascular Diseases, Artificial Intelligence, Neural Networks.

Resumo—Este artigo consiste na classificação de arritmias (voltado a ataque cardíaco) utilizando redes neurais e inteligência artificial através da linguagem computacional Python, a partir dos estudos sobre aprendizado profundo (Deep Learning) a qual auxilia e entrega resultados com o máximo de precisão encontrada. Utilizando bancos de dados gratuitos disponibilizados na internet e com o aprimoramento do programa ao utilizar-se a Análise de Componentes Principais (ACP) para que haja um menor consumo e demanda do processo pela máquina, foi encontrado um resultado satisfatório com um banco de dados reduzido, sendo que quanto menor demanda de processamento e melhor porcentagem de acertos, o software pode ser capaz de auxiliar profissionais da saúde em diversos campos de atuação.

Palavras chave—Análise de Componentes Principais, Doenças cardiovasculares, Inteligência Artificial, Redes Neurais.

profundo sendo uma subcategoria do aprendizado de máquina segue os instintos humanos de aprendizado por exemplo para produzir resultados precisos. A aprendizagem profunda realiza treinamento para o trabalho de estrutura do computador para classificar diretamente as tarefas dos documentos disponíveis na forma de texto, imagem ou som. Na maioria das vezes, o aprendizado profundo utiliza a rede neural para realizar a classificação precisa e é referido como a redes neurais profundas; Estas redes fornece uma maneira automatizada de extração de recursos por aprender os recursos diretamente das imagens ou do texto, permitindo que as redes neurais de aprendizado profundo tenham uma precisão de última geração que ultrapassa até mesmo o desempenho humano [4].

Assim prescrito, o objetivo deste trabalho é a construção de uma Rede Neural Artificial (RNA) utilizando-se recursos das bibliotecas do *TensorFlow*, *Keras* e compostas por técnicas de Análise de Componentes Principais (ACP), sendo essa rede aplicada a um banco de dados que contém 14 atributos, nos quais são: idade, sexo, tipo de dor no peito, pressão arterial em repouso, colesterol sérico, açúcar no sangue em jejum, resultados eletrofisiológicos em repouso, frequência cardíaca máxima alcançada, angina induzida por exercício, elevação segmento ST, inclinação segmento ST, vasos principais coloridos por fluoroscopia e presença de doença cardíaca no paciente.

I. INTRODUÇÃO

As doenças cardiovasculares (DCVs) são a principal causa de morte em todo o mundo. Estima-se que 17,9 milhões de pessoas morreram de DCVs em 2019, representando 32 por cento de todas as mortes globais. Dessas mortes, 85 por cento foram por ataque cardíaco [1]. Ataques cardíacos são causados pelo suprimento de sangue para o coração sendo subitamente interrompido. Sem essa oferta, os músculos cardíacos podem ser danificados e começar a morrer. Sem tratamento, os músculos cardíacos sofrerão danos irreversíveis. Se uma grande parte do coração é danificada desta forma, o coração pára de bater (conhecido como parada cardíaca), resultando em morte [2].

O diagnóstico de doenças cardíacas tornou-se uma tarefa difícil no campo da medicina. Este diagnóstico depende de uma análise completa e estudo preciso dos dados de testes clínicos do paciente sobre histórico de saúde do indivíduo. A melhoria no campo de aprendizado de máquina tem como objetivo o desenvolvimento de automação inteligente de sistemas que ajudam os médicos a preverem também a tomada de decisões sobre o diagnóstico da doença [3]. O aprendizado

II. DOENÇAS CARDIOVASCULARES

Doenças cardiovasculares (DCVs), consistindo em doença isquêmica do coração, acidente vascular cerebral, insuficiência cardíaca, doença arterial periférica, e uma série de outras condições cardíacas e vasculares constituem o principal causa de mortalidade global e são uma das principais contribuindo para a redução da qualidade de vida. Em 2017, a DCV causou cerca de 17,8 milhões de mortes em todo o mundo, correspondendo a 330 milhões de anos de vida perdidos e outros 35,6 milhões de anos viveram com deficiência. Juntamente com dados sobre DCV e fator de risco de prevalência, essas medidas resumidas de saúde podem ser inestimáveis para cardiologistas, outros médicos e especialistas em saúde pública. Eles fornecem informações em nível de população que podem orientar a ação para prevenção de DCV e fator de risco, tratamento e controle global, regional, nacional e subnacional níveis. As tendências nesses dados fornecem um indicador útil de onde no mundo a mortalidade e a carga de DCV estão aumentando ou diminuindo, e onde o progresso tem paralisado[5].

A. Ataque Cardíaco

O ataque cardíaco é proveniente da morte das células de uma região do músculo do coração, podendo ocorrer em diversas partes do mesmo, isso acontece devido a formação de um coágulo, o qual interrompe o fluxo sanguíneo de forma súbita e intensa. Sendo o mais comum gerador do infarto a aterosclerose, que é uma doença na qual placas de gordura se concentram no interior das artérias coronárias, podendo as obstruí-las por completo. Em grande parte dos casos o infarto acontece a partir de um rompimento de uma dessas placas, gerando a formação do coágulo e interrupção do fluxo sanguíneo [6].

III. REDES NEURAIS

Uma rede neural artificial é composta por várias unidades de processamento, cujo funcionamento é bastante simples. Essas unidades, geralmente, são conectadas por canais de comunicação que estão associados a determinado peso. As unidades fazem operações apenas sobre seus dados locais, que são entradas recebidas pelas suas conexões. O comportamento inteligente de uma Rede Neural Artificial vem das interações entre as unidades de processamento da rede.

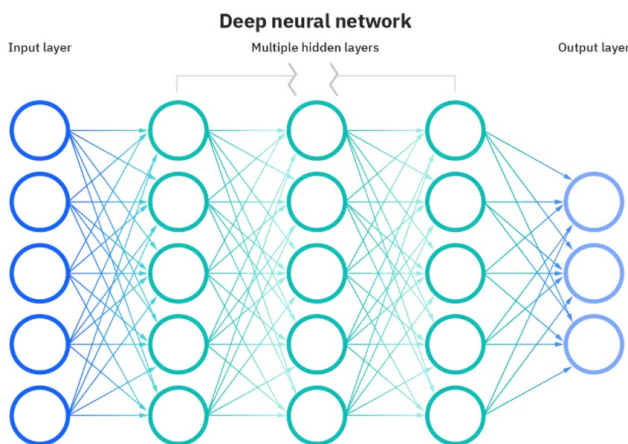


Fig. 1. Representação da conexão entre neurônios na rede.

As redes neurais dependem de dados de treinamento para aprender e melhorar sua precisão ao longo do tempo. No entanto, uma vez que esses algoritmos de aprendizagem são ajustados para precisão, eles são ferramentas poderosas em ciência da computação e inteligência artificial, permitindo-nos classificar e agrupar dados em alta velocidade. [7].

A. Neurônios

Um nó é modelado conforme o comportamento de um neurônio humano. Os nós são ativados quando há estímulos ou entradas suficientes. Essa ativação se espalha através da rede, criando uma resposta ao estímulo (resultado). As conexões entre esses neurônios artificiais agem como sinapses simples, fazendo os sinais serem transmitidos de um para o outro. Há sinalização entre camadas conforme eles viajam da primeira (de entrada) até a última (de resultado) – e são processados ao longo do caminho. Quando confrontados com uma requisição ou problema para resolver, os neurônios executam cálculos matemáticos para decidir se há informações suficientes a serem

enviadas para o próximo neurônio. Resumidamente, eles leem todos os dados e decidem onde as relações mais fortes estão. No tipo mais simples de rede, as entradas de dados recebidas são somadas e, se a soma for maior que um valor o neurônio “dispara” e ativa os neurônios conectados a ele [8].

IV. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

A análise de componentes principais é uma técnica da estatística multivariada que consiste em transformar um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de variáveis de mesma dimensão denominadas de componentes principais. Os componentes principais apresentam propriedades importantes: cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais, são independentes entre si e estimados com o propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo de informação, em termos da variação total contida nos dados. A análise de componentes principais é associada à ideia de redução de massa de dados, com menor perda possível da informação. Procura-se redistribuir a variação observada nos eixos originais de forma a se obter um conjunto de eixos ortogonais não correlacionados. Esta técnica pode ser utilizada para geração de índices e agrupamento de indivíduos. A análise agrupa os indivíduos de acordo com sua variação, isto é, os indivíduos são agrupados segundo suas variâncias, ou seja, segundo seu comportamento dentro da população, representado pela variação do conjunto de características que define o indivíduo, ou seja, a técnica agrupa os indivíduos de uma população segundo a variação de suas características [9].

V. METODOLOGIA

O desenvolvimento do sistema ocorreu em duas etapas, sendo a primeira o estudo sobre a linguagem computacional *python* e bibliotecas específicas para *Deep Learning*, construção da estrutura e a definição dos parâmetros da rede e em segundo a aplicação dos conceitos de Análise de Componentes Principais. Inicialmente na construção da rede, definiu-se a utilização das bibliotecas sendo elas: *TensorFlow* no qual tem um ecossistema abrangente e flexível de ferramentas, e dentro dessas ferramentas usou-se a API *Keras* que possibilitou a utilização do comando *tf.Keras* empregado na criação das camadas da rede e treinamento dos modelos de aprendizado profundo. Também foi definido e utilizado a biblioteca *Pandas* que permite a manipulação e análise dos dados e por fim a biblioteca *Numpy* que permite o processamento e arranjo de matrizes multidimensionais. Dos parâmetros, tem-se a definição do número de neurônios na camada escondida, e as funções de ativação e otimização.

Após encontrado a melhor estrutura para a rede conforme será apresentado posteriormente na seção resultados, realizou-se a segunda etapa do desenvolvimento da rede, realizando a aplicação dos conceitos de Análise de Componentes Principais.

De início houve a importação do database, no qual forneceu os dados em forma matricial de ordem 303x13. Observou-se também que uma das colunas era do tipo string então foi necessário realizar a conversão desta coluna para tipo numérico. Em seguida, foi executado o cálculo da matriz transposta a partir da matriz inicial, trocando ordenadamente as linhas pelas colunas, obtendo-se então 303 colunas e 13

linhas. Em seguida foi multiplicada a matriz inicial que contém 13 colunas e 303 linhas pela sua matriz transposta com 303 colunas e 13 linhas, resultando em uma matriz quadrada de 13 colunas e 13 linhas. Com a matriz quadrada pode-se aplicar o comando da biblioteca numpy para o cálculo dos autovalores e autovetores. O último passo da análise de componentes principais é excluir as colunas que a partir da análise dos autovetores não possuem alta porcentagem de informação.

VI. RESULTADOS

Conforme apresentado, o desenvolvimento da rede ocorreu em duas etapas. Na primeira, houve a construção da rede neural, na qual foi iniciada com 10 neurônios na camada oculta e função de ativação *Relu*, já na camada de saída foi iniciada com a função *Softmax*, obtendo-se então o seguinte resultado:

TABELA I

Camada oculta	Camada de saída	Acurácia	Perda
Relu	SoftMax	0.544554	0.426053

A partir desse resultado os testes ocorreram alterando-se a função de ativação na camada oculta com intuito de encontrar qual função apresentaria o melhor desempenho. Na camada de saída foi mantida a função *Softmax*. Temos então:

TABELA II

Camada oculta	Camada de saída	Acurácia	Perda
Sigmoid	Softmax	0.544554	0.502889
Softplus	Softmax	0.544554	0.417250
Softsign	Softmax	0.544554	0.390105
Elu	Softmax	0.544554	0.389287
Selu	Softmax	0.544554	0.385426

Dos resultados conclui-se que não houve ganho de aprendizagem na alteração da função de ativação na camada oculta pois o resultado de acurácia se manteve o mesmo. Entretanto houve melhora no resultado de dados de erro da rede, no qual a função *Selu* na camada oculta e a função *Softmax* na camada de saída, apresentou melhor resultado.

Com o intuito de melhorar o desempenho de aprendizagem na rede e sabendo-se que a função na camada oculta não interfere no resultado. Optou-se por manter a função de ativação *Selu* e alterar a função de ativação na camada de saída.

TABELA III

Camada oculta	Camada de saída	Acurácia	Perda
Sigmoid	Selu	0.834983	0.372265
Softplus	Selu	0.811881	0.525741
Softsign	Selu	0.844884	0.540960
Elu	Selu	0.815181	0.511240
Relu	Selu	0.828382	0.716428

Pode-se observar que mesmo as funções *softplus*, *softsign*, *elu* e *relu* obtendo um bom resultado de acurácia, já o resultado de perda houve piora. Conclui-se então que o melhor desempenho da rede foi com a função *selu* na camada oculta e *sigmoid* na camada de saída.

Após definido a melhor estrutura para a rede, iniciou-se aplicação da Análise de Componentes Principais com a finalidade de reduzir o tempo de custo da rede. Essa análise foi

feita baseada na quantidade de informação contida na matriz de autovetores e a partir daí excluindo as colunas que possuíam pouca informação. Tendo, então o seguinte resultado:

TABELA IV

Número de autovetores	Autovetores	Porcentagem de informação	Acurácia
12	1,63730924	99,883	0,851485
13	2,07912656	99,8514	0,854785
11	4,07427129	99,7087	0,821782
10	5,16955166	99,631	0,825082
9	8,37283605	99,402	0,831683
8	15,66823156	98,88	0,841584
7	20,1425884	98,56	0,838283
6	25,72114535	98,161	0,828382
5	27,89726859	98,005	0,821782
4	40,60188528	97,097	0,772277
3	54,61549229	96,094	0,719471
2	85,83191818	93,862	0,683168
1	110,641541258	20,871	0,633663

É possível concluir que as informações juntas dos 5 últimos autovetores como visto na tabela IV, possuem uma perda de informação que se somada equivale a menos de 2 por cento, portanto para diminuir em cerca de 38 por cento o trabalho da máquina e mantendo basicamente a mesma taxa de acurácia e perda, neste caso escolheu-se a exclusão dos 5 últimos autovetores.

VII. CONCLUSÃO

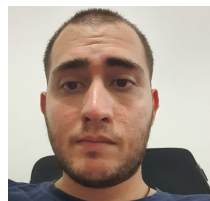
Foi desenvolvido um sistema de pré - diagnóstico de ataque cardíaco usando redes neurais com base em 13 fatores de risco, nos quais são: idade, sexo, tipo de dor no peito, pressão arterial em repouso, colesterol sérico, açúcar no sangue em jejum, resultados eletrofisiológicos em repouso, frequência cardíaca máxima alcançada, angina induzida por exercício, elevação segmento ST, inclinação segmento ST, vasos principais coloridos por fluoroscopia e presença de doença cardíaca no paciente. Este sistema conseguiu uma taxa de acertos de 83,4883 por cento com os dados originais. Para obter este resultado foi usada uma RN com 2 camadas, 13 neurônios de entrada e 10 na camada escondida treinada durante 30 épocas, com o tamanho do lote, que representa o conjunto de dados de treinamento de 10 e verbose igual a 2. De modo a diminuir a complexidade computacional e permitir o uso deste sistema em *hardware* com limitações de processamento e memória, fez-se uso da técnica de análise de componentes principais com apenas 8 dos 13 autovalores, conseguindo uma taxa de acertos de 81.848 por cento.

REFERÊNCIAS

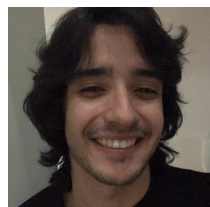
- [1] World Health Organization. *Cardiovascular Diseases (CVDs)*. URL: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds)) (acesso em 25/08/2021).
- [2] NHS. *Heart attack*. URL: <https://www.nhs.uk/conditions/heart-attack/causes/> (acesso em 25/08/2021).
- [3] K Subhadra e B Vikas. "Neural network based intelligent system for predicting heart disease". Em: *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering* 8.5 (2019), pp. 484-487.

- [4] Abul Bashar. "Survey on evolving deep learning neural network architectures". Em: *Journal of Artificial Intelligence* 1.02 (2019), pp. 73–82.
- [5] George A Mensah, Gregory A Roth e Valentin Fuster. "The global burden of cardiovascular diseases and risk factors: 2020 and beyond". Em: (2019).
- [6] Ministério da Saúde. *Ataque Cardíaco*. URL: <https://bvsms.saude.gov.br/ataque-cardiaco-infarto/> (acesso em 28/08/2021).
- [7] IBM Cloud Education. *Neural Networks*. URL: <https://www.ibm.com/cloud/learn/neural-networks> (acesso em 28/08/2021).
- [8] SAS. *Redes Neurais. O que são e qual sua importância?* URL: https://www.sas.com/pt_br/insights/analytics/neural-networks.html (acesso em 28/08/2021).
- [9] Carlos Alberto Alves Varella. "Análise de componentes principais". Em: *Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro* (2008).

AUTORES



Bruno Juliatti Winter É aluno do sexto período de Engenharia Biomédica do INATEL, cursando inglês e tendo interesse em áreas correlacionadas a bioquímica, anatomia e física do corpo humano. Atualmente está envolvido em uma iniciação científica voltada para área de computação e saúde.



Ygor Daniel Cardoso de Freitas Graduando em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), voluntário de pesquisa pelo *eHealth Innovation Center e Information and Communications Technologies Laboratory*. Membro do núcleo de desenvolvimento e núcleo comercial da CP2 Empresa Júnior do Inatel. Tem interesse

nas áreas de informática médica, inteligência artificial voltada à área da saúde.



Carlos Alberto Ynoguti Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo(1991), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo(1995), doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas(2000) e pós-doutorado pela Universidade Estadual de

Campinas(2001). Atualmente é Professor Adjunto do Instituto Nacional de Telecomunicações e Membro de corpo editorial da Telecomunicações (Santa Rita do Sapucaí) (1516-2338). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Telecomunicações. Atuando principalmente nos seguintes temas:processamento digital de sinais, processamento de voz, reconhecimento de fala.

Modernização de infraestrutura hospitalar e segurança biológica para otimização na prestação de atendimento em saúde

Filipe Bueno Vilela, Isabelle Pereira Santos, Juliano Augusto Nascimento Leite,
Maria Edith Gomes Carvalho da Silva, Phyllipe de Souza Lima Francisco
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
filipe.bueno@inatel.br, isabelle.pereira@geb.inatel.br, juliano.leite@inatel.br,
maria.edith@geb.inatel.br, phyllipe@inatel.br

Abstract—This article discusses how an application for hospital triage was executed. For optimizing and modernizing hospital health care, the objective of this project is to insert a totem in the hospitals capable of performing patient triage, placing this patient on a waiting list according to the Manchester Protocol.

Index Terms—Hospital 4.0, Manchester Protocol, Risk Classification, Triage.

Resumo—O presente artigo aborda como foi executado um aplicativo para triagem hospitalar. Para otimizar e modernizar o atendimento de saúde nos hospitais, o objetivo com esse projeto é inserir um totem apto a realizar a triagem do paciente, colocando-o numa fila de espera conforme o Protocolo Manchester.

Palavras chave—Classificação de Risco, Hospital 4.0, Protocolo Manchester, Triage.

I. INTRODUÇÃO

O aumento da procura por atendimento hospitalar é uma realidade cada vez mais notória, os hospitais públicos e privados precisaram se organizar para atender de forma adequada o crescimento da demanda. Tornou-se significativa a necessidade de modernização da infraestrutura hospitalar para o oferecimento de serviços médicos de qualidade. Com a superlotação hospitalar os serviços de urgência e emergência são porta de entrada para os pacientes, as filas de espera para triagem e atendimento resultam num serviço com qualidade afetada e aumento dos custos com materiais e recursos humanos [1].

Portanto, com o intuito de reversão desse cenário hospitalar, diversos estudos apontam para a humanização da assistência nos serviços de urgência e emergência e para isso demonstram a importância da classificação de risco por meio do Protocolo Manchester para atendimento dos pacientes [2]. A classificação de risco mudou muito com o passar dos anos. O Protocolo Manchester atribui cores para cada gravidade e um tempo de atendimento correspondente a cada cor, não dando um diagnóstico médico, mas atribuindo prioridades clínicas [3]. Artigos científicos ainda apontam para o *Design Science*, pesquisa com foco em desenvolver e validar a resolução de um problema, criando uma solução tecnológica no formato de um totem, que auxilia no processo de triagem coletando os dados medidos nos pacientes [4].

Conforme estabelecido, o objetivo do trabalho é a elaboração de um sistema que modernize a infraestrutura hospitalar, especificamente no setor de triagem, visando ordenar o atendimento

médico. O propósito do estudo é a criação do protótipo de um totem que, por um aplicativo, esteja apto a realizar a triagem do paciente, captando parâmetros biológicos necessários para uma boa triagem, visando também melhorar o atendimento conforme o Protocolo Manchester.

II. MATERIAL E MÉTODOS

Para execução do projeto, o primeiro passo foi a prototipagem da *interface* do usuário utilizando o *Figma*, *software* de modelagem de *interface* de usuário, visando a experiência. Posteriormente, optou-se por realizar a *front-end* utilizando o *Electron*, *framework* para criação de aplicações que se utiliza do *HTML*, *CSS* e *JavaScript* como linguagens de programação. O *JavaScript* permite tratar os dados inseridos pelo usuário, o *HTML* a posicionar e estruturar os elementos da página, enquanto o *CSS* a estilizar a estética da página.

Para a criação das telas, optou-se por páginas conforme as etapas: cadastro, *login*, seleção do usuário feminino ou masculino, seleção do local de dor e a tela de triagem. Estas farão com que o funcionário responsável pela triagem tenha um cadastro e realize seu *login*, possa entrar com o gênero do paciente, selecionar onde este sente dor e inserir temperatura, oximetria, pressão arterial e batimentos cardíacos. Para assim ser informado, por um gráfico de barras, a prioridade do paciente conforme o Protocolo Manchester.

Todos os dados do paciente são coletados manualmente e todas essas informações serão fundamentais para determinar a triagem do paciente, ou seja, sua classificação de urgência e seu tempo na fila de espera. Para implementação do *back-end*, optou-se por continuar a utilização do *Java* e do *MySQL* como banco de dados, conforme o projeto anterior estava sendo desenvolvido, idealizando uma aplicação simples. Desse modo, precisa-se transformar a solução com uso do *SpringBoot*, *framework Java* que facilita e agiliza o desenvolvimento.

III. RESULTADOS

Quando recepcionado no hospital o paciente deve direcionar-se ao totem. A primeira tela é a de autenticação, nela deve-se entrar com os dados de *login* do usuário, como mostra a Figura 1. Caso não possua *login*, pode-se direcionar para a tela de cadastro, como mostra a Figura 2.



Fig. 1. Tela de autenticação.

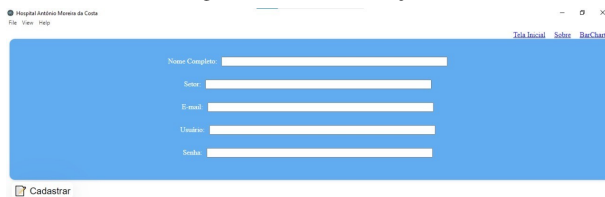


Fig. 2. Cadastro.

Após efetivar o *login* é iniciada a verificação de todas as informações essenciais para identificação do nível de gravidade do paciente, podendo assim colocá-lo em uma fila de espera. Para isso, o primeiro passo é selecionar o gênero do paciente e o local do corpo em que este paciente sente dor. Todo esse processo é representado na tela inicial de triagem, conforme a Figura 3 e a Figura 4.

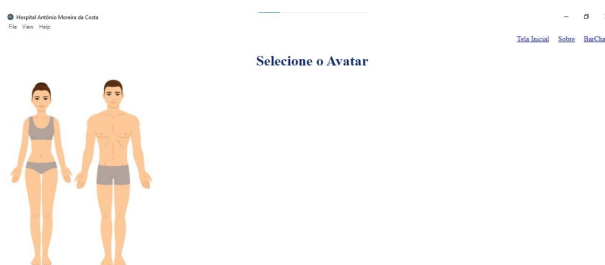


Fig. 3. Escolha de avatar.

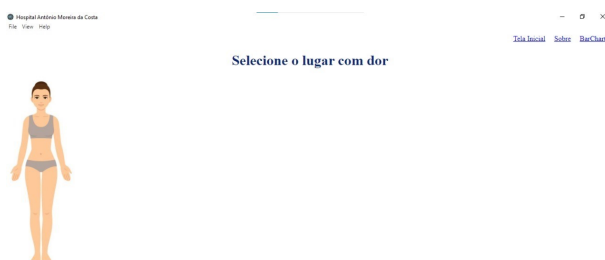


Fig. 4. Locais de Dor (simulação feita com o avatar feminino).

Tendo as informações de dor ainda é preciso para a triagem as informações vitais do paciente. Para isso, deve-se entrar com temperatura, oximetria, pressão arterial e batimentos cardíacos. O objetivo é que com o protótipo, o paciente, com auxílio do totem, consiga realizar a coleta desses parâmetros sem ser necessário a ajuda de um profissional. Todavia, hoje essa coleta deve ser realizada por um profissional que deverá entrar com as medições em cada lacuna correspondente.

Com a entrada desses parâmetros as barras serão alteradas, entregando o estado de emergência do paciente. O tempo de

espera varia conforme gravidade do paciente, podendo ser emergência, urgência e não urgência, sendo estes diferenciados pelas cores, vermelho, amarelo e verde, respectivamente, conforme o protocolo Manchester e a Figura 5.

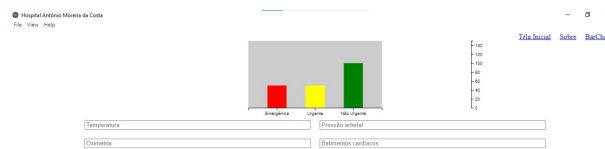


Fig. 5. Triagem.

Com os resultados obtidos nas telas e estudos de *interface* do usuário, é possível observar que o aplicativo não apresenta dinamicidade para navegação dos usuários pelas telas e para inserção dos seus dados clínicos e pessoais. Os pacientes e funcionários que virão utilizar essa aplicação podem desperdiçar o tempo de triagem com a renderização das telas. Por outro lado, o aplicativo otimiza o serviço de triagem hospitalar, já indicando ao paciente qual sua classificação de risco, assim necessário apenas esperar o tempo determinado para o seu atendimento.

IV. DISCUSSÃO

Neste estudo iniciou-se a prototipação das telas onde foi atribuída uma para cada passo do processo de triagem, porém ao avançar no estudo notou-se que para uma melhor interação com os pacientes e funcionários seria preciso realizar a triagem, desde a coleta de informações de dor e parâmetros biológicos até o gráfico, numa única página, *SPA — single page application*, utilizando o React para construir a *interface* do usuário. Desse modo, a *interface* torna-se mais dinâmica e eficaz para os seus usuários, não precisando de tantas trocas de páginas e renderizações, levando a uma experiência mais agradável.

Com a idealização desse projeto torna-se viável a implementação de um setor de recepção e triagem mais solícito, onde os pacientes são encaminhados para o atendimento médico de forma eficiente e organizada, numa fila conforme prioridade, facilitando aos funcionários que mantenham uma ordem de atendimento. Toda essa dinâmica não só moderniza como aprimora essa área hospitalar, benéfico aos pacientes, que evitam filas desorganizadas e demora com a espera por atendimento, e aos funcionários que terão um ambiente de trabalho mais fluído.

V. CONCLUSÃO

Conclui-se que a partir do desenvolvimento desse projeto o protótipo consegue realizar a triagem hospitalar com a coleta de informações de dores, temperatura, oximetria, pressão arterial e batimentos cardíacos, classificando o paciente em um dos três estados: emergência, urgência e não urgência, atribuindo a esses estados cores de identificação para que o atendimento ocorra de forma organizada e funcional, seguindo o Protocolo Manchester.

Para trabalhos futuros sugestiona-se modificar essa aplicação, de modo que a triagem esteja numa *SPA — single page application* com o React, para que a experiência final no hospital seja mais funcional por tratar-se de apenas uma

página para o processo de triagem. Ademais, é possível listar os pacientes conforme sua triagem num sistema de filas. Isso torna o atendimento humanizado, modernizado e fluído.

REFERÊNCIAS

- [1] Dagmar Willamowius Vituri, Kelly Cristina Inoue, José Aparecido Bellucci Júnior, Carlos Aparecido de Oliveira, Robson Marcelo Rossi e Laura Misue Matsuda. “Acolhimento com classificação de risco em hospitais de ensino: avaliação da estrutura, processo e resultado”. Em: *Revista Latino-Americana de Enfermagem* V21N5 (2013), pp. 1179–1187. ISSN: 0104-1169. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-11692013000500023>. URL: <https://www.scielo.br/j/rlae/a/TwGqVV5wwdYF6GncS8X4KJB/?lang=pt&format=pdf>.
- [2] Gabrielle Mocker da Silva Campos, Iasmim Medeiros, Rayanne da Silva Maldonado Jamylle Sousa Lara e Thainara Victoria Tondorf Delben. “TRIAGEM: O MÉTODO QUE PRIORIZA A VIDA”. Em: *Revista Eletrônica do UNIVAG* N15 (2016), pp. 88–104. ISSN: 1980-7341. DOI: 10.18312/connectionline.v0i15.349. URL: <http://www.periodicos.univag.com.br/index.php/CONNECTIONLINE/article/view/349>.
- [3] Alexandre Silva Souza e Irapuan Glória Júnior. “A UTILIZAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO DIRECIONAMENTO DE CONSULTAS ESPECIALIZADAS EM UM HOSPITAL NO CONTEXTO DA HEALTH 4.0”. Em: *Iberoamerican Journal of Project Management* V10, N2 (2019), pp. 01–14. ISSN: 2346-9161. DOI: <https://doi.org/10.26893/rm.v13i25>. URL: <https://revistamosaicum.org/index.php/mosaicum/issue/view/8>.
- [4] Margarete Inês Portela de Paula e Ursulla Vilella Andrade. “CLASSIFICAÇÃO DE RISCO SEGUNDO O PROTOCOLO DE MANCHESTER: UMA PROPOSTA DE HUMANIZAÇÃO NOS SERVIÇOS DE URGÊNCIA E EMERGÊNCIA”. Em: *Revista Mosaicum* n25 (2017), pp. 143–158. ISSN: 1808-589X. DOI: <https://doi.org/10.26893/rm.v13i25>. URL: <https://revistamosaicum.org/index.php/mosaicum/issue/view/8>.

Desenvolvimento de cicloergômetro microcontrolado para melhora do prognóstico em estágio avançado de Doenças Renais Crônicas e Doença de Alzheimer

Leonardo Ribeiro Silva, Filipe Bueno Vilela, Rani de Souza Alves, Heytor Daniel Vicente Rizo
Paulo Vicente de Carvalho Porto

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

leonardo.r@geb.inatel.br, filipe.bueno@inatel.br, rani@inatel.br, heytor@geb.inatel.br, paulo.v@gec.inatel.br

Abstract—The microcontrolled cyclergometer is a prototype that aims to enhance the quality of life of patients with Chronic Kidney Disease and Alzheimer's Disease, based on the benefits of physical exercise in such diagnoses. The device satisfactorily presented three speeds and two directions of rotation for passive mobilization of the arms and legs, in addition to having a reduced size when compared to others found on the market.

Index Terms—Chronic Kidney Disease, Cyclergometer, Physical Exercise, Alzheimer's Disease

Resumo—O cicloergômetro microcontrolado é um protótipo que almeja potencializar a qualidade de vida de pacientes com Doença Renal Crônica e com Doença de Alzheimer, baseando-se nos benefícios do exercício físico em tais diagnósticos. O aparelho apresentou, de forma satisfatória, três velocidades e dois sentidos de rotação para a mobilização passiva dos braços e das pernas, além de contar com tamanho reduzido quando comparado aos demais encontrados no mercado.

Palavras chave—Cicloergômetro, Doença de Alzheimer, Doença Renal Crônica, Exercício Físico.

I. INTRODUÇÃO

A qualidade e o aumento da expectativa de vida são fatores que permeiam a sociedade brasileira nos últimos 60 anos, resultando em uma modificação dos padrões epidemiológicos das patologias. Ao passo que doenças contagiosas e relacionadas a desnutrição vão diminuindo, as doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) vêm crescendo exponencialmente, de acordo com o envelhecimento da população [1]. Entre as DCNT mais recorrentes, encontram-se a doença renal crônica e a doença de alzheimer. A cronicidade que caracteriza tais doenças gera para cientistas e profissionais da saúde a necessidade de buscar alternativas que melhorem o prognóstico de morbidade dos pacientes [2].

A. A Doença Renal Crônica (DRC)

A DRC é definida como uma lesão das unidades funcionais renais, que acarreta modificações locais e sistêmicas com evolução de no mínimo três meses [3]. O indivíduo com a lesão desses néfrons possui taxa de filtração glomerular menor que 60ml/min/1.73m² [4]. Quando essa taxa atinge níveis mínimos, é recomendado que o paciente inicie o tratamento com diálise peritoneal ou hemodiálise; sendo que esta, de acordo com o Relatório Brasileiro de Diálise (2012), é a modalidade utilizada por cerca de 90% deles [5].

Esse processo, a médio e longo prazo, provoca danos ao aparelho cardiovascular, haja vista que pacientes renais crônicos

hemodialíticos, em sua maioria, possuem fatores como sedentarismo, depressão, diabetes mellitus, dislipidemias e hipertensão arterial sistêmica [2].

B. A Doença de Alzheimer (DA)

A DA caracteriza-se pela perda progressiva de determinadas funções do sistema nervoso. Levando em consideração a inversão da pirâmide etária e que em idosos a DA é a forma mais comum de demência, o estudo publicado na revista The Lancet [6] ratifica a importância de aprimorar o entendimento do prognóstico da DA, uma vez que estima que no ano de 2050 haverá, aproximadamente, 153 milhões de pessoas com a doença.

A DA é uma condição neurodegenerativa resultante da formação de placas neuríticas e emaranhados neurofibrilares [7]. Esses dois mecanismos levam à destruição neuronal e o comprometimento da massa encefálica como um todo, reduzindo o volume e peso cerebral [8]. Dentre as áreas afetadas por essa atrofia, estudos mostram que a região motora cortical tem grande relação com um dos alvos da DA, o núcleo basal de Meynert, por intermédio dos terminais colinérgicos e receptores muscarínicos [9].

C. Do Exercício Físico (EF) à melhora do prognóstico

Em face das problemáticas relacionadas ao sistema musculoesquelético, por meio de estudos fundamentados em análises clínicas, identifica-se o EF como fator protetor do aparelho cardiovascular. De forma que ao movimentar-se, a atividade simpática do corpo se sobressai causando aumento da frequência cardíaca, do volume sistólico e do débito cardíaco, o que gera vasodilatação periférica tornando, assim, o fluxo sanguíneo mais adequado em locais como o cérebro e o rim [10].

No entanto, para pacientes hemodialíticos ou com alguma condição neurodegenerativa em estágio avançado, a movimentação ativa em posição ortostática é comprometida. Dessa maneira, o cicloergômetro possibilita a esses pacientes a movimentação, mesmo que de modo passivo, de membros inferiores e superiores.

Assim estabelecido, espera-se que o EF de modo passivo, embora de baixa intensidade, possa trazer novas perspectivas de prognóstico a esses pacientes através do aumento do fluxo

sanguíneo. Nos portadores de DRC, o EF pode atuar atenuando a evolução da lesão renal, visto que a taxa de filtração glomerular aumenta com o aporte sanguíneo adequado [11, 12, 2]. Aqueles com DA, têm no EF o potencial de aumentar sua capacidade metabólica cerebral com maior fluxo de oxigênio por intermédio do sangue, o que diminui a velocidade em que a demência se instala [13, 14].

Assim, este artigo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um cicloergômetro de baixo custo de modo que possa auxiliar e estimular os pacientes com DRC e DA a fazerem EF.

II. METODOLOGIA

Inicialmente, foi realizado um estudo para definição dos parâmetros e componentes a serem utilizados para a construção do cicloergômetro. Por meio de uma vasta pesquisa no Google Acadêmico e no PubMed, foram selecionados dezesseis artigos relacionados ao tema.

Dessa forma, foi possível analisar as questões técnicas e bibliográficas para o projeto, definindo, assim, os componentes a seguir:

A. Motor

Através de análises preliminares acima das especificações do motor e explorando produtos de âmbito nacional, foi escolhido o motor 9.390.453.042 da Bosch. A Figura 1 apresenta as especificações do motor.

12 V 57 W	
U_N	12 V
P_N	57 W
n_N	75 rpm
I_N	18 A
I_{MAX}	50 A
M_N	9 Nm
M_A	36 Nm
i	63 : 1
Rot.	R
S	S1
IP	IP 44
kg	1,100 kg
Ⓜ	9 390 453 042

Fig. 1. Especificações do motor [15]

O motor acima descrito conta com tensão nominal de 12V em corrente contínua, rotação nominal de 75 rotações por minuto (RPM) e torque máximo de 36 Nm. Ao usar polias com relação 2:1, o RPM foi reduzido a metade e o torque máximo passou a ser de 72 Nm. A corrente máxima suportada pelo motor é de 50 Amperes (A).

B. Fonte de Tensão

A fonte de tensão escolhida, da fabricante Xzhang, apresenta 12 V / 50 A em sua saída, correspondendo com as especificações do motor 9.390.453.042 da Bosch. Este modelo de fonte, em sua entrada, possui capacidade para se conectar a rede elétrica de 127 V / 220 V, tendo, em sua saída, três terminais de 12 VDC.

C. Ponte H

Para inverter o sentido de rotação, é preciso inverter o sentido da corrente elétrica. Assim, o uso da ponte H se faz necessário.

O BTS7960 é um módulo de ponte H capaz de admitir uma alta corrente elétrica. Além disso, o BTS7960 tem sua interface facilitada quando se trata do uso em conjunto ao microcontrolador.

D. Controlador Lógico

Foi utilizado o microcontrolador Arduino Mega 2560 pela sua quantidade de portas digitais e analógicas. O microcontrolador tem como finalidade o processamento lógico dos sinais, de modo que, com os sinais recebidos dos dispositivos de entrada, são processados e enviados para os dispositivos de saída. A Tabela I demonstra as portas utilizadas e suas respectivas funções.

d.1) Dispositivos de entrada e saída

Os dispositivos de entrada são os que captam informações de uma fonte externa e enviam para o microcontrolador, como os botões de controle de velocidade. Os dispositivos de saída são os que recebem a informação do microcontrolador e enviam para uma fonte externa, como é o caso dos LEDs e dos motores.

d.2) Código

O código foi escrito na linguagem de programação Wiring, que dispõe de vasto suporte online e bibliográfico, além de possuir comandos intuitivos. Foi programado de modo que a chave seletora definirá qual será o sentido de rotação, horário ou anti-horário. Após isso, um dos três botões é pressionado a fim de definir a velocidade, mínima, média ou máxima.

TABELA I
PORTAS UTILIZADAS DO ARDUINO MEGA 2560 E SUAS FUNÇÕES

PORTA	MODO	FUNÇÃO
3, 4	Saída analógica	PWM que controla a velocidade do motor
7	Entrada digital	Leitura do botão de velocidade máxima
8	Entrada digital	Leitura do botão de velocidade média
9	Entrada digital	Leitura do botão de velocidade mínima
10	Entrada digital	Leitura da chave seletora (sentido de rotação)
11	Saída digital	Acende LED vermelho indicando velocidade máxima
12	Saída digital	Acende LED amarelo indicando velocidade média
13	Saída digital	Acende LED verde indicando velocidade mínima

E. Mecânica e Estrutura

O sistema mecânico não foi desenvolvido nas diretrizes deste projeto, no entanto, foi modificado a partir de um sistema preexistente realizado pelos alunos Rodrigo Propato Guerra e Pedro Henrique Fonseca (2020) do INATEL em seu Trabalho de Conclusão de Curso [16]. Entretanto, o projeto presente desconsiderou o uso da estrutura 6 da Figura 2.

A estrutura, destacada na Figura 3, predominantemente feita em metalon, acomoda a mecânica, o motor, a eletrônica e os demais componentes do equipamento.

A fim de proteger o Arduino, a ponte H e a protoplaca, viu-se a necessidade da criação de uma caixa para acomodá-los, que foi feita utilizando fundamentos de recorte eletrônico.

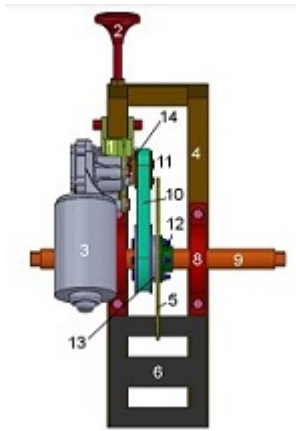


Fig. 2. Estrutura mecânica. O conjunto de alavancas (1 e 2), o rolamento interno aos mancais (7), O conjunto de polias (11 e 13), correia (10), motor (3), flange do eixo (12), mancais (8), a estrutura principal (4), eixo (9).



Fig. 3. Estrutura do cicloergômetro.

III. RESULTADOS

Os resultados alcançados, de acordo com os dados levantados na metodologia, são destacados nesta seção. A Figura 4 demonstra a união dos elementos e suas conexões.

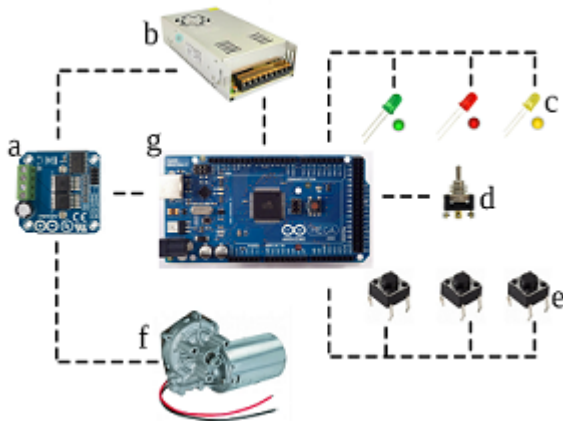


Fig. 4. União dos elementos do projeto. A ponte H (a), a fonte de tensão (b), os LEDs (c), a chave seletora de sentido de rotação (d), os botões de velocidades (e), o motor (f) e o Arduino Mega (g).

A. Motor

O motor atendeu todas especificações adquiridas na metodologia, o que tornou possível o uso adequado de velocidades mínimas e máximas para o cicloergômetro. Em sua velocidade mínima, o motor atingiu 28 RPM, enquanto que na sua

velocidade máxima atingiu 72 RPM. Além disso, o motor se mostrou robusto e pouco ruidoso.

B. Fonte de Tensão

A fonte de tensão foi interligada como mostrado na Figura 4 atuando diretamente com a alimentação do Arduino Mega através do pino “Vin”. Com os membros superiores de uma pessoa de 70 Kg aplicado ao pedal, o consumo de corrente em sua velocidade mínima foi, em média, de 2 A, enquanto que na velocidade média foi 2.39 A e na velocidade máxima foi de 3.20 A.

Acerca da sua comunicação ao BTS7960, a fonte, constantemente, aplica uma tensão de 12V, a qual, posteriormente, será utilizada para alimentação do motor.

C. Ponte H

O BTS7960 provou ser eficiente como driver ponte H, assim como o previsto. A sua integração ao Arduino Mega, ao motor e à fonte de tensão são apresentados na Figura 5. O Arduino Mega é responsável por energizá-lo e transmitir o sinal PWM de forma que o driver seja capaz de controlar o motor.

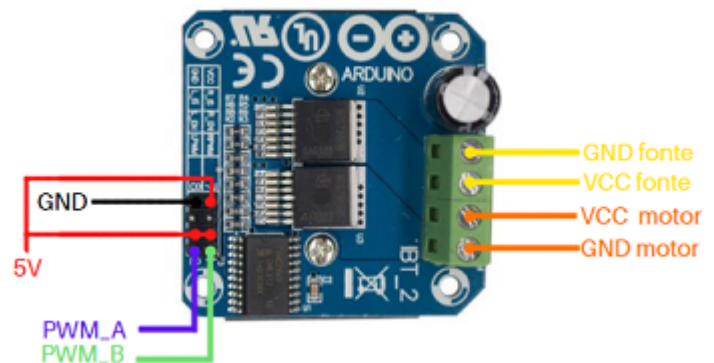


Fig. 5. Diagrama representativo das conexões do BTS7960

D. Código

Utilizando a linguagem de programação Wiring, o Arduino Mega foi programado de modo que o cicloergômetro seja capaz de rotacionar em ambos sentidos e em três velocidades diferentes.

A Figura 6 apresenta o trecho do código que aumenta o PWM de maneira gradual até atingir a velocidade mínima. Da mesma forma acontece para as outras velocidades e para o outro sentido de rotação. Além disso, a programação permite que o cicloergômetro não pare bruscamente, trazendo maior conforto ao usuário.

E. Mecânica e Estrutura

A união de toda estrutura, mecânica, e eletrônica esta destacada na Figura 7.

Na parte mecânica, para que o equipamento atue no modo passivo, deve-se promover tração na correia de modo que haja atrito o suficiente para transferir o esforço do motor aos membros do usuário.

Quanto a estrutura, o metalon tem alta resistência e é considerado um material leve. Com respeito a proteção dos

```

if(leituravell == 1 && leiturachave == 1){

    digitalWrite(led1, HIGH);
    digitalWrite(led2, LOW);
    digitalWrite(led3, LOW);

    for (valor_pwm = 0; valor_pwm < 86; valor_pwm++)
    {
        analogWrite(PWM10, valor_pwm);
        delay(20);
    }
    PWM = 85;
    analogWrite(PWM10, PWM);
}

```

Fig. 6. Código que executa a velocidade mínima

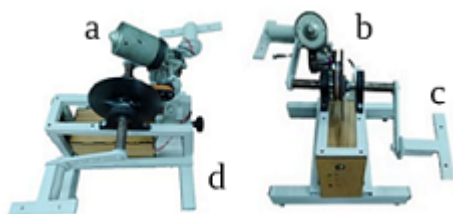


Fig. 7. Vista lateral e frontal do cicloergômetro. Na vista lateral está indicado o motor (a) e a estrutura de sustentação (d); na vista frontal, evidencia-se a estrutura mecânica (b) e os pedais (c)

componentes eletrônicos, utilizando fundamentos de recorte eletrônico através do software Inkscape, uma caixa, apresentada na Figura 8, foi produzida.



Fig. 8. Caixa feita em MDF para proteção dos componentes eletrônicos.

IV. DISCUSSÃO

Para o portador de DRC, haja vista a queixa de ociosidade, destaca-se o uso do aparelho durante o processo de hemodiálise, visto que os pacientes encontram uma motivação ao poderem realizar uma outra atividade durante o processo hemodialítico. Ademais, em questões fisiológicas, observa-se melhora de fatores como sedentarismo, depressão e outras doenças crônicas.

Quanto aos pacientes com DA avançada, dado que a movimentação ativa ortostática está comprometida, tem-se a mobilização passiva como importante maneira de garantir uma melhora no fluxo sanguíneo. Assim, com o aporte de oxigênio aumentado por intermédio do sangue, os usuários podem desenvolver sua capacidade metabólica cerebral, diminuindo a velocidade em que a demência se instala.

O metalon, material utilizado para a estrutura do cicloergômetro, foi selecionado devido a sua durabilidade e leveza, promovendo, assim, maior conforto ao manusear o equipamento.

Devido à alta corrente do sistema, a utilização de fontes não chaveadas foi desconsiderado, visto que essas fontes são maiores e mais pesadas do que a escolhida. A fonte chaveada escolhida proporcionou um funcionamento adequado ao sistema, além disso, por fornecer 12 V em sua saída, foi possível alimentar a plataforma Arduino.

O microcontrolador, dentre as suas funções, destaca-se o recebimento e envio de dados. O Arduino Mega, em conjunto a ponte H, foram responsáveis por administrar o motor, promovendo controle de velocidade e sentido de rotação ao equipamento. Para isso, é necessário que o usuário indique qual sentido e qual velocidade o cicloergômetro deve atuar, por meio de uma chave e um dos três botões. Em versões futuras, indica-se que a interface com o usuário seja melhor estruturada. Uma alternativa seria o desenvolvimento de um aplicativo para dispositivo móvel, permitindo que a velocidade e o sentido de rotação seja controlado pelo aparelho celular do próprio paciente pela comunicação *Bluetooth*.

Dentre as suas vantagens quando comparadas a sistemas de função similar, o cicloergômetro se destaca por promover fácil deslocamento devido seu tamanho e peso, além de contar com um sistema de controle de velocidade e sentido de rotação. Porém, notou-se que a falta do ajuste de altura pode ser um empecilho ao usuário, uma vez que será necessário utilizar um assento com a altura ideal para acompanhar a movimentação do aparelho.

V. CONCLUSÃO

O cicloergômetro tem potencial de êxito em seu modo passivo em pacientes com DRC e DA em estágio avançado, uma vez que, como evidenciado neste artigo, pode auxiliar no processo de melhora do prognóstico de seus usuários.

Visto os benefícios fisiológicos que este aparelho tem potencial de gerar nos pacientes supracitados, propõe-se pesquisas qualitativas acerca desses efeitos cardiovasculares, metabólicos e psicológicos.

Assim sendo, conclui-se que os resultados deste trabalho, diante da metodologia e dos testes realizados, atenderam às expectativas e à demanda do mercado. Além disso, espera-se que as pesquisas propostas alcancem resultados significativos que permitam o envio do aparelho para o Comitê de Ética e Pesquisa. Viabilizando, assim, os estudos quantitativos e o uso em pacientes portadores de doenças neurodegenerativas e neuromotoras.

REFERÊNCIAS

- [1] D. Carvalho, A. C. Cezário, L. Moura, O. Libânio e J. Barbosa. "A construção da vigilância e prevenção das doenças crônicas não transmissíveis no contexto do Sistema Único de Saúde". Em: *Epidemiologia e Serviços de Saúde* 15 (2006), pp. 47–65. DOI: <http://dx.doi.org/10.5123/S1679-49742006000300006>. URL: http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-49742006000300006.

- [2] Regina Márcia Faria de et al. Moura. “Efeitos do exercício físico durante a hemodiálise em indivíduos com insuficiência renal crônica: uma revisão”. Em: *Fisioterapia e Pesquisa* 15 (2008), pp. 86–91. ISSN: 2316-9117. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1809-29502008000100014>. URL: <https://www.scielo.br/j/fp/alyzLLZy3kLWHkVcvS5Q9pQH/abstract/?lang=pt#>.
- [3] Dora Monteiro, Cláudio Martins, Nádia Santos, Marta Infante, Pedro Carrapato, Márcio Pires, Edgar Almeida e Pedro Correia. “Exercício Físico e a Hemodiálise – Relação entre um Programa Regular de Exercício Físico Intradiálítico e a Capacidade Funcional dos Doentes em Programa Regular de Hemodiálise”. Em: *Journal of Aging and Innovation* 7 (2018), pp. 110–129. ISSN: 2182-696. URL: https://www.researchgate.net/publication/330902264_O_Exercicio_Fisico_e_a_Hemodialise_-_Relacao_entre_um_Programa_Regular_de_Exercicio_Fisico_Intradialitico_e_a_Capacidade_Funcional_dos_Doentes_em_Programa_Regular_de_Hemodialise.
- [4] F. F. R. de Lacerda, M. de S. do Sacramento, D. P. Diogo, A. C. N. dos Santos, M. T. Motta e J. Petto. “Exercício físico em indivíduos em hemodiálise: benefícios e melhores indicações - revisão sistemática”. Em: *Revista Pesquisa Em Fisioterapia* 8 (2018), pp. 404–419. ISSN: 2238-2704. DOI: <https://doi.org/10.17267/2238-2704rpf.v8i3.1933>. URL: <https://www5.bahiana.edu.br/index.php/fisioterapia/article/view/1933>.
- [5] Ricardo Cintra Sesso, Antonio Alberto Lopes, Fernando Saldanha Thome, Jocemir Ronaldo Lugon, Yoshimi Watanabe e Daniel Rinaldi Santos. “Relatório do Censo Brasileiro de Diálise Crônica 2012”. Em: *Journal of Systems and Software* 36 (2014), pp. 48–53. ISSN: 0164-1212. DOI: <https://doi.org/10.5935/0101-2800.20140009>. URL: <https://www.scielo.br/j/jbn/a/4kVLvMhr334GYqfj3rG8SHC/?lang=pt>.
- [6] GBD 2019 Dementia Forecasting Collaborators. “Estimation of the global prevalence of dementia in 2019 and forecasted prevalence in 2050: an analysis for the Global Burden of Disease Study 2019”. Em: *The Lancet* (2022), pp. 1–21. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(21\)00249-8](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(21)00249-8). URL: [https://www.thelancet.com/journals/lanpub/article/PIIS2468-2667\(21\)00249-8/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lanpub/article/PIIS2468-2667(21)00249-8/fulltext).
- [7] Adriana Sereniki e Maria Aparecida Barbato Frazão Vital. “A doença de Alzheimer: aspectos fisiopatológicos e farmacológicos”. Em: *Revista de Psiquiatria do Rio Grande do Sul* 30 (2008). ISSN: 0101-8108. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-81082008000200002>. URL: <https://www.scielo.br/j/rprs/a/LNQzKPVKxLSjbTnBCps4XM/?lang=pt#>.
- [8] José Luiz de Sá Cavalcanti e Elias Engelhardt. “Aspectos da fisiopatologia da doença de Alzheimer esporádica”. Em: *Revista Brasileira de Neurologia* 48 (2012), pp. 21–29. URL: <http://files.bvs.br/upload/S/0101-8469/2012/v48n4/a3349.pdf>.
- [9] F. Ferreri, F. Pauri, P. Pasqualetti, R. Fini, G. Dal Forno e Rossini. “Motor cortex excitability in Alzheimer’s disease: a transcranial magnetic stimulation study”. Em: *Annals of neurology* 53 (2003), pp. 102–108. DOI: [10.1002/ana.10416](https://doi.org/10.1002/ana.10416). URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12509853/>.
- [10] P. C. Brum, C. D. M. Forjaz, T. Tinucci e C. E. Negrão. “Adaptações agudas e crônicas do exercício físico no sistema cardiovascular.” Em: *Rev. paul. Educ. Fís.* 18 (2004), pp. 21–31. URL: <http://www.luzimarteixeira.com.br/wp-content/uploads/2009/11/adaptacoes-musculares-ao-exercicio-fisico1.pdf>.
- [11] Maycon de Moura Reboredo et al. “Exercício aeróbico durante a hemodiálise: relato de cinco anos de experiência”. Em: *Fisioterapia em Movimento* 24 (2011), pp. 239–246. ISSN: 1980-5918. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-51502011000200005>. URL: <https://www.scielo.br/j/fm/a/yT6PV8DSmmDXRxTwv6KDvJd/?lang=pt#>.
- [12] Fabiano F. de Lima, Regina C. V. de Miranda, Renata C. Rossi e Silva, Henrique L. Monteiro, Lin S. Yen, Barbara S. Fahur e Susimary A. T. Padulla. “Avaliação funcional pré e pós-programa de exercício físico de pacientes em hemodiálise”. Em: *Revista USP Medicina (Ribeirão Preto)* 46 (2013), pp. 24–35. ISSN: 2176-7262. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2176-7262.v46i1p24-35>. URL: <https://www.revistas.usp.br/rmrp/article/view/62380/65181>.
- [13] Raúl Alexis Basantes Colcha. “Actividad física en pacientes de Alzheimer”. Em: *Universidad Nacional de Chimborazo* (2021). URL: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/7646>.
- [14] UG Bronas, D Salisburly, K Kelly, A Leon, L Chow e F. Yu. “Determination of Aerobic Capacity via Cycle Ergometer Exercise Testing in Alzheimer’s Disease”. Em: *American Journal of Alzheimer’s Disease & Other Dementias* 32 (2017), pp. 500–508. ISSN: 2238-2704. DOI: <https://doi.org/10.1177/1533317517720065>. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1533317517720065>.
- [15] *Motor Bosch Cep 9 390 453 042 12V 75Rpm*. URL: <https://www.casaferreira.com.br/produto/motor-bosch-cep-9-390-453-042-12v-75rpm-75038> (acesso em 14/01/2022).
- [16] Pedro Henrique Fonseca Siqueira e Rodrigo Propato Guerra. *Desenvolvimento de cicloergômetro para pacientes em hemodiálise - Trabalho de Conclusão de Curso - INATEL*.

Desenvolvimento de Dispositivo Portátil Para Eletroestimulação Transcraniana Destinado ao Aprendizado e Área Esportiva

Nicole Luz Martins, Vitória Campos Neves, Elisa Rennó Carneiro Dester, Luma Rissatti Borges do Prado, Filipe Bueno Vilela e Juliano Augusto Nascimento Leite

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

nicoleluz@geb.inatel.br, vitoria.campos@geb.inatel.br, elisa.renno@inatel.br, luma.prado@inatel.br,

filipe.bueno@inatel.br e juliano.leite@inatel.br

Abstract—This article was proposed to present the continuation of the development of a portable device for transcranial electrostimulation aimed at learning and better performance in the sports area. Such electrostimulation is developed through direct current, which is a non-invasive brain electrostimulation method that generates new neural pathways, through the proximity or distance of firing neurons, influencing greater brain activation. Through a literature review, the electrical circuit was improved and tested at Inatel's e-Health Innovation Center laboratory, in order to ensure greater safety of the equipment for the user.

Index Terms—Transcranial Direct Current Electrostimulation, brain electrostimulation, neuromodulation, Electrical Circuit.

Resumo—Este artigo foi proposto para apresentar a continuação do desenvolvimento de um dispositivo portátil para eletroestimulação transcraniana destinado ao aprendizado e a melhor performance na área esportiva. Tal eletroestimulação é desenvolvida através de corrente contínua, o qual é um método de eletroestimulação cerebral não invasiva que gera novas vias neurais, mediante a proximidade ou afastamento dos neurônios do disparo, influenciando na maior ativação cerebral. Por meio de revisão bibliográfica, o circuito elétrico foi aprimorado e testado no laboratório e-Health Innovation Center do Inatel, com o intuito de garantir maior segurança do equipamento para o usuário.

Palavras chave—Eletroestimulação Transcraniana por Corrente Contínua, eletroestimulação cerebral, neuromodulação, Circuito Elétrico.

I. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento científico e tecnológico que se tem verificado na área do esporte e aprendizado, sobretudo nos últimos anos, tem como resultado a busca por diferentes recursos capazes de contribuir para a melhoria do desempenho físico de atletas e um aprendizado mais rápido e eficiente para aqueles que buscam uma melhora cognitiva [1,2,3].

Neste contexto, novas técnicas surgiram na busca pela modulação cerebral, e entre elas se destaca a Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC). A ETCC é uma técnica não invasiva e indolor que se caracteriza pela entrega de corrente elétrica de baixa intensidade, entre 1mA a 4mA, ao couro cabeludo por meio de dois ou mais eletrodos [4].

A ETCC possui a possibilidade de uso diagnóstico, prognóstico e terapêutico, além das vantagens de ser individualizada e focada na área-alvo, com efeito imediato e a longo prazo [5]. A estimulação feita através do anodo para o cátodo possui a função de aumentar a excitabilidade cortical, favorecendo a despolarização da membrana neuronal. Entretanto, se

a corrente for aplicada no sentido contrário, do cátodo para o anodo, há um efeito inibitório, causando a hiperpolarização da membrana neuronal [4,6,7].

Pesquisas realizadas sugerem que a diminuição da excitabilidade do córtex motor pode ser um dos fatores responsáveis pela diminuição da tolerância à atividade física [3,5]. Além disso, foi constatado que a ETCC anodal consegue alterar a atividade do sistema nervoso autônomo de atletas, como reflexo do aumento da modulação parassimpática em repouso [8].

Diante disso, o artigo apresenta a continuação do trabalho desenvolvido nos laboratórios do e-Health Innovation Center do Instituto Nacional de Telecomunicações: Um eletroestimulador transcraniano por corrente contínua e capaz de modular a excitabilidade cortical, influenciando o desempenho motor e cognitivo subsequente à aplicação da eletroestimulação. O objetivo deste trabalho é expor os avanços obtidos ao decorrer dos estudos relacionados à eletroestimulação cerebral e os métodos utilizados no desenvolvimento do protótipo.

II. MATERIAL E MÉTODOS

A placa de circuito impresso foi desenvolvida usando o software "Altium Design", considerando as especificações previstas no trabalho antecessor e impressa no FabLab do Inatel

Outra linha de pesquisa do trabalho foi o desenvolvimento de um circuito limitador de corrente. Com isso, o estudo foi feito por meio de uma análise dentre os projetos já disponíveis na literatura científica. A plataforma de busca utilizada foi o "Google Acadêmico", com as palavras chaves: Circuitos Elétricos Limitador de Corrente (*Current Limiting Electrical Circuits*), Projeto Limitador de Corrente (*Current Limiting Design*), Transistores (*Transistors*), Limitadores de Corrente com Transistores (*Current Limiters With Transistors*), Interruptores de Alimentação Limitados por Corrente Ajustável de Precisão (*Precision Adjustable Current-Limited Power Switches*).

Após a leitura e estudo de 20 artigos, obtidos por meio de filtros de busca anteriormente citados, foi identificada a melhor alternativa para o progresso do circuito limitador de corrente e, consequentemente, fornecendo maior segurança no circuito do eletroestimulador transcraniano. Com isso, foi feita a simulação do circuito por meio do software online "Multisim", realizando a primeira sequência de testes do circuito. A Tabela 1 apresenta

a lista de todos os componentes utilizados para a montagem do hardware.

Os componentes foram testados na placa de cobre com o uso de um multímetro e osciloscópio. O primeiro teste realizado foi o das correntes de saída, verificando se a faixa determinada, de 1 mA a 3.5 mA, estavam sendo fornecidas na saída do circuito. Depois, verificou-se o funcionamento do LED e o aumento gradativo da corrente no momento em que as chaves eram acionadas no circuito.

A confecção de um arco que armazenará os eletrodos durante a eletroestimulação também foi desenvolvida por meio do software "TinkerCad". Com o modelo pronto, é possível realizar sua impressão 3D e ao adicioná-lo ao projeto.

TABELA I
COMPONENTES UTILIZADOS

QUANTIDADE	DESCRIÇÃO
1	DC Power, 9V
1	Resistor, 1K
1	Resistor, 1000K
5	Resistor, 1.2K
2	Capacitor, 10nF
1	Capacitor, 2.2F
1	LM358
1	LM317
1	LED Vermelho
1	Ground

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante o desenvolvimento do projeto e testes, obteve-se resultados compatíveis com os objetivos traçados. Foi visto que o circuito fornece uma corrente de saída de 1 mA a 3,5 mA e garante um crescimento gradativo na saída da corrente em função do acionamento das chaves implementadas no circuito.

A. Confecção da Placa de Circuito Impresso (PCI)

A PCI foi desenvolvida no software "Altium Designer" e enviada para o FabLab do Inatel para realizar a impressão e as perfurações na placa de cobre. A figura 1 ilustra o Layout feito.

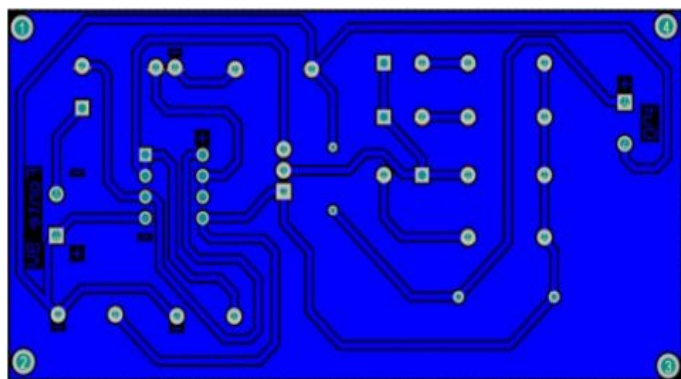


Fig. 1. Layout do circuito desenvolvido no Altium Designer

B. Testes de Bancada com a PCI

Os testes de bancada foram realizados no laboratório do e-Health Innovation Center do Inatel. Com o uso de um multímetro, foi verificada as correntes de saída do circuito, como pode ser visto na figura 1. É possível observar que a

corrente fornecida permanece na faixa entre 1 - 3.5 mA e o led aceso ou desligado indica o acionamento do circuito. Os resultados obtidos nos testes de corrente do circuito podem ser visualizados na tabela 2, indicando que com o acionamento das chaves a corrente aumenta gradativamente.

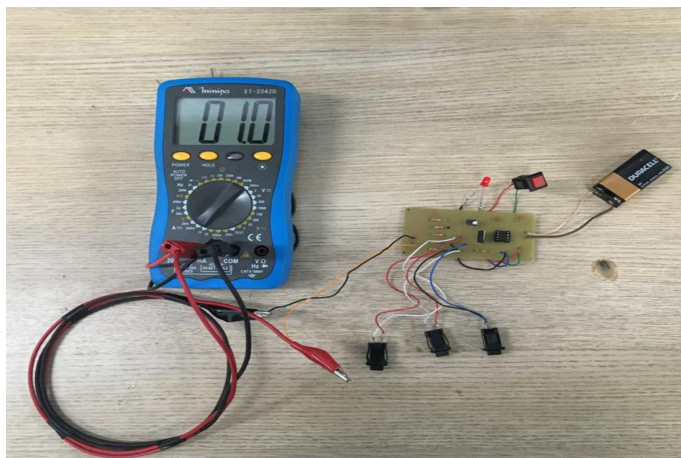


Fig. 2. Circuito ligado, corrente de 1mA fornecida inicialmente

TABELA II
TESTES DE CORRENTE NO CIRCUITO

CHAVE ACIONADA	CORRENTE DE SAÍDA (mA)
ON/OFF	1
ON/OFF E CHAVE 1	2,1
ON/OFF, CHAVE 1 E 2	3,1
ON/OFF CHAVE 1, 2 E 3	3,5

C. Arco e caixa de armazenamento do dispositivo

O arco para acoplar os eletrodos futuramente foi feito no software TinkerCad. Além do arco foi desenvolvido uma pequena caixa para armazenar o hardware e deixá-lo com o design comercial como pode ser visualizado na figura 7.

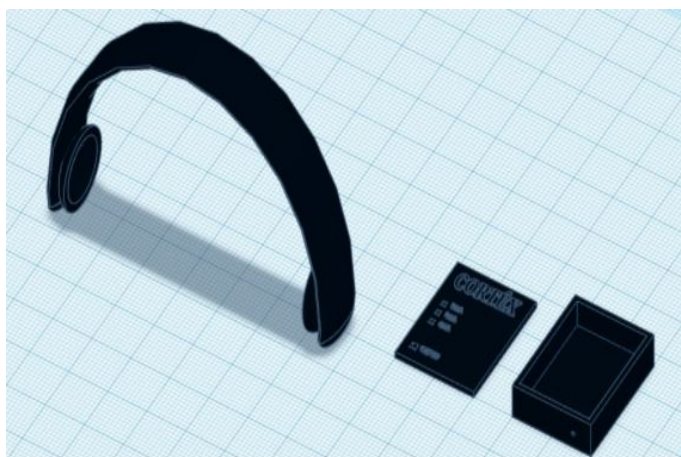


Fig. 3. Layout do arco e caixa de armazenamento do circuito feitos no TinkerCad

IV. DISCUSSÃO

Apesar da necessidade da realização de futuros testes de segurança, os resultados obtidos foram compatíveis ao objetivo proposto. O circuito eletroestimulador desenvolvido demonstra

ser um circuito que fornece de saída uma corrente contínua com valores próximos de 1mA a 3,5mA. De fácil uso e ajuste dos valores de corrente na saída.

A variação na faixa de corrente é importante para futuros testes em atletas e pessoas interessadas em aumentar a excitabilidade cortical para o aprendizado mais rápido e eficaz. Com a possibilidade de alteração dos valores de corrente em um teste, é possível adequar qual a melhor faixa para cada necessidade de forma individual.

A escolha do formato do arco como dispositivo de armazenamento para os eletrodos foi feita pensando na praticidade e eficiência do eletroestimulador. O arco dimensionado como um fone é eficiente pois ficará sobre o córtex do usuário, sendo a área de foco no estudo para a eletroestimulação cerebral destinada ao aprendizado e área esportiva. Como o fone de ouvido é um aparelho já utilizado por muitas pessoas, possivelmente, haverá uma maior adesão no uso do eletroestimulador também.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o estudo, foram exibidos os avanços em relação ao eletroestimulador transcraniano, confirmando a eficácia do filtro passa baixa, o qual elimina os ruídos provocados pela rede, assim como a impressão das placas de circuito Impresso (PCI), desenvolvida através da utilização do software “Altium Designer”. Após a impressão e a solda dos componentes, testes foram realizados, comprovando os resultados obtidos nos simuladores. Por fim, após as confirmações de tais resultados, será feito o estudo sobre o transdutor para melhores resultados em relação a segurança do usuário.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

TOKISH, J. M. et al. Ergogenic aids: a review of basic science, performance, side effects, and status in sports. The American Journal of Sports Medicine, Baltimore, v. 32, no. 6, p.1543-1553, Sept. 2004.

[2] LIPPI, G. et al. Updates on improvement of human athletic performance: focus on world records in athletics. British Medical Bulletin, v.87, p.7-15. 2008.

[3] Vitor-Costa, Marcelo et al. A estimulação transcraniana por corrente contínua como recurso ergogênico: uma nova perspectiva no meio esportivo. Revista da Educação Física / UEM [online]. 2012, v. 23, n. 2 [Acessado 12 Janeiro 2022] , pp. 167-174. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/reveducfis.v23i2.10670>; Epub 28 Maio 2013. ISSN 1983-3083. <https://doi.org/10.4025/reveducfis.v23i2.10670>.

[4] NITSCHKE, M. A. et al. Modulation of cortical excitability by transcranial direct current stimulation]. Nervenarzt, v. 73, no. 4, p. 332-335, Apr. 2002.

[5] Grossi, M.G.R; Grossi, V.G.R; Souza, J., J. R. L. M; Santos, E. D. Uma Reflexão Sobre A Neurociência E Os Padrões De Aprendizagem: A importância de perceber as diferenças. 2014. doi: 10.28998/2175-6600.

[6] SIDHU, S. K. et al. Locomotor exercise induces long-lasting impairments in the capacity of the human motor cortex

to voluntarily activate knee extensor muscles. Journal of Applied Physiology, v. 106, no. 2, p. 556-565, Feb. 2009.

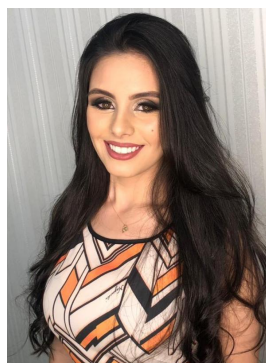
[7] ROSENKRANZ, K. et al. Diminution of training-induced transient motor cortex plasticity by weak transcranial direct current stimulation in the human. Neuroscience Letters, v. 296, n. 1, p. 61-63, Dec. 2000.

[8] MONTENEGRO, R. A. et al. Transcranial direct current stimulation influences the cardiac autonomic nervous control. Neuroscience Letters, v. 497, no.1, p. 32-36, 2011.

AUTORES



Nicole Luz Martins, graduanda do 6º período do curso de Engenharia Biomédica do Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), membro do e-Health Innovation Center do Inatel e bolsista no Centro de Integração Científica, Cultural e Tecnológica (CICCT) do Inatel.



Vitória Neves Campos graduanda do 5º período do curso de Engenharia Biomédica do Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), membro atuante do e-Health Innovation Center do Inatel.



Luma Rissatti Borges do Prado, Formada em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações e mestranda em Engenharia Biomédica na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Atualmente é especialista em sistemas no Inatel, atuando no desenvolvimento de projetos para saúde no Inatel Competence Center e na orientação de projetos no eHealth Innovation Center. Foi monitora das disciplinas de Equipamentos Médicos, Química e Processamento Digital de Sinais no Inatel. Já atuou na área de Engenharia Clínica nos hospitais Samuel Libânio e Antônio Moreira da Costa..



Elisa Rennó Carneiro Dester, Possui graduação em Fisioterapia pela Universidade Gama Filho (1999) e mestrado em Ciências da Motricidade Humana pela Universidade Castelo Branco (2003). Tem experiência na área de Ciências da Saúde atuando como professora nos seguintes temas: Anatomia Humana, Fisiologia Humana, Engenharia de Reabilitação e Fisioterapia aplicada à Saúde da Mulher.

Vem desenvolvendo pesquisas na áreas de Saúde da Mulher, tecnologias assistivas, Engenharia Biomédica e Biomecânica.



Filipe Bueno Vilela, graduado em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), mestrando em Engenharia de Materiais com foco em biomateriais pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Coordenador do e-Health Innovation Center do Inatel, professor auxiliar da mesma instituição. Professor do curso técnico em eletrônica da Escola Técnica de Eletrônica “FMC”.



Juliano Augusto Nascimento Leite, nasceu em Itajubá, MG, em 14 de outubro de 1975. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI e mestrado em Engenharia Biomédica pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Atuou como Engenheiro Clínico de 2006 até 2016 no Hospital Tereza Ramos em Lages – SC. Foi Engenheiro de Campo da Philips Medical Systems de 2016 a 2019. Atuou como

professor, coordenador em Engenharia Elétrica e Pró-Reitor de Pesquisa, Extensão e Pós Graduação na Universidade do Planalto Catarinense – UNIPLAC de 2010 até 2017. Atualmente é professor no Curso de Engenharia Biomédica, e coordenador do curso de pós-graduação em Engenharia Clínica e Engenharia Biomédica do Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL.

Introdução à Segurança Cibernética para Serviços de Assistência Médica e equipamentos médicos

Bruno César Barberi Franco Pinto, Flípe Bueno Vilela, Luma Rissatti Borges do Prado, Elisa Renno Carneiro Dester
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
bruno.c@geb.inatel.br, flípe.bueno@inatel.br, luma.prado@inatel.br, elisa.renno@inatel.br

Abstract—The present document clarifies some of the essential matters for comprehending Cybersecurity applied to Healthcare and medical devices. It has been developed due to the increase of threats that affect the healthcare businesses in Brazil and worldwide. It also displays a wide view of the Industry's fragilities and the methods used to fight them.

Index Terms—Cybersecurity, medical devices, PenTest, regulations, Risk Management.

Resumo—Este documento elucida questões fundamentais para o entendimento de aplicações de Segurança Cibernética em Serviços de Assistência Médica e em equipamentos médicos. Foi desenvolvido em decorrência do aumento das ameaças que abalam o setor da Saúde no Brasil e no mundo e providencia uma visão abrangente acerca das fragilidades da Indústria e sobre os métodos existentes para combatê-las.

Palavras chave—Cibersegurança, equipamentos médicos, Gerenciamento de Riscos, regulamentações, PenTest.

I. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico que se estende aos serviços de saúde os torna cada vez mais dependentes de conectividade. Hospitais, clínicas médicas e postos de saúde experienciam gradualmente o aumento no número de dispositivos conectados à rede e armazenam cada vez mais informações de seus pacientes. Lidar com dados importantes e serviços essenciais para a vida os torna sensíveis, pois uma falha pode resultar em vazamentos de dados, mau funcionamento da logística e organização ou problemas de saúde [1].

No entanto, abusos e violações de segurança crescem sobretudo nos serviços de assistência médica - justamente por ser o mais lucrativo - e os empreendimentos se mantêm comumente vulneráveis por falta de preocupação técnica em Cibersegurança. A empresa de segurança cibernética Check Point divulgou resultados de uma pesquisa que informa o aumento de 45 por cento na quantidade de ataques a serviços de saúde no mundo entre novembro e dezembro de 2020, mais do que o dobro do crescimento em todos os outros setores [2].

Considerando a despreocupação que perdura neste setor, este artigo busca elucidar questões de segurança cibernética nos serviços de saúde, facilitando a introdução ao assunto e servindo como um guia inicial, especialmente - mas não somente - para alunos da Engenharia Biomédica do Inatel que desejem se aprofundar no tema e se basear neste documento para direcionar suas pesquisas futuras. Para isso, serão expostos critérios adotados por alguns países para aprovar tais equipamentos no mercado e as ferramentas ou métodos empregados para analisar suas vulnerabilidades, providenciando uma perspectiva

do cenário atual em relação às preocupações com segurança no setor da Saúde.

II. METODOLOGIA

Inicialmente o estudo teve como objetivo a criação de um referencial didático para ilustrar possíveis falhas em uma unidade conectada à rede e demonstrar o funcionamento das ferramentas empregadas nos testes de vulnerabilidade. Para isso, foi utilizado um microcontrolador ESP8266 NodeMCU ESP32E. O dispositivo (que possui um módulo WiFi) foi configurado para se conectar a uma rede privada e gerar um endereço IP local correspondente a uma página da web em que eram exibidos valores instantâneos de temperatura, captada por um sensor ligado diretamente ao MCU. Depois disso, foram utilizadas as ferramentas de varredura Nmap e Zenmap para capturar informações de conexão do dispositivo e comparar os resultados obtidos, simulando uma fase de varredura em um teste de intrusão.

A procedente etapa foi uma revisão bibliográfica no Google Acadêmico e em sites de empresas e órgãos de diversas nacionalidades que são referência no assunto, como o NIST, AAMI, ANSI, Anvisa, FDA e MDCG. Foram selecionados artigos científicos que tratassem do assunto de segurança cibernética e que se mostrassem relevantes para os tópicos de Gerenciamento de Riscos, Análise de Vulnerabilidades, ameaças cibernéticas em serviços de assistência médica e em equipamentos médicos. As informações escrutinadas deveriam ser de teor oficial para órgãos de saúde do Brasil, Estados Unidos, União Europeia ou grupos renomados especializados no assunto.

III. SEGURANÇA CIBERNÉTICA

Segurança cibernética é um conjunto de práticas que visam a proteção de pessoas, sistemas, computadores ou dados contra ataques cibernéticos que intentem danificar, furto ou ameaçar de qualquer maneira algum dos elementos descritos.

Por consequência, a Segurança Cibernética se relaciona à privacidade e, apesar de ser muitas vezes tido como um dever de cada um de proteger a sua própria intimidade, comumente essa tarefa é delegada a uma terceira parte; ao optar por armazenar os dados em nuvem ou fornecer dados pessoais a uma loja virtual, é preciso confiar que essas informações estarão seguras em suas mãos. No entanto, nem sempre o provedor do serviço pode garantir a proteção do usuário e ele fica à mercê dessa hipótese.

A preocupação se torna especialmente relevante quando ligada a serviços de saúde, como hospitais e clínicas médicas,

pois prestam serviços essenciais e armazenam informações de pacientes.

IV. PREOCUPAÇÕES E CONSEQUÊNCIAS

Ransomwares têm sido motivo de singular preocupação na área de Segurança; são um tipo de *malware* que criptografa os dados da vítima e exige um valor monetário para devolver as informações, normalmente negociada em criptomoedas. Os danos causados podem ser maiores do que o esperado, visto que nem sempre é possível recuperar todos os dados e as vítimas podem ter de pausar seus serviços. Além disso, é comum acontecer vazamento de dados.

Houve crescimento da ameaça em todos os setores da Indústria. Os principais alvos seguem sendo o Estado e a Educação, mas os ataques à Saúde representaram entre 15 e 20 por cento dos ataques totais no mundo durante o ano todo, de acordo com o *Sonicwalls Cyber Threat Report*[3].

O estudo também relatou o aumento de aproximadamente cem por cento nos ataques de ransomware no mundo entre 2020 e 2021, como observado na figura 1.

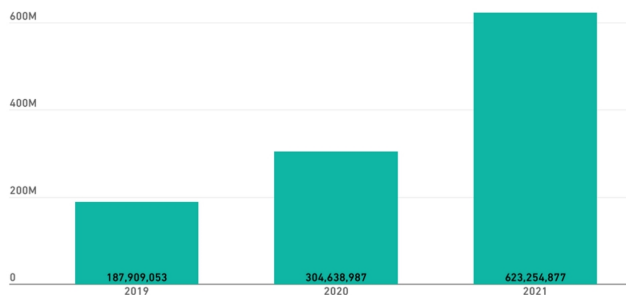


Fig. 1. Registro global de ataques de *ransomware* em 2019, 2020 e 2021, retirado de *Sonicwall Cyber Threat Report 2022*

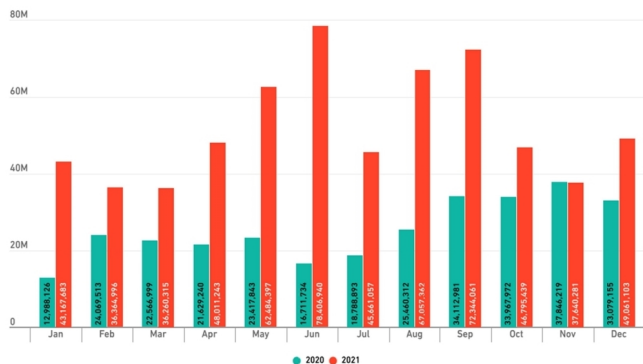


Fig. 2. Relação dos ataques de *ransomware* no mundo, comparando 2020 e 2021, *Sonicwall Cyber Threat Report 2022*

Parte do crescimento de ataques com *Ransomware* se deve ao fato de que existe uma Indústria fornecendo este serviço. Ou seja, ataques cibernéticos estão disponíveis sob demanda para os interessados. Isso é chamado *Ransomware as a Service* (RaaS/serviço de provimento de *Ransomware*).

No trabalho *Perspectives in Healthcare Security*[4], pela parceria Philips – CyberMDX, participaram 130 profissionais de TI, Engenheiros e Técnicos Biomédicos que trabalham

em hospitais, dos quais menos de 11 por cento relatou que a Segurança Cibernética estava como alta prioridade em seus investimentos. Além disso, o estudo também demonstrou que os hospitais participantes, em sua vasta maioria, não possuíam proteção contra ameaças comuns e conhecidas; 48 por cento não estava protegido contra o BlueKeep, 64 por cento contra WannaCry e 75 por cento contra NotPetya.

Enquanto isso, o estudo *Ransomware Trends 2021*[5], do *HHS Cybersecurity Program, Office of Information Security*, mostra que em pelo menos 72 por cento dos incidentes com *Ransomware* nos EUA em 2021 houve vazamento de dados.

Outra questão clara no estudo da parceria Philips – CyberMDX[4] é o alto custo para os hospitais que têm de paralisar seus serviços. Para hospitais de médio porte o custo é equivalente a 45 mil dólares por hora.

V. REGULAMENTAÇÃO PARA EQUIPAMENTOS

Para comercializar um novo equipamento biomédico, o fabricante precisa da permissão de um órgão responsável - no Brasil a Anvisa, nos Estados Unidos, a FDA. Naturalmente são exigidos diversos documentos que comprovem a segurança do equipamento para evitar adversidades que ameacem o paciente, o proprietário ou qualquer outra pessoa.

Há diferentes documentos redigidos por organizações não governamentais ou empresas privadas que estabelecem uma série de procedimentos, técnicas e boas práticas para evitar falhas de segurança cibernética em equipamentos médicos. Apesar dos documentos serem frequentemente não impositivos, os órgãos de saúde aprovam mais facilmente equipamentos desenvolvidos de acordo com as instruções de alguma instituição reconhecida, cujos padrões se tornaram um consenso, ou então acabam reconhecendo formalmente certas diretrizes. Essas características variam de acordo com o órgão responsável e devem ser verificadas nos documentos de cada respectivo órgão.

Vale salientar que nem todas as diretivas se restringem a equipamentos; há aquelas que tratam o assunto de forma mais abrangente e podem valer tanto para infraestrutura cibernética quanto para equipamentos, ou então não são específicas para a Indústria da Saúde.

As orientações frequentemente tratam o assunto tendo em vista as “Considerações pré-mercado” e “Considerações pós-mercado”, as quais abordam temas como gerenciamento de riscos, resposta a incidentes, testes de segurança e partilha de informações sobre vulnerabilidades. Dessa forma, a segurança do equipamento é prezada do início até o fim de sua utilidade [6].

As seguintes são algumas das diretrizes que aparecem com maior destaque:

A. ANSI/AAMI/ISO 14971 – Aplicação de Gerenciamento de Riscos em equipamentos médicos [7];

B. IEC 80001 – Aplicação de Gerenciamento de Riscos[8];

C. AAMI TIR57 – Princípios para segurança de dispositivos médicos - Gerenciamento de Riscos[9];

D. IEC 62304 – Software para dispositivos médicos - Processos de ciclo de vida do software[10];

E. UL 2900-2-1 – Requisitos particulares para componentes conectáveis à rede de sistemas de serviços de assistência médica[11];

F. MDR – Medical Device Regulation[12];

G. NIST SP 800-30 Revision 1 – Guia para realizar avaliações de risco[13];

Além delas, há outros documentos que auxiliam o fabricante a direcionar seus esforços:

Anvisa - Princípios e práticas de cibersegurança em dispositivos médicos[14]: O guia representa o entendimento da Anvisa sobre as melhores práticas em equipamentos médicos com relação a Cibersegurança. Trata-se de um documento não impositivo, escrito para auxiliar sobretudo o fabricante no desenvolvimento de seus produtos. Foi redigido com base em diversas referências, mas com destaque ao material desenvolvido pelo IMDRF (International Medical Device Regulators Forum), que leva o mesmo nome deste.

IMDRF – Princípios e Práticas de Cibersegurança em Equipamentos Médicos[6]: O IMDRF é um grupo internacional de reguladores de equipamentos médicos. A consociação criou este documento com intuito de padronizar mundialmente conceitos e práticas fundamentais sobre Cibersegurança especificamente nesses equipamentos.

AAMI (“Association for the Advancement of Medical Instrumentation” / Associação para o avanço de instrumentação médica) – 14971 - Aplicação de Gerenciamento de Riscos em equipamentos médicos[7]: O documento serve como apoio para a Indústria de equipamentos médicos, utilizando práticas bem estabelecidas para elucidar questões importantes sobre Gerenciamento de Riscos.

NIST (“National Institute of Standards and Technology”/Instituto Nacional de Padrões e Tecnologias) – Framework para melhorar a Cibersegurança em infraestruturas críticas[15]: Em contraste aos prévios documentos, o alvo deste não é particularmente a Indústria da saúde, mas pode ser aplicado a qualquer que seja o setor. De acordo com o próprio documento, seu papel é: “identificar uma abordagem priorizada, flexível, repetível, baseada em desempenho e econômica, incluindo medidas e controles de segurança da informação que podem ser adotados voluntariamente por proprietários e operadores de infraestrutura crítica, para ajudá-los a identificar, avaliar e gerenciar riscos cibernéticos.”

Há ainda várias outras diretivas importantes. As discutidas aqui expõem apenas algumas das sobressalentes em diversos assuntos de Cibersegurança nos serviços de assistência médica.

VI. VULNERABILIDADES

Qualquer dispositivo, rede, estrutura física ou mesmo equipe possui alguma vulnerabilidade que pode ser explorada para

alterar seu funcionamento. De acordo com a definição do NIST [16], uma vulnerabilidade é uma “fraqueza em um sistema de informação, procedimentos de segurança do sistema, controles internos ou implementação que pode ser explorada ou desencadeada por uma fonte de ameaça.

VII. GERENCIAMENTO DE RISCOS

O Gerenciamento de riscos é vital em empresas de infraestrutura crítica, e se torna crescentemente importante considerar o aspecto de Cibersegurança no processo, implementando métodos de proteção e prevenção contra eventuais ataques. A ação pode poupar gastos inesperados e contribuir para que a empresa ou o produto funcionem perenemente.

O NIST (Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia) [15] e a IEC [8]80001 disponibilizam frameworks para melhorar a segurança em ambientes de infraestrutura crítica e podem ser utilizados para se preparar, proteger ou reagir a ataques cibernéticos. Enquanto o framework IEC 80001 [8] consiste em dez etapas, o do NIST é mais sucinto e é composto por apenas cinco.

Framework do NIST [15]:

Identificar (1), proteger (2), detectar (3), responder (4), recuperar (5).

Framework da IEC 80001 [8]:

Identificar as ameaças (1), identificar as causas das ameaças e ameaças resultantes dela (2), identificar consequências inesperadas e seus riscos (3), estimar as chances de consequências inesperadas (4), examinar os riscos (5), identificar as medidas de contenção dos riscos e reavaliá-los (6), implementar medidas de controle dos riscos (7), verificar as medidas implementadas (8), examinar novos riscos que surjam da nova implementação (9), estimar e reportar os riscos restantes (10).

Há ainda um terceiro método proposto por Srinivasan Jagannathan, Ph. D., M.B.A [17]. especialmente para equipamentos médicos, cujo bom funcionamento depende de uma equipe multidisciplinar, com conhecimento profundo sobre equipamentos médicos e a segurança cibernética do ambiente. A proposta foi moldada a partir de outro framework militar de Cibersegurança chamado OPSEC, com adaptações que extrapolam sua função original de somente proteger informações e aplicado a dispositivos médicos. O nome desse procedimento é Análise Preliminar de Ameaças Cibernéticas (PHA – “Cybersecurity Preliminary Hazards Analysis”).

É importante documentar cada fase com afinco, para que seja possível consultar o trabalho futuramente ou analisar etapas concluídas.

O framework é descrito em 4 etapas, reexecutadas após cada estágio de desenvolvimento do produto:

A. Fase de descoberta de valores:

Listam-se quais características são importantes na segurança daquele dispositivo, ou o que há de valor nele que deve ser protegido. Por exemplo, segurança do paciente ou suas informações pessoais. O intuito não é definir qual é mais valiosa, mas listar todos os valores de interesse. Esse método conserta uma questão comum em todos os procedimentos de Gerenciamento de Riscos, que é o fato de cada stakeholder envolvido priorizar um valor diferente. Por exemplo, os médicos,

o governo, o hospital e os pacientes possuem, cada um, uma prioridade e preocupação distinta.

Nessa etapa, a equipe deve aprender o máximo possível sobre o dispositivo, incluindo características técnicas de hardware, firmware e software, armazenamento, conexão, quem é seu usuário e o ambiente em que será utilizado. Deve também definir quais métodos já foram empregados para mitigar as falhas.

B. Fase de descoberta de ameaças:

São listadas todas as ameaças possíveis para a estrutura do dispositivo ou para os valores elencados, além das ameaças a outros equipamentos que interajam com este no ambiente de funcionamento (um computador, um monitor multiparamétrico, um roteador WiFi), para evitar movimentação lateral durante um ataque.

C. Fase de avaliação das ameaças:

O objetivo é estimar a probabilidade de ocorrência das ameaças e o seu grau de impacto. Essas características podem ser medidas qualitativamente ou quantitativamente, ou então das duas formas. Para isso, utiliza-se uma matriz com dimensões que representam, cada uma, a probabilidade ou o impacto da ameaça, sendo que, para medir as duas grandezas, são utilizados números (e nesse caso é possível fazer análises matemáticas com a matriz) ou valores descritivos, como “alto risco”, “baixo risco”, “probabilidade média”. A ordem da matriz pode ser definida de acordo com o projeto.

D. Fase de mitigação das ameaças:

As ameaças mais contundentes devem ser suprimidas. É impossível eliminar todas, mas considerando as características e necessidades de cada equipamento, os resultados obtidos através das matrizes, as questões financeiras e as regras ditadas pelos órgãos de saúde responsáveis pela sua aprovação, o fabricante pode fazer escolhas mais sábias.

VIII. PENTESTS

PenTests (testes de penetração/intrusão) são empregados em avaliações de risco em ambientes tecnológicos (equipamentos, redes). Para isso, uma empresa contratada invade o sistema alvo da mesma forma que um invasor real o faria. O profissional busca por falhas e abusa delas para comprometer o sistema (de forma segura), podendo então estabelecer os principais riscos e seu grau de impacto para o contratante, além de demonstrar que determinada fragilidade é passível de abuso. Testes de penetração são extremamente burocráticos e complexos e, por isso, exigem conhecimento e experiência em TI, Cibersegurança, Redes e diversas qualificações. Para executar um teste de intrusão é preciso seguir certas etapas, que se organizam normalmente em cinco ou sete estágios. São eles:

A. Planejamento e Reconhecimento:

Antes de iniciar o trabalho é preciso definir o escopo dos testes; quais sistemas deverão participar ou o quão afundo o profissional pode chegar no sistema. Definidos esses parâmetros, o hacker pode iniciar de fato seu trabalho,

que começa com um estudo profundo do alvo e coleta de informações. Grande parte pode ser obtida passivamente (sem qualquer contato direto com o alvo) e está disponível na internet. Essa prática é conhecida como OSINT (“Open Source Intelligence Gathering” /Coleta de informações amplamente disponíveis) e é de extrema importância para um PenTest.

Quando coleta informações de forma ativa, o Hacker passa a interagir com o alvo, seja navegando por seu website ou vigiando seu tráfego (sniffing). Uma ferramenta útil é o Wireshark.

Neste momento o PenTester está em busca de qualquer informação que poderá ser conveniente em etapas posteriores para violar o sistema; quanto mais informação, melhor. Podem ser websites da corporação, dados internos de funcionários ou até suas informações pessoais e de redes sociais.

Há ferramentas que automatizam a coleta de informações, como o OSINTgram, Sublist3r e o theHarvester, disponíveis em Linux. Outro método relevante de coleta de informações é buscando no Google. A ferramenta de busca, quando alimentada com os comandos corretos, exhibe informações muito úteis para um PenTester. Inclusive, é possível encontrar versões antigas de um website buscando no cache do Google. Assim, talvez sejam encontradas informações mais velhas importantes ou que contenham alguma fragilidade que tenha sido postada por engano. Essa prática é chamada Google Hacking.

A fase de Reconhecimento é a etapa mais dispendiosa e importante do processo, pois será a base de todo o teste.

B. Scanning

É feita a varredura da rede ou equipamento para obter mais informações técnicas sobre o alvo, como seu Sistema Operacional, portas abertas, quais serviços executam e sob quais protocolos.

Para isso, a ferramenta mais utilizada é o Nmap, que disponibiliza uma variedade de opções para escanear o alvo, como varredura rápida, seleção de portas, seleção de protocolos (UDP, TCP), modo furtivo ou seleção de alvos na rede.

C. Análise de vulnerabilidades

As vulnerabilidades são identificadas e medidas em grau de impacto. Com as informações adquiridas, um Hacker experiente deve ser capaz de calcular e prever algumas delas, mas é comum utilizar ferramentas para automatizar essa tarefa também. Dois softwares comuns são o Nessus e o OpenVAS, sendo o último grátis.

D. Exploração das vulnerabilidades

Conhecendo todo o sistema e suas principais vulnerabilidades é possível explorar as falhas e atacar o alvo. A escolha do método de invasão deve variar de acordo com as informações coletadas e com o propósito do ataque, seja roubar informações, quebrar senhas, escalar privilégios ou paralisar os serviços. Uma ferramenta comum para orquestrar ataques é o Metasploit, que executa uma variedade de incursões de acordo com a vulnerabilidade indicada. O invasor percorre seu banco de dados e seleciona o ataque que julgar mais interessante.

E. Documentação

O Hacker analisa todas as vulnerabilidades encontradas recomenda mitigações para as falhas. O documento também deve registrar todo o processo do PenTest para propósitos futuros ou pela segurança do contratante, garantindo que o teste respeitou os limites previamente combinados.

IX. TESTES COM O ESP8266

A fim de demonstrar alguns dos procedimentos empregados para analisar as vulnerabilidades em equipamentos, será descrito um teste em um microcontrolador ESP8266 NodeMCU ESP12E. O objetivo é apresentar algumas ferramentas utilizadas em PenTests e em Análises de Vulnerabilidades.

O dispositivo foi ligado a um sensor de temperatura DHT11 e programado para se conectar à internet através de um roteador, acessado somente por ele e pela máquina utilizada na invasão.

Quando o dispositivo se conecta, gera um endereço IP local. Acessando o endereço pelo navegador é possível observar a temperatura medida pelo sensor. A comunicação ocorre através da porta 80, que é a única habilitada.

A máquina utilizada no teste será uma máquina virtual Kali Linux, o principal sistema empregado em PenTests, e um Windows 11, para comparar alguns resultados.

Em um teste de intrusão o Hacker começa estudando o dispositivo e aprendendo o máximo com as informações disponíveis na internet. Em sequência, parte para a varredura e então para a busca por vulnerabilidades. Só então se preocupa com o ataque. Este material se preocupa em demonstrar a varredura.

Para fazer a varredura, serão utilizados os programas Nmap e Zenmap. O primeiro é a ferramenta original desenvolvida para Linux e executada através do terminal. O outro possui uma interface gráfica desenvolvida para Windows, mas é o mesmo programa.

O perfil selecionado foi “varredura intensa” e seus comandos consistem em aumentar a velocidade da varredura (-T4), aumentar a quantidade de informações exibidas durante a pesquisa (-v) e capturar informações sobre o sistema operacional, versão e distância da máquina até o alvo (-A). Acrescentando o comando -O é possível obter ainda mais informações sobre o alvo.

O programa irá escanear somente as 1000 principais portas do dispositivo e o IP fornecido, mas também é possível escanear uma rede inteira e selecionar alvos, portas e protocolos alterando os comandos.

Para escanear também protocolos UDP, o comando -U deve ser acrescentado e, nesse caso, a varredura leva muito mais tempo. Pode ser utilizado também o modo furtivo com o comando -sS, caso o objetivo seja permanecer anônimo. O comando funciona de modo que a conexão com o alvo não é completamente estabelecida.

Encontramos diversas informações sobre o alvo: seu endereço MAC, o conteúdo da página, as portas abertas e seus protocolos – como esperado, a única porta aberta era a 80.

Apesar disso, ele nos forneceu informações controversas sobre o fabricante e sistema operacional.

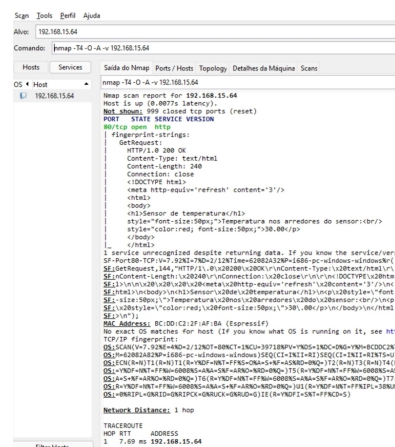


Fig. 3. Resultados da varredura feita com Zenmap.

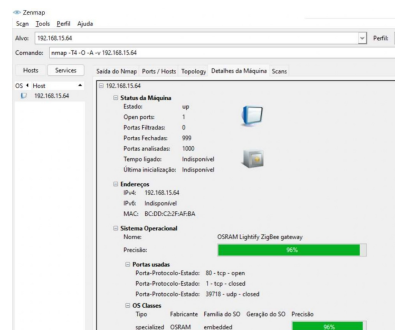


Fig. 4. Dados do alvo a partir da varredura feita com o Zenmap.

Utilizando os mesmos comandos no terminal do Kali:

Apesar dos mesmos comandos, os resultados foram um tanto diferentes, mas este foi mais sincero quanto ao que sabia sobre o sistema operacional e fabricante.

O outro endereço IP exibido aparece por estar sendo utilizada uma máquina virtual, incapaz de se conectar sozinha à rede. Por isso, precisa se conectar primeiro com o sistema operacional original.

X. DISCUSSÃO

Os serviços de saúde são um setor muito visado por criminosos cibernéticos há tempos e, apesar disso, ainda não está preparado para lidar com as ameaças, considerando o baixo número de hospitais que implementam medidas de segurança contra vírus já conhecidos. Por isso, quando afetados, paralisam seus serviços e, por não possuírem uma tática de reação, o tempo de interrupção pode ser alto e a descontinuação nos serviços prestados gera gastos imensos para os hospitais. Além disso, muitas vezes são obrigados a pagar pela chave de resgate dos dados criptografados, o que significa que muito capital que poderia ser investido em saúde é direcionado para contenção de erros que poderiam ser evitados com implementação de programas de Gerenciamento de Riscos ou mitigação de falhas.

Um programa de Gerenciamento de Riscos não isenta a instituição de ataques, mas garante uma resposta mais rápida às ameaças e prepara a empresa para investir capital corretamente em condições inusitadas.

Cada framework exposto possui vantagens e desvantagens e deve ser selecionado e modificado de acordo com as necessidades da instituição. O framework demonstrado por Srinivasan


```
waldemort@kali:~$ sudo nmap 192.168.15.64 -A -v -T4 -O
```

Fig. 5. Comandos da varredura no Nmap.

```

Nmap scan report for 192.168.15.64
Host is up (0.0000s latency).
Not shown: 996 filtered tcp ports (no-response)
PORT      STATE SERVICE
22/tcp    open  ssh
80/tcp    open  http
135/tcp   closed msrpc
139/tcp   closed smb
445/tcp   closed smb
Device type: firewall
Running (1 slot match): Fortinet embedded (87%)
OS CPE: cpe:/h:fortinet:fortigate:1000
Aggressive OS guesses: Fortinet Fortigate 1000 firewall (87%)
No exact OS matches for host (test conditions non-ideal).
Nmap scan data: 192.168.15.64
TCP SYN scan (using port 80/tcp)
Host IP: 192.168.15.64
Host MAC: 08:00:27:1A:00:00
Host OS: 192.168.15.64
Nmap Script Post-scan:
Scanning 192.168.15.64
Completed 192.168.15.64 at 18:59, 0.00s elapsed
Scanning 192.168.15.64 at 18:59, 0.00s elapsed
Completed 192.168.15.64 at 18:59, 0.00s elapsed
Scanning 192.168.15.64 at 18:59, 0.00s elapsed
Completed 192.168.15.64 at 18:59, 0.00s elapsed
Nmap data files from /usr/share/nmap:
OS and Service Detection performed. Please report any incorrect results at https://nmap.org/submit/.
Nmap done: 1 IP address (1 host up) scanned in 47.21 seconds
Raw packets sent: 2120 (100.000%) | Rcvd: 532 (25.790%)

```

Fig. 6. Resultados da varredura a partir do terminal do Kali Linux utilizando Nmap.

Jagannathan, que utiliza o método de Análise Preliminar de Ameaças Cibernéticas e foi desenvolvido para dispositivos médicos, pode ser uma boa escolha para os fabricantes, justamente por considerar aspectos específicos desses dispositivos. O fato de precisar de uma equipe multidisciplinar torna o método mais interessante, pois garante que mais vulnerabilidades de naturezas diferentes serão encontradas no equipamento.

O mesmo vale para os testes de vulnerabilidade e testes de penetração; equipes multidisciplinares podem fazer um melhor trabalho no âmbito de serviços de saúde pois é um setor complexo e demanda expertise em diversas áreas, não só de TI ou eletrônica, mas de equipamentos médicos.

A grande maioria das ferramentas utilizadas nos PenTests são grátis e extremamente simples e estão disponíveis para quem quer que tenha interesse. Significa que também estão disponíveis para os mal-intencionados e, apesar de um teste de intrusão exigir alta qualificação profissional, há bastante informação disponível na internet para aprender sobre o assunto. Há também uma Indústria em crescimento que facilita a obtenção de malwares e presta serviços de ataque sob contrato. Ou seja, o conhecimento técnico já não é tão importante para os criminosos e obter êxito com um ataque cibernético não é necessariamente uma tarefa para um técnico.

Finalmente, o produto disso é a popularização dos ataques e, caso a Indústria não implemente a proteção necessária, as ameaças se tornarão cada vez mais recorrentes e graves.

Os resultados com o microcontrolador demonstraram que os dados encontrados durante a varredura não são sempre precisos e, por isso, é necessário adquirir conhecimento antes de iniciar essa etapa do teste para verificar os resultados obtidos.

XI. CONCLUSÃO

O material expõe o despreparo para lidar com ameaças cibernéticas no setor da Saúde, que negligencia o Gerenciamento de Riscos ou Análise de Vulnerabilidades. Apesar da falta de planejamento e condição financeira, ficou claro que há uma variedade de documentos capazes de guiar empresas de saúde através de boas práticas de segurança. Os Engenheiros Clínicos e Biomédicos devem se atentar a estes assuntos, pois é seu dever, junto dos profissionais de TI, supervisionar a segurança cibernética de toda a infraestrutura hospitalar e de todos os equipamentos englobados. No entanto, os assuntos discorridos são muito amplos e são abordados de forma que sirvam apenas

como base para compreender o tema como um todo. Assim, o leitor será capaz de avaliar todo o cenário ilustrado e direcionar suas pesquisas para a área de interesse, com conhecimento inicial de vários tópicos de Cibersegurança em Serviços de Assistência Médica e equipamentos médicos.

REFERÊNCIAS

- [1] AAMC Stacy Weiner Senior Staff Writer. “The growing threat of ransomware attacks on hospitals”. Em: (2021). URL: <https://www.aamc.org/news-insights/growing-threat-ransomware-attacks-hospitals>.
- [2] Check Point. “Attacks targeting healthcare organizations spike globally as COVID-19 cases rise again”. Em: (2022). URL: <https://blog.checkpoint.com/2021/01/05/attacks-targeting-healthcare-organizations-spike-globally-as-covid-19-cases-rise-again/>.
- [3] Sonicwalls. “2022 Sonicwalls Cyber Threat Report”. Em: (2022), pp. 29–30. URL: <https://www.sonicwall.com/2022-cyber-threat-report/>.
- [4] Philips e CyberMDX. “Perspectives in Healthcare Security”. Em: (2020). URL: <https://www.cybermdx.com/lp-perspectives-in-healthcare-security-ipsos-report/>.
- [5] HHS Cyber Security Program - Office of Information Security. “Ransomware Trends 2021”. Em: (2021). URL: <https://www.hhs.gov/sites/default/files/ransomware-trends-2021.pdf>.
- [6] IMDRF - International Medical Device Regulators Forum. *Princípios e Práticas de Cibersegurança em Dispositivos Médicos*. 2019.
- [7] ANSI, AAMI e ISO. *ANSI/AAMI/ISO 14971 - Aplicação de Gerenciamento de Riscos em equipamentos médicos*. Association for the Advancement of Medical Instrumentation, 2007.
- [8] IEC (International Electrotechnical Commission). *Safety, effectiveness and security in the implementation and use of connected medical devices or connected health software*. 2021. ISBN: 978-2-8322-9748-3.
- [9] AAMI. *Princípios para segurança de dispositivos médicos - Gerenciamento de Riscos*. 2016.
- [10] IEC. *Software para dispositivos médicos - Processos de ciclo de vida do software*. 2006.
- [11] UL. *Requisitos particulares para componentes conectáveis à rede de sistemas de serviços de assistência médica*.
- [12] EUROPEAN PARLIAMENT. *Medical Device Regulation*. 2017.
- [13] NIST (National Institute of Standards e Technology). *Guide for Conducting Risk Assessment*. 2021.
- [14] Anvisa. *Princípios e práticas de Cibersegurança em dispositivos médicos*. 1ª ed. 2020.
- [15] NIST. *Framework for Improving Critical Infrastructure Cybersecurity*. 1.1. 2018.
- [16] NIST CSRC. “Glossary - vulnerability”. Em: (). URL: [https://csrc.nist.gov/glossary/term/vulnerability#:~:text=Definition\(s\)%3A,Source\(s\)%3A](https://csrc.nist.gov/glossary/term/vulnerability#:~:text=Definition(s)%3A,Source(s)%3A).
- [17] Srinivasan Jagannathan e Adam Sorini. *A cybersecurity risk analysis methodology for medical devices*. IEEE, 2015.

Estudo sobre Aplicação de Rádio Definido por Software em Comunicações via Satélite

Hallan L. Fonseca, Arielli A. Conceição, Daniely G. Silva, Evandro C. Vilas Boas

Abstract - Satellite communication represents an essential means of communication for the development of various sectors of society. The reduction of hardware costs in the manufacture of new satellites and the launch process boosted the development of this sector. Moreover, satellites enable global coverage compared to terrestrial communication networks and systems. On the other hand, the large number of satellites in orbit introduces the scarcity of spectrum within the dedicated frequency bands, fostering the need to develop a solution that allows the efficient use of bandwidth to support the reception of multiple simultaneous signals and increase the throughput. A possible solution to these problems is introducing the software-defined radio concept to provide flexibility, reconfigurability, and efficiency in satellite communication systems through the dynamic control of resources such as frequency, transmission rate, and bandwidth. In this context, this work presents a literature review on software-defined radio applied to satellite communications solutions. Research and developed applications are reviewed, highlighting the leading technologies and approaches. Likewise, research opportunities are identified to develop future work in the area.

Keywords—satellite communication, software-defined radio, satellite.

Resumo - A comunicação via satélite representa um importante meio de comunicação para o desenvolvimento de diversos setores da sociedade. A redução de custos de *hardware* na confecção de novos satélites e no processo de lançamento impulsionou o desenvolvimento desse setor. Comparada às redes e sistemas de comunicação terrestre, os satélites viabilizam uma cobertura em âmbito global. Por outro lado, o maior número de satélites em órbita introduz a escassez de espectro dentro das faixas de frequências dedicadas, fomentando a necessidade de desenvolver uma solução que permita o uso eficiente da largura de banda para suporte à recepção de múltiplos sinais simultâneos e aumento das taxas de transmissão. Uma possível solução para tais problemas é a introdução do conceito de rádio definido por *software* para prover flexibilidade, reconfigurabilidade e eficiência nos sistemas de comunicação por satélite através do controle dinâmico de recursos como frequência, taxa de transmissão e largura de banda. Nesse contexto, esse trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre aplicação de rádio definido por *software* em comunicações por satélite. Revisam-se pesquisas e aplicações desenvolvidas e destacam-se as tecnologias e abordagens principais. Assim como, identificam-se oportunidades de pesquisa para o desenvolvimento de trabalhos futuro na área.

Palavra Chave—comunicação por satélite, rádio definido por *software*, satélite.

I. INTRODUÇÃO

A comunicação via satélite representa um importante meio de comunicação para o desenvolvimento de diversos setores da sociedade. Os avanços recentes em relação a redução de custos de *hardware* na confecção de novos satélites quanto

no lançamento impulsionou o desenvolvimento desse setor. Comparada às redes e sistemas de comunicação terrestre, os satélites viabilizam uma cobertura em âmbito global, atingindo regiões remotas ou de baixa densidade demográfica.

Segundo dados de pesquisa divulgados pelo Centro Regional para o Desenvolvimento da Informação (Cetic.br), 26% da população brasileira ainda não tem acesso a Internet, sendo o principal motivo a inviabilidade econômica em regiões remotas [1]. Com o desenvolvimento do mercado de satélites essa lacuna social e outras vertentes do mercado poderão ser atendidas de forma eficiente e competitiva pelas comunicações via satélite em relação às redes terrestres. Por exemplo, o satélite Viasat-2 (2017) é capaz de prover até 100 Mbps em algumas regiões remotas nos Estados Unidos [2]. No Brasil, o mercado de satélites alcançou a cifra de US\$450 milhões em 2020 e estima-se que esse número chegará a US\$ 1 trilhão em 2040.

Nesse cenário, os pequenos satélites se destacam devido à redução do tempo e custo de produção, maior facilidade de lançamento, entre outras soluções que os tornam candidatos ideais para constelações de baixa órbita terrestre (LEO, *Low Earth Orbit*) [3], [4]. Recentes lançamentos consideram suas aplicações para missões práticas/comerciais como, por exemplo, o monitoramento de desastres, serviços de navegação e observação da Terra. Além disso, os satélites de órbita baixa atraem universidades e pequenas indústrias, que investem no desenvolvimento de pequenos satélites com base no uso de tecnologia de comunicação amadora e alocações de frequência [5]–[7]. Por outro lado, o maior número de satélites em órbita introduz a escassez de espectro dentro das faixas de frequências dedicadas, fomentando a necessidade de desenvolver uma solução que permita o uso eficiente da largura de banda para suporte à recepção de múltiplos sinais simultâneos e aumento das taxas de transmissão. Os sistemas de comunicação existentes para os pequenos satélites não são capazes de solucionar esses problemas, devido à construção simples, processadores de sinais limitados e *hardware* simplificado para obter a miniaturização. Além disso, gerenciá-los implica em altos custos dos equipamentos e instalações dos sistemas de comunicação [8], [9].

Rádio definido por *software* (SDR, *software defined radio*) é uma tecnologia que permite a implementação de soluções e sistemas de *hardware* por meio de programação [10]. Dessa forma, possibilita-se a adição de novos recursos e capacidades sem fio aos sistemas de rádio existentes sem a necessidade de substituição do *hardware*. Além disso, essa plataforma é adaptável e fornece a recepção de múltiplos sinais simultâneos

e o controle dinâmico de recursos de frequência, taxa de transmissão, largura de banda, entre outros [6]. Dessa forma, introduz-se flexibilidade, reconfigurabilidade e eficiência nos sistemas de comunicação baseados em SDR, viabilizando a implementação de soluções complexas [9], [11]. Estima-se que o mercado de SDR atingirá US\$ 24,9 bilhões em 2027, crescendo US\$ 6,4 bilhões a mais que o estimado para o ano de 2020 [12].

No âmbito das comunicações via satélite, existem avanços significativos em termos de pesquisa e implementação em sistemas espaciais. Por exemplo, cita-se o *Satellite Adaptive Communication Channel* (SACC), financiado pela Agência Espacial Europeia (ESA), que visa aumentar a quantidade de dados enviados para os satélites. Há também um projeto da Universidade de L'Aquila, na Itália, que demonstrou o impacto do SDR em aplicações complexas, como na realização de medidas de alcance de um satélite geoestacionário. Soluções como essas são de suma importância, pois permitem que os transceptores de comunicação por satélite sejam atualizados por *software* de acordo com os avanços tecnológicos dos padrões de comunicação. Entretanto, esses estudos são escassos ou estão em fase inicial de desenvolvimento [8], [9]. Portanto, este trabalho visa realizar um estudo e levantamento dos recentes avanços na aplicação de SDR em comunicações via satélite, abordando as principais tecnologias, os desafios e possíveis soluções para a área.

Estruturou-se o trabalho em cinco seções. Na Seção II, comenta-se sobre trabalhos relacionados ao estudo e revisão do uso de SDR em sistemas espaciais ou semelhantes. Discute-se sobre a aplicação dessa tecnologia em comunicações via satélite na Seção III. Na Seção IV, apresenta-se uma análise de comparação entre vários trabalhos e estudos da área, abordando pontos como tecnologias utilizadas, suas características e possíveis deficiências a serem exploradas. Apresenta-se os principais comentários e conclusões na Seção V.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

A tecnologia SDR tem sido o foco de diversos trabalhos [13]–[18]. Em [13], detalham-se a arquitetura SDR e tipos de plataformas, comparando-as em relação às suas principais características e funcionalidades em termos de eficiência energética, área e poder computacional. Destacam-se áreas de pesquisa parcialmente investigadas como atualizações remotas dos sistemas, virtualização de funções de rede utilizando o SDR, atraso de comunicação entre o controlador e as plataformas SDR pelo uso do controle de rede centralizado, eficiência energética e aspectos de segurança. Haque e Abughazaleh [14] analisaram o uso de redes definidas por *software* em configurações de rede sem fio, classificando os desafios e possíveis soluções para cada tipo de rede (redes celulares, redes de sensores, redes *mesh* e redes domésticas). Ressaltou-se o uso do SDR em uma arquitetura de rede virtualizada, falhas de segurança (ex.: confiabilidade e escalabilidade) e a aplicação de SDR em outros campos como oportunidades de pesquisa em aberto.

Em [15], aborda-se a aplicação conjunta de tecnologias SDR, MEC (*Multi-Access Edge Computing*) e NFV (*Network*

Functions Virtualization) para prover o fatiamento de recursos em redes móveis de quinta geração (5G). Propõem-se diversas áreas de pesquisas e elecam-se desafios no uso de SDR em redes 5G, como a adaptabilidade do núcleo 5G nativo da nuvem, hibridização de máquinas virtuais e *containers* para promover uma total virtualização da função de rede, dinamismo e modularidade na arquitetura de *software* 5G, gerenciamento da confiança de uma rede fatiada entre diferentes administradores, entre outras.

Abordam-se aspectos de segurança em SDR e rádio cognitivo em [16], listando os requisitos de implementação, as principais ameaças e desafios de segurança e as técnicas de proteção, detalhando sobre o uso de certificados de segurança. Em [17], discute-se a proposta de convergência das tecnologias de SDR, rede definida por *software* e virtualização para expansão do suporte e programação de diferentes aplicações. Analisam-se pesquisas recentes em redes programáveis, classificando-as e detalhando-as. Os autores em [18] abordaram os conceitos e a importância das redes móveis definidas por *software* (SDMNs, *software defined mobile networks*), elencando os principais desafios e oportunidades de pesquisas em aberto.

No âmbito das comunicações por satélite, aborda-se SDR para prover o processamento de multi-sinais simultâneos por multi-satélites [6]. Em [19], propôs-se uma solução SDR baseado no sinal B2b para decodificação de informações de serviços PPP (*precise point positioning*). Por meio dos dados, avaliaram-se a integridade e estabilidade do serviço e realizou-se correções. Em [8], os autores apresentaram uma análise de um sistema de banda base utilizando SDR e como referência o diagrama de bloco de fluxo funcional (FFBD, *functional flow block diagram*). Abordaram-se aspectos de gerenciamento e funcionamento de padrões de telemetria e telecomando, assim como implementações de *hardware* que podem ser substituídos ou melhorados por um sistema baseado em SDR. Em [11], propõe-se o SDR como solução para a correção de falha de recepção simultânea de sinais de vários satélites. Detalhou-se e analisou-se essa tecnologia, segmentando possíveis plataformas, soluções e aplicativos para uso de uma arquitetura SDR no processamento de sinais simultâneos.

Em [20], apresenta-se o SDR como uma tecnologia para evolução dos sistema global de navegação por satélite (GNSS, *Global Navigation Satellite System*). Detalha-se a arquitetura e projeta-se um receptor GNSS SDR com alto desempenho, baixo custo, e suas diversas aplicações relacionadas à segurança humana ou à navegação de aeronaves. Em [23] contextualizam-se e listam-se os principais trabalhos relacionados à aplicação de SDR em comunicação por satélite com foco em custo, consumo energético, potência e adaptabilidade. Apresentam-se soluções inovadoras em SDR, descrevendo o SDR como solução de aproveitamento de outros dispositivos já existentes. Em [21], desenvolveu-se um sistema espacial distribuído de acesso múltiplo por divisão de código (CDMA, *Code-division multiple access*) para otimização de um enlace inter-satélite para pequenos satélites, através de SDR. Experimentou-se e simulou-se vários aspectos para comprovação do funcionamento e eficácia do modelo proposto. Além disso, inclui-se análises de segurança e ampliação

Tabela I: Trabalhos relacionados ao estudo de aplicação de tecnologia SDR em comunicações por satélite.

Referência	Abordagem
[6]	Especifica-se os componentes de <i>hardware</i> relacionados ao processamento de sinal da tecnologia SDR e detalha os CoTS, abordando algumas plataformas SDR utilizadas para desenvolver uma estação terrestre de satélite.
[8]	A pesquisa segmenta aplicações de SDR em sistemas de banda base, nas áreas de telemetria, telecomando, alcance e medições Doppler, através da análise funcional do FFBD.
[11]	Discute-se sobre componentes de <i>hardware</i> SDR com ênfase em dispositivos de processamento de sinal em comunicações espaciais. Apresentam-se e comparam-se diversos tipos de soluções práticas, aplicativos e plataformas de desenvolvimento, entre outros pontos da arquitetura SDR.
[13]	Apresenta-se uma visão geral da arquitetura SDR em comunicações sem fio, discutem-se as principais plataformas e arquiteturas básicas e revisa-se trabalhos de pesquisa na área.
[14]	Enfocam-se quatro classes de rede sem fio (celulares, sensores, <i>mesh</i> e redes domésticas) e elencam os principais desafios e soluções potenciais com o uso de SDR.
[15]	Apresentam-se os avanços recentes e questões abertas na divisão de rede com foco na adaptação do núcleo 5G nativo da nuvem, MEC e SDR para atender à requisitos e aplicações 5G.
[16]	Abordam-se aspectos de segurança das tecnologias SDR/CR, especificando os principais tipos de ameaça, técnicas de proteção, requisitos e contramedidas.
[17]	Propõe-se a convergência das tecnologias SDN, SDR e virtualização em aplicações e serviços de rede.
[18]	Apresenta-se uma visão geral sobre o que são as redes móveis definidas por software (SDMNs), tecnologias, pesquisas e desafios.
[19]	Realizam-se estudos sobre a aplicação de SDR em satélite e na aquisição de informações de serviços PPP pelo sinal PPP-B2B.
[20]	Discutem-se aspectos da arquitetura de um receptor de software GNSS e propõe-se seu aprimoramento por meio da tecnologia SDR.
[21]	Apresenta-se uma rede de comunicação inter-satélites usando SDR que permite múltiplos acessos ao canal de comunicação.
[22]	Introduz-se o uso da tecnologia em aplicações para redução e liberação do espectro de frequência atual e seu uso eficiente.

de números de usuários como trabalhos futuros para aprimorar o modelo. Por fim, os autores em [22] avaliam o uso da tecnologia SDR para alocação dinâmica do espectro de frequência. Discute-se as principais limitações e recomendações sobre essa aplicação e pontos para aumento de sua eficiência. Na Tabela I, sintetiza-se os trabalhos relacionados ao estudo de aplicação de tecnologia SDR em comunicação por satélite quanto a sua abordagem principal.

III. RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE EM COMUNICAÇÕES VIA SATÉLITE

Nos últimos anos, diferentes artigos mostrando o uso da tecnologia de SDR, em comunicações sem fio, e suas respectivas vantagens foram publicados [24]–[27]. Alguns autores abordaram essa tecnologia juntamente com a NFV em cenários de acesso à banda larga para identificar aplicações relacionadas a esses paradigmas [24]. Para provar as limitações causadas pelo alcance do pseudoruído (PN, *pseudonoise*) não-regenerativo, o alcance do PN regenerativo em um transpônder JPL implementado com SDR, denominado Íris, para pequenos satélites foi apresentado [25]. Foi comprovado que a variação regenerativa PN é muito mais vantajosa por ser simples, ter um maior alcance e uma aquisição mais rápida de sinais [25]. Em [26], o SDR também é apresentado como solução para garantir a proteção das formações de feixe digital (DBFs, *digital beamforming*) em uma FPGA (*field-programmable gate array*) por meio de codificação. O projeto foi analisado em diferentes tipos de decomposição, vertical e horizontal, das formações de feixe digital em grande escala (LS-DBF, *Large scale digital beamforming*) e concluiu-se que em ambos os esquemas, a proteção tem uma melhora de confiabilidade extremamente significativa de 96% e 85%, respectivamente [26]. Outros autores apresentam o projeto do receptor SDR que utiliza filtros casados para a demodulação e executa uma pesquisa *Doppler* completa e compensação em tempo real, armazenando e processando dados em blocos. O funcionamento do projeto foi comprovado por meio de estudos, simulações e operações com satélites em órbita, mostrando

a sua superioridade em relação à abordagem tradicional de técnicas de processamento de sinal causal [27].

Devido à escassez do espectro de frequência pelo aumento do número de satélites, vários autores dedicaram seus trabalhos ao desenvolvimento de aplicações espaciais com o uso do SDR para oferecer o compartilhamento de frequências por múltiplos usuários e/ou inter-satélites [9], [21], [28], [29]. Alguns autores experimentaram esse compartilhamento de acesso entre os satélites através de uma rede de comunicação em modulações BPSK e QPSK utilizando o SDR com o acesso múltiplo por divisão de código (CDMA, *code division multiple access*) [21]. O trabalho apresentado em [28] explora o uso de uma arquitetura de sistema embarcada que suporta vários sinais simultâneos de satélite. Uma nova arquitetura SDR que combina FPGA, COTS (*Commercial Off-The-Shelf*) e um transceptor de rádio de frequência programável é proposta, com foco em missões de pequenos satélites, para permitir a recepção de diferentes sinais em um único equipamento. Para uso eficiente da largura de banda limitada, alguns autores implementaram uma arquitetura paralela que combina *hardware* SDR de baixo custo e ferramenta de *software* de código aberto, permitindo a recepção multi-satélite [29].

Em decorrência dos problemas e limitações dos modelos de estruturação das comunicações inter-satélites atuais, alguns autores apresentaram a virtualização de grande parte da rede por meio de plataformas de SDR como solução [30]–[35]. Para solucionar esse problema de estruturação das redes, foi proposta a formação de redes definidas por *software* com a utilização de SFC. Após testes de comparação de sua implementação nos padrões multi-domínio e de formação de satélite, foi verificado que ambos os métodos apresentam vantagens e desvantagens dependendo das condições em que são submetidos [30]. Um modelo de otimização do transmissor e receptor SDR baseado em FPGA também foi proposto, o qual foi capaz de reduzir em até dois terços o *hardware* utilizado [31]. A eficiência do SDR em um projeto de transferência contínua também foi testada, demonstrando a melhoria desse sistema em comparação aos tradicionais, superando-os em ter-

mos de latência, taxa de transferência e QoE do usuário [32]. Em [33] também apresenta uma rede integrada de satélite-terrestre 5G baseada em SDR que foi capaz de reduzir o tempo de entrega dos dados e obter maior desempenho, em comparação com arquiteturas anteriores. Visando a utilização eficiente dos recursos de energia e frequências, foi desenvolvido um projeto de AFCS para canais de comunicação entre CubeSats e sistemas terrestres, por meio de sistemas de SDR, o qual foi capaz de melhorar suficientemente a qualidade e a eficiência energética espectral da transmissão [34]. Um grupo de autores propôs duas abordagens de integração de CubeSats com plataformas de SDR e um rádio equipado com um SoC FPGA com alta taxa de dados. Estimou-se que o projeto pode atingir uma alta taxa de dados, com baixo consumo de energia, além de ser reconfigurável em voo [35].

O uso da comunicação e do controle adaptativos oferecidos pela substituição de muitos dispositivos de *hardware* por dispositivos de *software* também foram explorados em diversos trabalhos, visando obter flexibilidade, controle e maximizar os dados recebidos por estações terrestres [27], [36]–[43]. Um receptor com o sistema SACC desenvolvido por *software* em linguagem C++ foi capaz de aumentar a velocidade do processamento do sinal, com apenas algumas perdas de informação no processo [36]. Esse tipo de comunicação foi validada através do lançamento de um satélite LEO, no qual empregaram-se vários módulos SDR e PCs, com a programação do transmissor e do receptor da estação terrestre em linguagem C/C++ [37]. Outros autores apresentaram o uso do recurso de adaptatividade em medições meteorológicas através de um sistema *open-source* SDR para recepção e decodificação de imagens dos satélites NOAA [38]. Também relacionado a recepção de imagens, apresentou-se um sistema de recepção de imagens genéricas, desenvolvido através do simulink [39]. Utilizando as vantagens geradas pelo *hardware* programável e adaptável, alguns autores desenvolveram um sistema de medição de alcance geostacionário de satélites por meio de técnicas de PN e SDR [40]. Desenvolveu-se um projeto de SDR baseado em FPGA para implementar as vantagens de reconfigurabilidade oferecidas pela tecnologia em um nanosatélite [41].

Em [42], verifica-se a introdução de uma arquitetura definida por *software* que provê alta eficiência e flexibilidade, permitindo o controle de topologia, escalabilidade de roteamento, gerenciamento de mobilidade e entrega de conteúdo por meio de um controlador que monitora e coleta informações vindas dos satélites. Um sistema de controle adaptativo da potência transmitida através da estimativa da SNR do canal fornecida pelo algoritmo M2M4, implementado em uma plataforma SDR, é apresentado em [43]. Considerando que a maioria dos sistemas de comunicação são projetados para os piores cenários atmosféricos e ionosféricos, simulou-se um sistema de comunicação adaptável às características variáveis por SDR entre estações terrestres e CubeSats [44]. Esse sistema emprega os protocolos SSP para conexões físicas e AX.25 para transmissão de rádio. Também foi utilizada a técnica CRC para análise de erro dos dados e implementação no LabVIEW com diferentes técnicas de modulação [44].

IV. OPORTUNIDADES DE PESQUISA EM SDR APLICADO AOS SATÉLITES

Pesquisas relacionadas à substituição de métodos antigos em novos, utilizando SDR são uma tendência nas academias. O motivo disso são as vantagens do SDR que envolvem adaptabilidade e reconfigurabilidade. Entretanto, muitos sistemas utilizando SDR estão longe de ser o ideal. Com isso, oportunidades são geradas para pesquisas futuras. No trabalho [45] é construída uma estrutura integrada de rede de comunicação espacial terrestre por satélite. O artigo apresenta uma engenharia de tráfego flexível e ágil, porém com a estrutura de controle centralizada identifica-se problemas com segurança. Além disso, o projeto tem problemas com escalabilidade e exige estratégias de simplificação de agregação de tarefas de fluxo. Por fim, o autor sugere estudar o equilíbrio entre o período de atualização e a sobrecarga de gerenciamento e propor cenários mais adequados para o sistema.

Em [37], observa-se o desempenho dos sistemas adaptativos. O trabalho mostra as vantagens dos sistemas adaptativos, porém a rápida mudança do deslocamento *Doppler* foi considerado um problema sério que deve ser levado em consideração. Em [46], apresenta-se um sistema SDR baseado em FPGA que tem como característica a redução do *hardware* em dois terços. Esse sistema apresenta uma pequena degradação de desempenho, mostrando margens para pesquisa mais aprofundada e melhoria do modelo. O artigo [47] revisa uma nova arquitetura paralela para suportar recepção de multi-satélites. Esse sistema apresenta uma evolução dos sistemas modernos e abre margem para pesquisas futuras relacionadas a taxas de dados e otimização de consumo de energia. Os autores em [48] tratam a questão de eficiência energética em transmissores adaptativos. O projeto visa melhorar a eficiência espectral de uma transmissão. O protótipo demonstra ser um sucesso mas longe do ideal, sendo assim abre espaço para pesquisas futuras.

Os autores em [40] demonstraram medições de alcance em um satélite geoestacionário. Para isso é proposto um sistema de baixo custo com um *hardware* programável utilizando SDR. Os resultados foram promissores, obtendo erros rms em torno de 25 cm em 1 segundo. Nesse projeto existe espaço para otimização do sistema, para se obter erros ainda menores. Por fim, o trabalho [36] visa a implantação de um *software* de um sistema de comunicação que tem por objetivo se comunicar com um satélite na camada LEO. Os testes demonstraram o funcionamento correto do receptor, mas houve diversos erros de recebimento de quadros. O autor demonstra diversos motivos que justificam esses erros e entre eles reconhece a necessidade de melhoria no *software*. Portanto, é perceptível as diversas áreas existentes para pesquisa relacionada a SDR e comunicações aditivas.

V. CONCLUSÃO

Esse trabalho descreveu os problemas relacionados ao aumento do número de pequenos satélites e demonstrou a tecnologia de SDR como uma possível solução para problemas em comunicações via satélite. Considerando a sua tendência de crescimento, o SDR é usado não apenas para contornar

a escassez de frequência, mas também em outras situações como localizar um satélite e transmissão de imagem. O SDR mostrou-se capaz de realizar diversas otimizações como eficiência energética, melhoria na taxa de dados, adaptabilidade, entre outras. Apresentou-se uma visão geral dessa tecnologia, aplicações e pesquisas atuais que abordaram o seu uso em diversos tipos de sistemas e comunicações. Revisaram-se e discutiram-se alguns dos principais desafios de pesquisa, questões a serem investigadas e tópicos a serem aprimorados, visando promover a adoção de SDRs em aplicações espaciais e identificar uma série de oportunidades de pesquisas promissoras envolvendo essa tecnologia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel) pelo apoio financeiro e ao Laboratório de Segurança Cibernética e Internet das Coisas (CSI Lab) do Inatel por todo o suporte técnico oferecido.

REFERÊNCIAS

- [1] Agência Brasil, “Brasil tem 134 Milhões de Usuários de Internet, Aponta Pesquisa,” [Online]. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2020-05/brasil-tem-134-milhoes-de-usuarios-de-internet-aponta-pesquisa>, Acesso: 2021-10-29.
- [2] A. Miller, “Como a Internet via Satélite vai Ajudar a Conectar o Mundo,” [Online]. Disponível em: <https://www.viasat.com/pt-br/sobre-nos/sala-de-imprensa/blog/como-a-internet-via-satelite-vai-ajudar-a-conectar-o-mundo/>, Acesso: 2021-10-29.
- [3] C. B. Chad Anderson, Corentin Guillo, “Small is the New Big,” *Satellite Catapult, Harwell Oxford*, pp. 165–171.
- [4] S. Bandyopadhyay, G. P. Subramanian, R. Foust, D. Morgan, S. J. Chung, and F. Y. Hadaegh, “A Review of Impending Small Satellite Formation Flying Missions,” *Proceedings of the 53rd AIAA Aerospace Sciences Meeting*, 2015.
- [5] A. Lewin, “Market Growth Potential for Small Satellites: An Industry View,” *Smaller Satellites: Bigger Business? Concepts, Applications and Markets for Micro/Nanosatellites in a New Information World*, M. Rycroft and N. Crosby, pp. 165–171, 2002.
- [6] M. R. Maheshwarappa, “Software Defined Radio (SDR) Architecture For Concurrent Multi-satellite Communications,” 2017.
- [7] E. Buchen, “Spaceworks 2014 Nano/microsatellite Market Assessment,” 2014.
- [8] Moses Browne Mwakyanjala, Luleă, Reza Emami, Jaap van de Beek, “Software-defined radio baseband for satellite management systems,” setembro de 2017.
- [9] M. R. Maheshwarappa and C. P. Bridges, “Software Defined Radios for Small Satellites,” *2014 NASA/ESA Conference on Adaptive Hardware and Systems (AHS)*, pp. 172–179, 2014.
- [10] The Wireless Innovation Forum, “What is Software Defined Radio?” [Online]. Disponível em: https://www.wirelessinnovation.org/index.php?option=com_contentview=articleid=63:Introduction_to_SDRcatid=19:site-contentItemid=77, Acesso: 2021-10-27.
- [11] M. Mwakyanjala, “Software Defined Radios for Satellite Ground Station,” *Technical report*, 2020.
- [12] ReportBuyer, “Software Defined Radio (SDR) - Global Market Trajectory Analytics,” [Online]. Disponível em: https://www.researchandmarkets.com/research/pc9x7g/software_defined, Acesso: 2021-10-29.
- [13] Rami Akeela, Behnam Dezfouli, “Software-defined radios: Architecture, state-of-the-art, and challenges,” *Networking and Internet Architecture*, 18 de abril 2018.
- [14] Israat Tanzeena Haque, Nael Abu-Ghazaleh, “Wireless software defined networking: A survey and taxonomy,” *IEEE Communications Surveys Tutorials*, vol. 18, no. 4, pp. 2713–2737, 2016.
- [15] Syed Danial Ali Shah, Mark A. Gregory, Shuo Li, “Cloud-native network slicing using software defined networking based multi-access edge computing: A survey,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 10903–10924, 2021.
- [16] Gianmarco Baldini, Taj Sturman, Abdur Rahim Biswas, Ruediger Leschhorn, Gyoza Godor, Michael Street, “Security aspects in software defined radio and cognitive radio networks: A survey and a way ahead,” vol. 14, no. 2, pp. 355–379, 2012.
- [17] Daniel F. Macedo, Dorgival Guedes, Luiz Vieira, Marcos Vieira, Michele Nogueira, “Programmable networks — from software-defined radio to software-defined networking,” vol. 17, no. 2, pp. 1102–1125, 2015.
- [18] Tao Chen, Marja Matinmikko, Xianfu Chen, Xuan Zhou, Petri Ahokangas, “Software defined mobile networks: concept, survey, and research directions,” vol. 53, no. 11, pp. 126–133, 2015.
- [19] Xiangchen Lu, Liang Chen, Nan Shen, Lei Wang, Zhenhang Jiao, Ruizhi Chen, “Decoding PPP corrections from BDS B2b signals using a software-defined receiver: An initial performance evaluation,” *IEEE Sensors Journal*, vol. 21, no. 6, pp. 7871–7883, 15 de março de 2021.
- [20] Fabio Principe, Giacomo Bacci, Filippo Giannetti, Marco Luise, “Software-defined radio technologies for GNSS receivers: A tutorial approach to a simple design and implementation,” p. 27, 2011.
- [21] F. Pinto, F. Afghah, R. Radhakrishnan, and W. Edmonson, “Software defined radio implementation of DS-CDMA in inter-satellite communications for small satellites,” in *2015 IEEE International Conference on Wireless for Space and Extreme Environments (WiSEE)*. IEEE, 2015, pp. 1–6.
- [22] Stoytcho Gultchev, Klaus Moessner, Duminda Thilakawardana, Terence E. Dodgson, Rahim Tafazolli, “Evaluation of software defined radio technology,” 2006.
- [23] Thomas J. Kacpura, Joseph A. Downey, Jeffery R. Anderson, Keith Baldwin, “Evolution of a reconfigurable processing platform for a next generation space software defined radio,” pp. 1–10, 2012.
- [24] T. Rossi, M. De Sanctis, E. Cianca, C. Fragale, M. Ruggieri, and H. Fenech, “Future space-based communications infrastructures based on high throughput satellites and software defined networking,” in *2015 IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE)*, 2015, pp. 332–337.
- [25] Krisjani S. Angkasa, James S. Border, Courtney B. Duncan, M. Michael Kobayashi, Zaid J. Towfic, Thaddaeus J. Voss, Peter W. Kinman, “Regenerative ranging for jpl software-defined radios,” vol. 34, no. 9, pp. 46–55, 2019.
- [26] Zhen Gao, Jinhua Zhu, Tong Yan, Linghua Guo, Xiangping Chen, Yinqiao Li, Xiaolei Wan, “Fault tolerant design of large-scale digital beam forming in SRAM-FPGAs for software defined satellite platforms,” vol. 17, no. 7, pp. 224–235, 2020.
- [27] Edwin GW Peters, Craig R. Benson, “A doppler correcting software defined radio receiver design for satellite communications,” vol. 35, no. 2, pp. 34–48, 2020.
- [28] Maheshwarappa, Mamatha Ramapura and Bowyer, Mark D. J. and Bridges, Christopher P., “Improvements in CPU amp; FPGA performance for small satellite SDR applications,” *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 53, no. 1, pp. 310–322, 2017.
- [29] Mamatha R. Maheshwarappa, Mark DJ Bowyer, Christopher P. Bridges, “A reconfigurable SDR architecture for parallel satellite reception,” vol. 33, no. 11, pp. 40–53, 2018.
- [30] Taixin Li, Huachun Zhou, Hongbin Luo, Qi Xu, Si Hua, Bohao Feng, “Service function chain in small satellite-based software defined satellite networks,” vol. 15, no. 3, pp. 157–167, 2018.
- [31] Xin Cai, Mingda Zhou, Tian Xia, Wai H. Fong, Wing-Tsz Lee, Xinming Huang, “Low-power SDR design on an fpga for intersatellite communications,” vol. 26, no. 11, pp. 2419–2430, 2018.
- [32] B. Yang, Y. Wu, X. Chu, and G. Song, “Seamless handover in software-defined satellite networking,” *IEEE Communications Letters*, vol. 20, no. 9, pp. 1768–1771, 2016.
- [33] Luca Boero, Mario Marchese, Fabio Patrone, “The impact of delay in software-defined integrated terrestrial-satellite networks,” vol. 15, no. 8, pp. 11–21, 2018.
- [34] A. Platonov, “Energy saving adaptive sdr transmitters for small satellites and their metrological characteristics,” pp. 468–472, 2018.
- [35] Panagiotis Ioannis Theoharis, Raad Raad, Faisal Tubbal, Muhammad Usman Ali Khan, Sining Liu, “Software-defined radios for cubesat applications: A brief review and methodology,” vol. 2, no. 1, pp. 10–16, 2020.
- [36] J. Skarzynski, M. Darmetko, S. Kozłowski, and K. Kurek, “SDR implementation of the receiver of adaptive communication system,” *Radio Science*, vol. 51, no. 4, pp. 344–351, 2016.
- [37] Sebastian Kozłowski, Krzysztof Kurek, Jacek Skarzyński, Katarzyna Szczygielska, Marcin Darmetko, “Investigation on adaptive satellite communication system performance using SDR technique,” in *2018 22nd International Microwave and Radar Conference (MIKON)*, 2018, pp. 363–366.

- [38] “Sistema de recepção de imagens meteorológicas usando rádio definido por software (SDR),” in *2017 IEEE Second Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM)*, 2017, pp. 1–6.
- [39] A. K. Jha and H. Shekhar, “A SDR based trans-receiver for communication of image and video,” in *2016 International Conference on Signal Processing, Communication, Power and Embedded System (SCOPES)*, 2016, pp. 249–253.
- [40] I. Lucresi, A. Di Carlofelice, and P. Tognolatti, “SDR-based system for satellite ranging measurements,” *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 31, no. 1, pp. 8–13, 2016.
- [41] R. Nivin, J. S. Rani, and P. Vidhya, “Design and hardware implementation of reconfigurable nano satellite communication system using FPGA based SDR for FM/FSK demodulation and BPSK modulation,” in *2016 International Conference on Communication Systems and Networks (ComNet)*, 2016, pp. 1–6.
- [42] Yuanguo Bi, Guangjie Han, Shuang Xu, Xingwei Wang, Chuan Lin, Zhibo Yu, Peiyao Sun, “Software defined space-terrestrial integrated networks: Architecture, challenges, and solutions,” vol. 33, no. 1, pp. 22–28, 2019.
- [43] Michel Chino, Hector Miyashiro, Jorge L. Arizaca, “Implementation of an adaptive control system of the power transmitted through the estimated snr, over sdr platform,” pp. 1–4, 2019.
- [44] Nariman A. Salam Bauomy, Eslam Ahmed Elbeh, “Design of SDR simulation for wireless communication between ground station and cubesat implemented by labview,” pp. 60–63, 2020.
- [45] T. Li, H. Zhou, H. Luo, and S. Yu, “Service: A software defined framework for integrated space-terrestrial satellite communication,” *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 17, no. 3, pp. 703–716, 2018.
- [46] X. Cai, M. Zhou, T. Xia, W. H. Fong, W.-T. Lee, and X. Huang, “Low-power sdr design on an fpga for intersatellite communications,” *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, vol. 26, no. 11, pp. 2419–2430, 2018.
- [47] M. R. Maheshwarappa, M. D. Bowyer, and C. P. Bridges, “A reconfigurable sdr architecture for parallel satellite reception,” *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 33, no. 11, pp. 40–53, 2018.
- [48] A. Platonov, “Energy saving adaptive sdr transmitters for small satellites and their metrological characteristics,” in *2018 5th IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace)*, 2018, pp. 468–472.

Estudo do Protocolo de Comunicação Zigbee

João V. C. P. Dutra, Leonardo M. Franco, Pedro H. C. Macaiba, Evandro C. Vilas Boas
Laboratório de Cyber Segurança e Internet das Coisas (CS&I Lab.), Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
joao.dutra@gec.inatel.br, leonardo.franco@ges.inatel.br, pedro.hugo@ges.inatel.br, evandro.cesar@inatel.br

Abstract—This work presents a study on the ZigBee communication protocol, carried out as a requirement for developing engineering projects with the company Pixel TI. Basic concepts, architectures, standards, aspects related to frequency bands and transmission rates, devices, network topologies, and communication are highlighted. Due to Pixel TI's confidentiality policies, project activities and results are omitted.

Index Terms—IEEE 802.15.4, Internet of Things, communication protocol, ZigBee.

Resumo—Esse trabalho apresenta um estudo sobre o protocolo de comunicação ZigBee, realizado como requisito para o desenvolvimento de projetos de engenharia com a empresa Pixel TI. Abordam-se os conceitos básicos, arquiteturas e padrões, aspectos relacionados às faixas de frequência, taxas de transmissão, dispositivos, topologias de rede e comunicação entre dispositivos. Devido às políticas de sigilo da Pixel TI, as atividades de projeto são omitidas desse documento.

Palavras chave—IEEE 802.15.4, Internet das Coisas, protocolo de comunicação, ZigBee.

I. INTRODUÇÃO

A Internet das Coisas (IoT, *Internet of Things*) se refere a interconexão digital de dispositivos eletrônicos por meio da Internet ou uma rede de telecomunicações [1]. A conexão entre esses aparelhos permite o controle remoto de suas funções e/ou o sensoriamento de aspectos naturais e humanos. Logo, introduz-se a possibilidade de conexão de dispositivos eletrônicos e o uso de sensores em conjunto com atuadores. Dessa forma, pode-se controlar as funcionalidades desses dispositivos, sensoriar e/ou atuar sobre determinada variável de um ambiente. A aplicação IoT se estende às mais diversas verticais do mercado como ambientes inteligentes (*Smart House*, *Smart Labs*, *Smart Offices*), cidades inteligentes (*Smart Cities*), fazendas inteligentes (*Smart Farm*) e Indústria 4.0 [2].

Esses diversos cenários de aplicações IoT requerem diferentes requisitos de comunicação, resultando na padronização de diferentes protocolos de comunicação. A implementação de uma aplicação ou rede IoT relaciona-se com a seleção adequada da tecnologia para atender requisitos como alcance, consumo de energia, largura da banda, qualidade de serviço, custo e ciclo de vida das baterias [2]. Cada requisito especifica diversas características que podem ser aplicadas para classificar os diferentes protocolos de comunicação IoT existentes. Por exemplo, pode-se empregar o alcance como métrica para classificação dos protocolos em tecnologias de conectividade sem fio de curto, médio e longo alcance.

Dentre os diversos protocolos de comunicação IoT, citam-se Bluetooth Low Energy, Zigbee, Z-Wave, 6LoWPAN (IPv6 sobre Redes Pessoais Wireless de Baixa Potência), Identificação de Radiofrequência (*Radio Frequency Identification*, RFID),

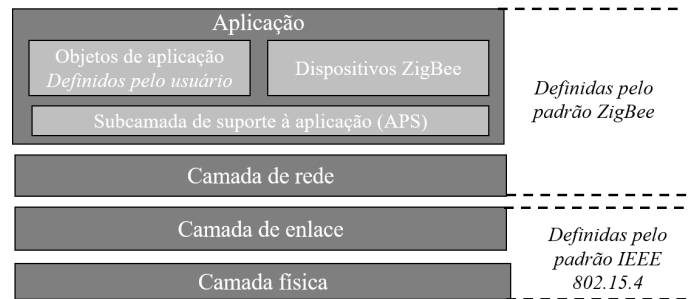


Fig. 1. Arquitetura de camada do protocolo de comunicação ZigBee.

Comunicação *Near Field* e WiFi (*Wireless Fidelity*), que são padronizações de curto alcance. Já os protocolos SigFox, Lora, Random Phase Multiple Access e Weightless exemplificam protocolos de médio e longo alcance.

Nesse trabalho, apresenta-se um estudo sobre o protocolo de comunicação ZigBee realizado como requisito para o desenvolvimento de projetos de engenharia com a empresa Pixel TI. Abordam-se os conceitos básicos, arquiteturas e padrões, aspectos relacionados às faixas de frequência, taxas de transmissão, dispositivos, topologias de rede, comunicação entre dispositivos e estrutura de quadro básica. Devido às políticas de sigilo da Pixel TI, as atividades de projeto são omitidas. Estruturou-se o trabalho em cinco seções. Na Seção II, exploram-se os fundamentos relacionados ao protocolo ZigBee. Abordam-se aspectos relacionados aos tipos de dispositivos na Seção III. Na Seção IV, discorrem-se sobre as topologias de rede especificadas pelo padrão IEEE 802.15.4. Por fim, conclui-se o trabalho na Seção V.

II. FUNDAMENTOS EM PROTOCOLO ZIGBEE

ZigBee é uma tecnologia de comunicação sem fio via rádio desenvolvida pela *ZigBee Alliance*, que emprega a especificação IEEE 802.15.4 em relação a camada física e de enlace para a formação de redes de curto alcance [3, 4]. Essa tecnologia apresenta como características curto alcance, baixo consumo de potência, baixa taxa de transmissão, especificação aberta e interoperabilidade. Aplica-se essa tecnologia para prover a comunicação de dispositivos energizados por baterias, aplicações residências como sistemas de segurança, sistemas de medida e leitura, controle de iluminação e aplicações industriais como gestão de ativos e rastreamento de pessoas [3, 4, 5].

A. Arquitetura de camadas ZigBee

O ZigBee baseia-se na arquitetura de camadas do modelo OSI (*Open System Interconnection*) para estruturação de suas camadas. Na Figura 1, especificam-se as quatro camadas que

TABELA I
CARACTERÍSTICAS DO PROTOCOLO ZIGBEE.

Frequência [MHz]	Número de canais	Modulação	Taxa de transmissão [kbps]	Técnica de espalhamento espectral
868 – 868,6	1	BPSK	20	DSSS binário
902 – 928	10	BPSK	40	DSSS binário
868 -868,6	1	ASK	250	PSSS - 20 bits
902 – 928	10	ASK	250	PSSS - 5 bits
868 -868,6	1	O-QPSK	100	Sequência de espalhamento ortogonal
902 – 928	10	O-QPSK	250	Sequência de espalhamento ortogonal
2400 – 2483,5	16	O-QPSK	250	Sequência de espalhamento ortogonal

compõem essa arquitetura, sendo as camadas de aplicação e rede definidas pelo padrão ZigBee e as camadas de enlace e física pelo padrão IEEE 802.15.4 [3, 6, 7]. A camada de aplicação é segmentada em subcamada de suporte de aplicação (ASP, *Application support Sub-layer*) e objetos de dispositivos Zigbee (ZDO, *ZigBee Device Objects*). A subcamada ASP provê a interface entre a camada de rede e a camada de aplicação através de um conjunto de serviços para uso dos dispositivos ZigBee, definidos pelos fabricantes. A subcamada ZDO está localizado entre a camada de aplicação e a subcamada de suporte de aplicação, sendo responsável por atender todos os requisitos comuns entre as aplicações operando no protocolo ZigBee.

A camada de rede é necessária para fornecer e garantir o funcionamento correto da camada MAC, além de prover uma interface de serviço adequada para a camada de aplicação com a camada de enlace. A camada de enlace fornece serviços de dados MAC (*Media Access Control*) e a interface para gerenciamento MAC. O serviço de dados MAC é responsável pela liberação da transmissão/recepção de dados do protocolo MAC. Na camada MAC está situado alguns mecanismos de segurança que podem ser utilizados para aumentar a confiabilidade dos dados transmitidos por dispositivos ZigBee, garantindo sua facilidade de manutenção e baixo consumo de energia e transmissão de dados. Por fim, a camada física é a mais próxima ao *hardware* e controla os transmissores dos dispositivos. Essa camada é responsável pela ativação e desativação dos transceptores, transmissão e recepção de dados, seleção do canal em que o transceptor irá operar e detecção de ocupação do canal.

B. Características do protocolo ZigBee

A rede ZigBee por meio do padrão IEEE 802.15.4 utiliza os padrões da camada física para relacionar suas frequências de operação. As bandas de transmissão são divididas em: 868 – 868,6 MHz (Europa), 902 - 928 MHz (América do norte) e 2400 – 2483,5 MHz (Padrão global) [3, 6]. A taxa de transmissão de dados (entre 20 a 250 kbps), o número de canais em cada banda, taxas de transmissão e técnicas de espalhamento espectral estão especificados na Tabela I [3, 4, 6].

O protocolo IEEE 802.15.4 apresenta algumas considerações em relação a operação de dispositivos entre as bandas de frequência e taxas de transmissão [3, 4, 6]. Dispositivos que operam na banda de 868 MHz devem suportar comunicações na banda de 915 MHz e vice-versa. Nas bandas de 868/915 MHz, define-se obrigatoriamente taxas de transmissão inferiores a 40kbps, sendo possível operar com taxas superiores a esse

valor por meio de configuração opcionais (linha três à linha seis da Tabela I). Para a banda em 2,4 GHz, tem-se disponíveis 16 canais numerados de 11 até 26, com separação adjacente de 5 MHz. Para as bandas de 868 e 915 MHz, tem-se respectivamente 01 e 10 canais alocados que em conjunto com a modulação empregada provê diferentes taxas de transmissão.

C. Aspectos de comunicação

A comunicação ZigBee entre diversos dispositivos deve ser coordenada para que ocorra o acesso múltiplo ao meio. Nesse caso, pode-se implementar um acesso ao canal baseado em técnicas de contenção e livre de contenção [6]. Para acesso múltiplo ao meio por contenção, o IEEE 802.15.4 implementa a técnica de múltiplo acesso CSMA-CA (*Carrier Sensing Multiple Access with Collision Avoidance*). Um dispositivo que queira transmitir deve verificar se o canal está livre, caso positivo, o dispositivo aloca o canal. Dessa forma, evita-se a colisão por transmissão simultânea de estações vizinhas, que passam a reconhecer a ocupação do canal pelo dispositivo. Caso o canal esteja ocupado, o dispositivo que inicialmente queira transmitir aguarda por um tempo aleatório e repete o processo até obter direito ao uso do meio de transmissão.

Outra forma de prover o acesso múltiplo ao meio é utilizar técnicas de acesso ao canal livre de contenção. Nesse caso, cada dispositivo possui um *slot* dedicado eliminando o uso da técnica CSMA-CA. O dispositivo coordenador da rede utiliza mensagens de sincronismo para garantir o tempo de *slot*, denominadas de *guaranteed time slot* (GTS).

Quanto a comunicação entre dispositivos, pode-se identificar três tipos de troca de dados: dados enviados pelo dispositivo para o coordenador, dados enviados pelo coordenador para o dispositivo e dados transferidos entre dispositivos [3, 6]. No primeiro caso, o dispositivo sincroniza o relógio para envio dos dados em redes livre de contenção ou utiliza CSMA-CA em redes com contenção. O reconhecimento de recebimento de dados é opcional. Para dados enviados pelo coordenador para o dispositivo, o coordenador utiliza mensagem de sinalização (*beacon*) para indicar ao dispositivo que tem dados a serem enviados em redes livres de contenção. Já em redes com contenção de acesso múltiplo ao meio, o coordenador aguarda o dispositivo solicitar os dados para envio. Semelhante ao primeiro caso, o reconhecimento de entrega dos dados é opcional.

Outros aspectos relacionados a comunicação em rede ZigBee são mecanismos de verificação de erros, cujo padrão IEEE 802.15.4 utiliza 16 bits como *Frame Check Sequency*, baseado em códigos de redundância cíclica (CRC, *Cyclic Redundancy Check*) e especificado pela ITU [7]. Em relação

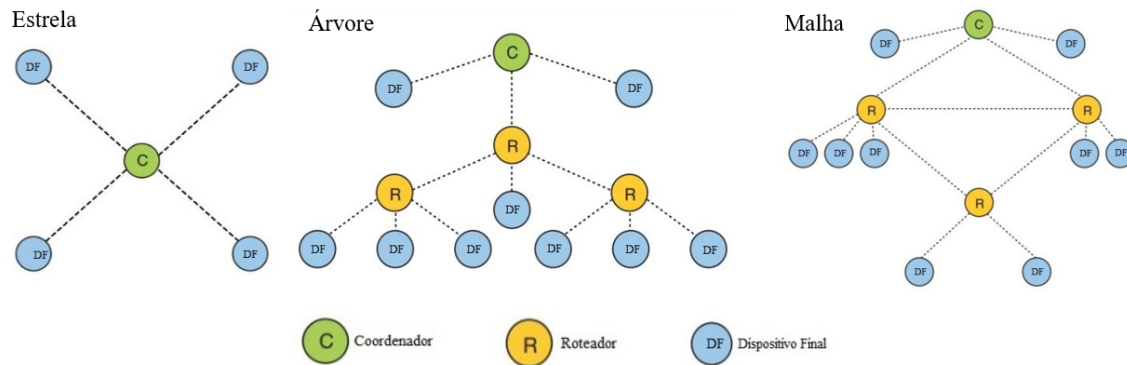


Fig. 2. Topologias de rede ZigBee: estrela, árvore e malha.

ao endereçamento, a camada de rede do protocolo ZigBee aloca 16 bits para endereçamento. Enquanto o protocolo IEEE 802.15.4 especifica 16 bits para comunicação em uma única rede e 64 bits para expansão de número de dispositivos. Os endereços IEEE são mapeados em endereços de camada de Rede por uma *Look-up Table*. As redes Zigbee incluem dois conceitos importantes definidos como *self-forming* que é a capacidade de estabelecer uma rede e *self-healing* relacionada a reorganização no roteamento de mensagens em caso de mudanças na rede [3].

III. ASPECTOS RELACIONADOS AOS DISPOSITIVOS

Os dispositivos ZigBee são basicamente formados por um microcontrolador, um transceptor e uma antena [5]. As especificações de programas embarcados em *hardware* especificam suas funções e, consequentemente, o tipo de dispositivo. Logo, tem-se dispositivos de função completa (FFD, *full-function devices*) e dispositivos de função reduzida (RFD, *reduced-function devices*). Os FFDs são aptos a executar todas as funcionalidades especificadas no IEEE 802.15.4, enquanto os RFDs limitados em funcionalidades se restringindo em integrar funções simples [3, 4, 7].

Em relação as funcionalidades dos dispositivos (FFD ou RFD) e ao seu posicionamento dentro de uma topologia de rede, pode-se classificar os dispositivos em coordenadores, roteadores, dispositivos finais, ZigBee *Trust* e ZigBee *Gateway* [6, 7]. Dispositivos coordenadores são FFD e responsáveis por coordenar uma rede, sendo únicos e capazes de retransmitir pacotes de dados. Dentre as funções que executam, incluem-se a seleção do canal a ser utilizado pela rede, inicialização da rede, atribuição de endereços, exclusão e inclusão de dispositivos na rede, listagem de roteadores vizinhos e transmissão de pacotes de aplicação.

Os roteadores também são FFDs e utilizados para expansão de cobertura em topologias de rede do tipo árvore. Sua função é realizar o roteamento ótimo de mensagens pela rede até o destino. Ademais, implementam-se as função anteriormente listadas para um coordenador, exceto estabelecimento de rede. Os dispositivos finais resumem-se aos RFDs que se conectam tanto aos roteadores ou coordenador da rede. Os dispositivos definidos como ZigBee *Trust* são responsáveis pelo gerenciamento e distribuição de chaves de segurança e autenticação

para os dispositivos da rede. Já o ZigBee *Gateway* provê conexão externa para a rede Zigbee, sendo capaz de converter os protocolos de comunicação.

IV. TOPOLOGIAS DE REDES ZIGBEE

A tecnologia ZigBee permite a formação de redes por meio da camada de rede. O padrão IEEE 802.15.4 especifica topologias em estrela, malha e árvore, como visto na Figura 2 [3, 4, 6, 7]. Porém, aplicações práticas consideram uma mescla dessas topologias. A topologia estrela emprega um dispositivo como coordenador da rede e outros dispositivos como finais, que se conectam ao coordenador para comunicação direta. Uma desvantagem inerente dessa topologia, é a dependência da comunicação entre dispositivos em relação ao coordenador. Uma vez que todos os dados devem passar por esse dispositivo. Para uma comunicação volumosa de dados, o coordenador constitui um ponto de gargalo para os dispositivos periféricos.

A topologia em árvore introduz uma hierarquia na conexão, com a presença de roteadores para comunicação com todos os nós finais da rede. Dessa forma, experimenta-se uma expansão da rede em relação a topologia em estrela. Nessa topologia, os dispositivos finais se comunicam apenas com o roteador ou coordenador que está conectado, representando uma desvantagem para cenários onde dispositivos finais próximos queiram se comunicar. A topologia em malha também considera os mesmos dispositivos definidos para a topologia em árvore. Contudo, as conexões entre os dispositivos podem ser multiponto, resultando em roteamentos de mensagens por múltiplos nós e possibilitando as características de *self-healing*.

V. CONCLUSÃO

Esse trabalho apresentou um estudo sobre o protocolo de comunicação ZigBee, realizado como requisito para o desenvolvimento de projetos de engenharia com a empresa Pixel TI. Abordaram-se os conceitos básicos, arquiteturas e padrões, aspectos relacionados às faixas de frequência, taxas de transmissão, dispositivos, topologias de rede e comunicação entre dispositivos. Devido às políticas de sigilo da Pixel TI, as atividades de projeto foram omitidas nesse documento. Contudo, ressalta-se que o embasamento teórico desenvolvido em etapa inicial e registrado nesse trabalho foi importante para entender e manipular os *firmwares* envolvidos no projeto.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa Pixel TI pelo apoio financeiro e conhecimento transmitido por parte de seus colaboradores na execução das atividades propostas, ao Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel) e ao Laboratório de Segurança Cibernética e Internet das Coisas (CS&I Lab.) por todo o suporte técnico oferecido.

REFERÊNCIAS

- [1] Simone Cirani, Gianluigi Ferrari, Marco Picone e Luca Veltri. *Internet of things: architectures, protocols and standards*. John Wiley & Sons, 2018.
- [2] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari e M. Ayyash. “Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications”. Em: *IEEE Communications Surveys Tutorials* 17.4 (2015), pp. 2347–2376.
- [3] C. Wang, T. Jiang e Q. Zhang. *ZigBee Network Protocols and Application*. SPRINGER, 2007.
- [4] H. Labiod, H. afifi e C. de santis. *Wi-Fi Bluetooth ZigBee and Wi-Max*. CRC Press, 2012.
- [5] D. S. Evangelista. *Integração de Redes de Sensores ZigBee para automação predial utilizando módulos Mahsbean*. Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, ENE, 2010.
- [6] S. Farahani. *ZigBee Wireless Networks and Transceivers*. Newnes, 2008.
- [7] Ata Elahi e Adam Gschwender. *Zigbee Wireless Sensor and Control Network*. Prentice Hall, 2009.

Estudo da possibilidade de explorar o modo AFH do padrão Bluetooth para sensoriamento espectral

Pedro H. C. Piantino e Dayan A. Guimarães

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

pedro.h@get.inatel.br, dayan@inatel.br

Abstract—In the adaptive frequency hopping (AFH) technique used in the Bluetooth standard, channels under interference are excluded from the hopping list, as an attempt to avoid a drop in the system's quality of service. This article presents the studies and tests made about the possibility of using the Bluetooth AFH for spectrum sensing. It is verified that the proposed subject has potential to be explored, in order to this happens there are some challenging conditions that make the process harder to be implemented. Some of those conditions were mapped in this study and described intending to make easier to understand the current boundaries of this technique and in which conditions it can be used for spectrum sensing.

Index Terms—Adaptive frequency hopping, Bluetooth, channel map, cognitive radio, spectrum sensing.

Resumo—Na técnica de saltos em frequência adaptativa (adaptive frequency hopping, AFH) utilizada no padrão Bluetooth, os canais sob interferência são excluídos da lista de saltos, na tentativa de evitar a queda da qualidade de serviço do sistema. Este artigo apresenta os estudos e testes realizados sobre a possibilidade de utilização do Bluetooth AFH para sensoriamento espectral. Verifica-se que a técnica proposta tem potencial de ser explorada, porém para que isso aconteça existem algumas condições desafiadoras que dificultam a implementação do processo. Algumas dessas condições foram mapeadas neste estudo e descritas com o intuito de facilitar o entendimento dos atuais limites desta técnica e em quais condições ela pode ser utilizada para sensoriamento espectral.

Palavras chave—AFH, Bluetooth, mapa de canais, rádio cognitivo, saltos em frequência, sensoriamento espectral.

I. INTRODUÇÃO

A quinta geração (*fifth generation*, 5G) das redes de telecomunicações está sendo implementada em vários países, mas a escassez de bandas de radiofrequência (*radio-frequency*, RF) livres é um notável empecilho à sua expansão. Isto se deve ao fato de que a política de alocação fixa de espectro adotada pelos órgãos reguladores tem levado à utilização ineficiente do espectro de RF pelos sistemas de comunicação sem fio. Nesta forma de alocação, apenas o usuário detentor da licença de uso do espectro, chamado de usuário primário (*primary user*, PU), tem direito de ocupação de determinada banda. Entretanto, sabe-se que os terminais de comunicação dificilmente transmitem de forma ininterrupta ou em toda a extensão territorial, o que leva à existência de bandas desocupadas, denominadas de buracos espectrais (*spectral holes*) ou espaços em branco (*whitespaces*). Com isso cria-se a oportunidade de implantação de uma política de alocação dinâmica de espectro, na qual se permite que usuários secundários (*secondary users*, SUs) utilizem bandas de RF de forma oportunista, quando as mesmas se encontrarem ociosas, melhorando assim a eficiência do uso do espectro [1, 2, 3]. O conceito de rádio cognitivo (*cognitive*

radio, CR) surgiu como uma possibilidade de implementação da política de alocação dinâmica de espectro [4]. Um CR é um dispositivo transceptor inteligente que pode ter seus parâmetros de comunicação reconfigurados via software [5]. Dentre os atributos de um CR encontra-se o sensoriamento espectral, que é capaz de permitir que um CR monitore o espectro de RF, decida sobre o estado de ocupação dos canais sensoreados e transmita nas lacunas espectrais sem causar interferência na rede primária. Para que um CR, na condição de SU, realize o sensoriamento espectral ele deve ter parte de seu hardware e de sua capacidade de processamento destinadas a este fim, o que eleva a sua complexidade, seu custo e seu consumo de energia, podendo até impactar na sua portabilidade devido ao aumento de dimensões físicas ou a necessidade de ser equipado com antenas próprias. É agregado ao sensoriamento espectral todas as demais funcionalidades cognitivas previstas para um CR, o que permite conjecturar que tal tecnologia não terá adoção comercial em larga escala, em curto prazo, talvez podendo ser viabilizada por completo apenas em sistemas além da quinta geração [3].

Neste artigo, é dada a continuação do estudo o qual busca-se desenvolver um sistema de hardware viável que fará parte de uma rede de dispositivos de Internet das coisas (*Internet of things*, IoT), rede a qual daria suporte para sensoriamento espectral eliminando a necessidade de implementação de tal funcionalidade nos CRs, reduzindo, assim, sua complexidade e viabilizando antecipar a expansão da política de acesso dinâmico ao espectro (*dynamic spectrum access*, DSA) [3]. Para isso será apresentado o desenvolvimento de uma segunda prova de conceito de um sistema de sensoriamento espectral de baixa complexidade que torna possível uma adaptação para um produto de baixo custo, implementado a partir do modo de saltos em frequência adaptativo (*adaptive frequency hopping*, AFH) do padrão Bluetooth, fazendo uso de uma Raspberry Pi, um computador com o sistema operacional Linux e um par de adaptadores Bluetooth específicos. Com um aprofundamento no estudo já realizado em [3], é demonstrado que a ideia tem potencial para ser explorada na implementação de sensores de espectro que podem ser conectados a dispositivos IoT, visando um massivo monitoramento de lacunas espectrais de forma a dar suporte a operação de rádios cognitivos por meio do DSA, porém tendo em vista que existem algumas barreiras ainda para serem superadas para que essa técnica seja utilizada com eficiência.

O restante do artigo está assim organizado: a Seção II resume alguns conceitos relacionados ao sensoriamento espectral. Na

seção III é descrita a proposta de uso do modo AFH como forma de um possível sensoriamento. A Seção IV apresenta os novos testes realizados com a prova de conceito da técnica e a seção V conclui o trabalho.

II. SENSORIAMENTO ESPECTRAL

Tipicamente, a operação do acesso dinâmico ao espectro prevê que a rede secundária possua um intervalo para a realização do sensoriamento espectral e outro para a comunicação, de forma não simultânea. O sensoriamento espectral pode ser realizado basicamente de duas formas: independente (ou individual), ou cooperativo. No sensoriamento independente, como o termo sugere, cada CR realiza o monitoramento do espectro de forma independente dos demais CRs. No sensoriamento cooperativo há a participação de vários CR no processo, valendo-se da diversidade espacial existente entre os rádios almejando reduzir a probabilidade de erros de detecção do sinal primário, assim aumentando a vazão da rede secundária e minimizando as chances de ocorrência de interferência na rede primária [3].

O sensoriamento cooperativo pode ser distribuído, caso em que os CRs trocam informações sobre o estado de ocupação da banda sensoreada e em seguida decidem por meio de um consenso, ou centralizado, caso em que as informações de sensoriamento são transmitidas para um centro de fusão (*fusion center*, FC) onde a decisão final é tomada. O FC pode receber diretamente as amostras de sinal colhidas pelos CRs, método chamado fusão de dados, ou, alternativamente, pode receber decisões locais tomadas em cada CR, método chamado fusão de decisões.

Quando se trata da fusão de decisões, parte da complexidade computacional é removida do FC, uma vez que as amostras do sinal primário são pré-processados localmente em cada CR, onde é formada a estatística de teste que será comparada com um limiar para que se decida sobre a presença ou a ausência de sinal na banda sensoreada. Dentre as estatísticas de teste mais conhecidas citam-se aquelas baseadas em detecção de energia, em filtragem casada, em detecção por propriedades ciclo-estacionárias do sinal primário, ou em autovalores [5, 6]. A decisão global é tomada a partir da aplicação da regra K-em-M, na qual decide-se pela presença do sinal primário na banda sensoreada se ao menos K dentre os M CRs em cooperação assim decidirem.

No cenário de fusão de dados, as amostras do sinal primário recebidas pelos M dispositivos secundários são encaminhadas ao FC, onde é formada uma única estatística de teste, por exemplo dentre aquelas supramencionadas, para posterior decisão global.

Uma vez tomada a decisão global, ela é transmitida a todos os CRs, subsequentemente realizando-se o acesso à banda declarada desocupada por meio de alguma técnica de acesso múltiplo [6].

III. APLICAÇÃO DO AFH DO PADRÃO BLUETOOTH COMO FORMA DE SENSORIAMENTO ESPECTRAL

O Bluetooth é um padrão de comunicação sem fio desenvolvido pelo Bluetooth SIG (*Special Interest Group*) para redes WPAN (*wireless personal area network*) operando na banda

não licenciada de 2.4 GHz. Sua versão mais recente é a 5.2, apresentada em 6 de janeiro de 2020 [7]. No Bluetooth 5.0 houve a combinação de tecnologias de versões anteriores que caracterizavam dois modos distintos de operação do padrão, o Bluetooth 1.0/2.0 (*basic rate / enhanced data rate*, BR/EDR) e o Bluetooth 4.0 (*Bluetooth low energy*, BLE). As próximas subseções descrevem de forma resumida os aspectos do padrão Bluetooth de maior interesse à proposta do artigo que será o Bluetooth BR/EDR.

A. Modos BR/EDR do padrão Bluetooth

O Bluetooth BR operava utilizando 79 canais de 1 MHz de largura de banda, transmitindo com modulação do tipo GFSK (*Gaussian frequency-shift keying*) e atingia taxas de transmissão da ordem de 1 Mbit/s. Na sua segunda versão, o Bluetooth EDR, o protocolo continuou a utilizar da mesma divisão de canais, porém passou a adotar os esquemas de modulação QDPSK (*quaternary differential phase-shift keying*) e 8DPSK (*differential 8-level phase-shift keying*), o que elevou a taxa de transmissão para a casa dos 3 Mbit/s [8, 9].

B. A tecnologia AFH do padrão Bluetooth

Para combater a interferência oriunda de outros sistemas de comunicação, muito comum na banda de 2,4 GHz, o Bluetooth SIG incorporou à especificação 1.2 do padrão a tecnologia AFH, a qual utiliza um mapa reconfigurável dos canais alocados ao processo de espalhamento espectral por saltos em frequência (*frequency hopping spread spectrum*, FHSS) adotado na interface aérea do padrão. No FHSS altera-se de forma pseudo-aleatória a frequência central do canal de comunicação entre o dispositivo mestre e o dispositivo escravo. A sequência de saltos em frequência contém 2^{27} saltos que ocorrem 1600 vezes por segundo, resultando em um período de 23,3 horas até que a sequência se repita. Durante a conexão Bluetooth, tanto o transmissor quanto o receptor conhecem o padrão pseudo-aleatório, que é calculado baseado na temporização (clock) do dispositivo mestre na *piconet*. [10, 9].

Através de uma equação definida na *firmware* do *chipset* é definido a sequência de saltos pseudo aleatórios. Esta equação define primeiramente alguns canais de saltos em frequência dentro da faixa de 0 a 64 MHz. Os saltos ocorrem dentro de uma faixa de canais abrangendo 32 possibilidades de saltos. Essa faixa desloca-se de forma a abranger 16 novas possibilidade de saltos a diante e desconsidera os 16 primeiros escolhidos anteriormente, e assim varia até chegar ao final dos 79 canais, conforme pode ser observado na figura [9].

Durante a comunicação entre os dispositivos mestre e escravo, o mapa de canais é criado para ambos os dispositivos. Caso um canal esteja livre de interferência, ele é classificado como disponível, ou seja, é um canal que fará parte da sequência de saltos em frequência, neste caso atribuindo-se o bit 1 ao canal no mapa. Caso seja detectada uma interferência suficientemente alta no canal, ele será classificado como desabilitado, ou seja, o mesmo não fará parte da sequência de saltos, neste caso atribuindo-se a ele o bit 0.

A classificação da qualidade de um canal é normalmente realizada por meio do indicador da potência do sinal recebido

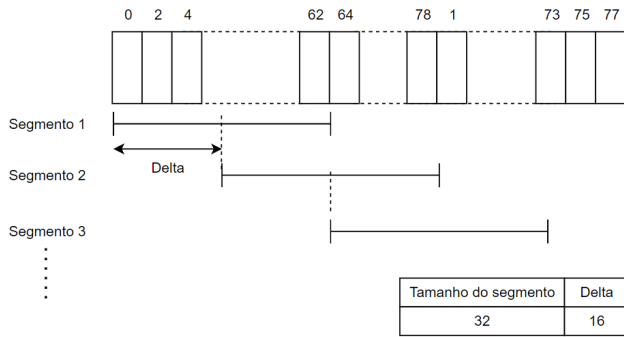


Fig. 1. Esquema de seleção de saltos em estado de conexão

(received signal strength indicator, RSSI), da taxa de erro de pacote ou de bit (packet / bit error rate, PER / BER), da razão sinal-ruído (signal-to-noise ratio, SNR), ou de alguma combinação destas métricas [10, 9].

C. Aplicação do AFH do padrão Bluetooth para sensoria-mento espectral

Basicamente, o sensoriamento espectral através do modo AFH do padrão Bluetooth consiste em realizar, em um ambiente controlado, a leitura do mapa de canais dos saltos em frequência. Como ilustra a Figura 2, dois dispositivos Bluetooth são mantidos conectados por cabo de forma a manter a conexão livre de interferência externa. Ao enlace é adicionado um combinador ligado à uma antena responsável por receber o sinal que se deseja detectar, utilizando-o como fonte de interferência na comunicação Bluetooth.

O sinal sensoriado recebido pela antena é amplificado por um amplificador de baixo ruído (*low noise amplifier*, LNA) e tem sua frequência transladada para a faixa de frequências de operação dos transceptores Bluetooth (2.4 GHz), caso tal sinal esteja fora desta faixa. A translação é realizada pela multiplicação do sinal de saída do LNA pela portadora senoidal gerada pelo oscilador local (*local oscillator*, LO). O sinal resul-tante da multiplicação é acoplado ao enlace Bluetooth por meio do combinador (*splitter ou combiner*). Atenuadores estão pre-sentes no sistema para que o nível de potência da comunicação dos dispositivos Bluetooth (BT mestre e BT escravo) seja colocado em um limiar próximo ao de classificação do canal como desabilitado, de forma que o menor sinal interferente recebido pela antena de sensoriamento seja capaz de alterar a classificação de um ou mais canais no mapa do AFH. A leitura do mapa é então feita através de uma função específica, permitindo interpretar os canais desabilitados como a porção do espectro em uso pela rede primária, e os canais habilitados como faixas de frequências ociosas.

Como a proposta trata-se de um sistema de baixo custo comparado aos hardwares atualmente utilizados para sensoria-mento espectral, almeja-se atingir as métricas de desempenho por meio da alta densidade e abrangente distribuição dos dispositivos, em vez de alta qualidade individual no senso-riamento, o que se pode conseguir com o acoplamento de módulos de sensoriamento a dispositivos IoT. Esta medida visa prover um amplo sistema de sensoriamento espectral, com elevada resolução espacial e abrangência territorial. Os resul-

tados do sensoriamento podem então alimentar bases de dados de ocupação espectral, as quais podem ser consultadas pela rede secundária, eliminando a necessidade de se ter terminais secundários equipados com a funcionalidade de sensoriamento espectral [3].

IV. TESTES UTILIZANDO O AFH MAP PARA SENSORIAMENTO ESPECTRAL

Foram realizadas experiências com o objetivo de verificar o comportamento responsivo do AFH *Channel Map*. Com esse intuito os testes se constituíram em inserir sinais interferen-tes de forma controlada dentro de cada canal disponível na comunicação Bluetooth entre dois dispositivos.

O critério buscado nos teste foi garantir a confiabilidade da extração da sinalização dos canais contidos no AFH da comunicação Bluetooth, evitando também um custo elevado do sistema. Para isso concluiu-se que a melhor das opções era utilizar uma Raspberry Pi como um dos dispositivos. Essa esco-lha foi devido ao fato do microcomputador utilizar o sistema operacional Linux que tem como interface da comunicação BLuetooth, a Pilha BlueZ, que é uma pilha já bem estabelecida como software.

Contribuindo com quesito confiabilidade também foram uti-lizados adaptadores Bluetooth os quais possuíam conectores SMA. Isso garantia que a comunicação Bluetooth pudesse ser realizada de forma cabeada evitando ao máximo interferências externas.

Ao realizar os primeiros testes descobriu-se que além da interface SMA era importante que a conexão do adaptador com o computador e com o microcomputador ocorresse via USB. Somente desse modo o dispositivo poderia ser reco-nhecido como um novo hardware Bluetooth para o Sistema Operacional, o que permite que os comandos sejam enviados para o *host controller interface* (HCI) do protocolo Bluetooth, possibilitando também a leitura e chamada do AFH Channel Map no próprio terminal do sistema Linux.

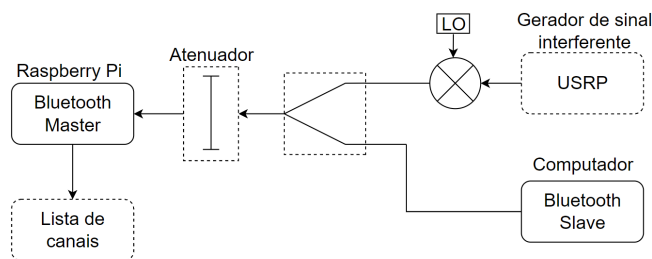
Desse modo, para o experimento foi utilizado um adaptador FSC-BP119. Este possui os seguintes parâmetros:

INTRODUÇÃO I PRINCIPAIS PARÂMETROS DO ADAPTADOR UTILIZADO

Chipset	CSR8510A
Modelo	FSC-BP119
Versão do bluetooth	V4.0 dual mode
Taxa de transferência	Até 3.0Mbps
Potência Tx	18.5dBm

A montagem do sistema constituiu-se na conexão entre dois adaptadores FSC-BP119, de modo que um estava plugado em uma Raspberry Pi e o outro em um computador com o sistema operacional Linux, Ubuntu versão 18.04, instalada. Foi também utilizado um equipamento de rádio definido por soft-ware Ettus USRP B210 como gerador de sinal interferente na comunicação entre os adaptadores. É demonstrada a conexão completa do sistema no diagrama da Figura 2.

A partir da instalação e configuração da pilha Blue Z nos dois sistemas operacionais, foi possível estabelecer a comunicação Bluetooth entre os dois dispositivo sem que a conexão fosse encerrada. Com essa Pilha, a leitura do



AFH Channel Map foi possível apenas utilizando o comando no terminal do Linux `"watch -interval 1 'hci-tool afh xx:xx:xx:xx:xx:xx:xx'".` Sendo os caracteres "x" a representação do código hexadecimal do dispositivo Bluetooth a se conectar. Este comando retorna o estado do mapa de canais de 1 em 1 segundo caso a conexão Bluetooth estiver estabelecida.

Inicialmente os testes demonstraram dois comportamentos inesperados, os quais o *Channel Map* apresentava variações que não correspondiam ao sinal inserido pela USRP. O primeiro deles a ser percebido foi que o AFH map demonstrava que bandas próximas ao sinal que foi inserido também eram desativadas, e o segundo, que variações aparentemente aleatórias ocorriam de forma recorrente no mapa de canais.

O resultado teórico esperado baseado nas informações do protocolo Bluetooth em [9], seria que cada um dos 80 bits representados pelos 20 caracteres em hexadecimal iriam variar entre 1 e 0, conforme houvesse ou não uma interferência significativa na conexão. O valor 1 para um canal livre e 0 para o ocupado, de modo que essa interferência é verificada através de um valor de RSSI ou de BER ou a combinação de ambos, como comentado anteriormente.

Para mitigar qualquer razão de falha externa a fim de compreender a origem dos efeitos indesejados foi utilizado um FielFox modelo A12 para verificar o comportamentos dos sinais interferentes gerados pela USRP. A partir disso notou-se que a largura de faixa abrangente do sinal interferente era muito mais larga do que se esperava no ponto de sensibilidade da conexão Bluetooth que teoricamente de acordo com os datasheets encontraria-se em -70dBm, o que demonstrou ser um dos motivos de tais variações ocorrerem no Channel Map em grande intensidade.

Diferentemente do *datasheet* do fabricante, os testes demonstraram que a sensibilidade do dispositivo é muito maior. Mesmo quando um sinal interferente de potência máxima de -85dBm é inserido entre a frequência de operação da conexão Bluetooth existe uma resposta do AFH Map em torno das posições que seriam correspondentes a frequência afetada, considerando os canais impróprios para uso.

Foram realizados novos testes para verificar a sensibilidade de resposta do *channel map* a diferentes sinais. Com este fim foi inserido pulsos na faixa de frequências dentro do espectro operante que também foram gerados e medidos pelo Field Fox. Sinais estes de largura de banda de apenas 50 Hz, com uma potência por volta de 0 dBm chamados de pulso CW. Vale ressaltar, que a largura de banda desse pulso é muito estreita comparado a largura de cada um dos 80 canais Bluetooth os

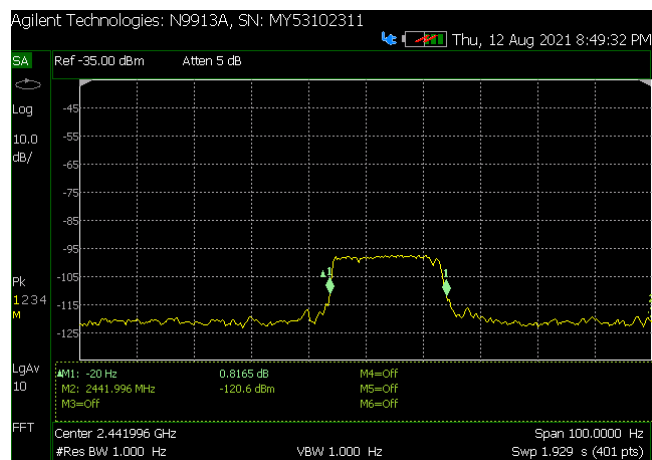


Fig. 3. Sinal de banda estreita e baixa potência que é capaz de ser detectado no AFH Map

```
A cada 1,0s: hcidtool afh 00:1A:7D:DA:71:06
AFH map: 0xffffffff3f00ffffffff7f
```

Fig. 4. AFH map em resposta ao sinal de menor potência e banda possível de detectar

quais possuem 1 MHz de BW. Porém esse valor ínfimo de BW já é suficiente para o AFH map reconhecer que houve alteração em algum canal da banda de operação do Bluetooth.

Tratando-se do segundo efeito indesejado, suspeitou-se que poderia haver interferências causando variações em vários canais do Channel map, como conexões WiFi e outros dispositivos Bluetooth próximos ao local do experimento que operam na mesma faixa de frequência. Assim foi realizado um teste na câmara anecoica, local o qual aniquila suficientemente qualquer sinal que poderia causar alguma interferência externa no Channel Map. Esse experimento pode ser observado na Figura 5.

Porém mesmo testando dentro de um ambiente quase que idealmente controlado as variações do AFH Map ainda se mantiveram, o que levou a concluir que o problema estaria no próprio sistema em si. Um dos artifícios que tornou o sistema um pouco mais estável foi utilizar de atenuadores de 30dB em cada um dos adaptadores.

Através de uma sequência de testes e análises mais detalhada, foi possível reconhecer dois tipos de padrões de variações diferentes no Channel Map. A primeira dessas variações duram em média 35 segundos após o momento que o sistema reconhece o sinal interferente, e é demonstrada na Tabela II.

INTRODUÇÃO II

RESPOSTAS DO AFH MAP MEDIANTE SINAIS INTERFERENTES - DURANTE OS 35 SEGUNDOS

Frequência do sinal	Canais esperados	Canais do AFH map
2480 MHz	80	74, 75, 76.
2479 MHz	79	74, 75, 76, 77, 78.
2478 MHz	78	74, 75, 76, 77, 78.
2477 MHz	77	76, 77, 78, 79.
2476 MHz	76	76, 77, 78, 79, 80.
2475 MHz	75	77, 78, 79, 80.

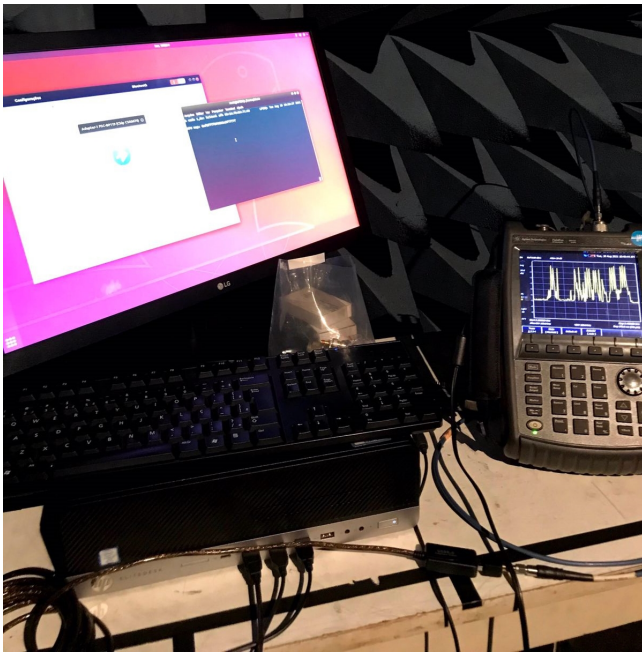


Fig. 5. Teste realizado na Câmara Anecoica, identificando AFH Channel Map sem interferências externas

Já na outra variação ocorre que para um mesmo sinal interferente podem haver mais de uma combinação binária para ser representada no mapa. Na grande maioria das vezes essa variação ocorre em média após 35 segundos em que o novo sinal interferente fora reconhecido no mapa de canais, de modo que após esse tempo, o AFH map entra em um estado permanente, com valores de bits organizados em um padrão completamente diferente. É possível também perceber que para alguns sinais interferentes, os quais são a minoria, o AFH map se mantém sem alteração.

Pôde-se observar uma certa padronização característica entre o modelo transitório e o permanente. O permanente sempre varia mais caracteres que o de regime transitório, porém normalmente os dois últimos caracteres da representação do AFH map, do regime permanente se iguala aos dois últimos caracteres dos bits do regime transitório. O que conclui-se que há um certo padrão nas variações do Channel Map.

Percebeu-se também que para reconhecer algum novo sinal interferente no AFH map, leva-se em média 13s de permanência ativa do sinal. Já para reconhecer a ausência de sinal, leva-se em média 60s, que é quando o AFH map começa a sofrer alteração mediante a ausência do sinal interferente, levando um total de 75s para voltar ao estado inicial completamente. Ou seja, reconhecer um sinal novo é 6 vezes mais rápido que reconhecer a ausência de sinal. Foi verificado que a faixa de tempo seguro para reconhecer um sinal interferente no sistema é apenas se ele se mantém no canal por 7 segundos.

Houve algumas frequências que chegaram a apresentar 4 modelos de variações no mapa. Normalmente essas variações ocorrem com alguns padrões os quais se repetem para várias frequências de maneira aparentemente aleatória. E como está registrado na própria documentação oficial do Bluetooth [9], o algoritmo que combina todas as informações para gerar o AFH Channel Map não é definido nas especificações.

V. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que através desses resultados obtidos é provável que haja uma codificação específica que mascara o resultado do AFH Channel Map do protocolo Bluetooth. Porém sem acesso ao algoritmo do *firmware* do Chip Bluetooth da Qualcomm, não é possível chegar-se em afirmativas concretas, o que limita a aplicabilidade do projeto. Porém isso não o torna inviável como um todo, pois ainda sim é possível reconhecer que haja qualquer sinal interferente que esteja dentro da banda de operação do Bluetooth, apenas com a ressalva de que não estará indicado precisamente em qual dos 80 canais estará a variação. Sabendo-se que a identificação de interferência ocorre em média apenas 13s após o primeiro sinal interferente no espectro e que o AFH levará 75s para atualizar, caso haja a ausência completa de sinais, pode-se fazer a uma verificação de em média 13 em 13 segundos re-setando o sistema logo após cada medida. Sendo assim, conclui-se que, para fins de sensoriamento espectral que tolera uma faixa de erro em frequência de de 80MHz e que tolera uma variação de 13 segundos de tempo de resposta e que capta apenas sinais que se mantém ativos em mais 7 segundos, esse sistema pode ser viável.

REFERÊNCIAS

- [1] "R. Engelman, K. Abrokwhah, G. Dillon, G. Foster, G. Godfrey e T. Hanbury". *Report of the Spectrum Efficiency Working Group*. URL: https://transition.fcc.gov/sptf/files/SEWGFfinalReport_1.pdf.
- [2] M. A. McHenry, P. A. Tenhula, D. McCloskey, D. A. Roberson e C. S. Hood. "Chicago spectrum occupancy measurements analysis and a long-term studies proposal". Em: *TAPAS'06* 2 (2006), p. 1. DOI: <https://doi.org/10.1145/1234388.1234389>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016412121730273X>.
- [3] D. A. Guimarães e E. J. T. Pereira. "Sensoriamento Espectral via Modo Adaptativo de Saltos em Frequência do Padrão Bluetooth". Em: *SBRT* 1 (2020), pp. 1–2. DOI: <https://doi.org/10.14209/SBRT.2020.1570654337>. URL: <https://biblioteca.sbrt.org.br/articles/2233>.
- [4] J. Mitola e G.Q. Maguire. "Cognitive radio: making software radios more personal". Em: *IEEE* 6 (1999), pp. 13–18. ISSN: 1070-9916. DOI: <https://doi.org/10.1109/98.788210>. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/788210/keywords#keywords>.
- [5] Y. Arjoun e N. Kaabouch. "A Comprehensive Survey on Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks: Recent Advances, New Challenges, and Future Research Directions". Em: *Sensors* 2 (2019), pp. 40–62. ISSN: 1424-8220. DOI: <https://doi.org/10.3390/s19010126>. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/1/126#cite>.
- [6] I. F. Akyildiz, B. F. Lo e R. Balakrishnan. "Cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks: A survey". Em: *Elsevier* 4 (2011), pp. 40–62. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phycom.2010.12.003>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S187449071000039X>.

- [7] Bluetooth SIG. *Bluetooth Core Specification*. URL: https://www.bluetooth.org/docman/handlers/downloaddoc.ashx?doc_id=478726 (acesso em 21/11/2021).
- [8] National instruments. *Introduction to Bluetooth Device Testing*. URL: https://download.ni.com/evaluation/rf/intro_to_bluetooth_test (acesso em 12/10/2021).
- [9] Bluetooth SIG. *Specification of the Bluetooth System Version 4.0*. URL: https://www.bluetooth.org/docman/handlers/downloaddoc.ashx?doc_id=456433 (acesso em 20/08/2021).
- [10] Rohde schwarz. *Bluetooth Adaptive Frequency Hopping on a RS CMW*. URL: https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/1c108/1C108_0e_Bluetooth_BR_EDR_AFH.pdf (acesso em 17/11/2021).

AUTORES

Pedro Henrique Carmo Piantino É



Graduando do décimo período de Engenharia de Telecomunicações no Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL). Durante a graduação atuou como monitor de cálculo numérico (2018), realizou outras duas pesquisas de Iniciação Científica (2018, 2019), a primeira relacionada ao desenvolvimento teórico de uma técnica de processamento de sinais digitais e analógicos e a outra relacio-

nada ao desenvolvimento de uma Smart Bike. Atualmente atua como estagiário na empresa LACE, desenvolvendo projetos na área da eletrônica aplicada a Telecomunicações com enfoque a produtos voltados para a Defesa Nacional.

Dayan Adionel Guimarães



Natural de Carrancas, MG. Técnico em Eletrônica (ETE FMC, 1987), Engenheiro Eletricista (Inatel, 1994), Pós-graduado, lato sensu, em Engenharia de Comunicação de Dados (Inatel, 2003), Pós-graduado, lato sensu, em Administração com ênfase em Gerência de RH (FAI, 1996), Mestre em Engenharia Elétrica (Unicamp, 1998), Doutor em Engenharia Elétrica (Unicamp,

2003), Pós-Doutorado (UFSC, 2010). Desenvolveu equipamentos para Instrumentação Industrial e Controle e foi Supervisor de Produção e Supervisor de Engenharia de Produtos na SENSE Sensores e Instrumentos, de 1988 a 1993. Desde janeiro de 1995 é professor do Inatel (hoje Professor Titular), onde foi responsável pela estrutura de apoio às atividades de ensino prático nas áreas de Telecomunicações, Eletrônica e Eletrotécnica, de 1995 a 2002.

A Importância de Disseminação de Conhecimentos de Segurança Cibernética

André L. A. Silva, Guilherme P. Aquino, Evandro C. Vilas Boas

Laboratório de Cyber Segurança e Internet das Coisas (CS&I Lab.), Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
andre.lucas@ges.inatel.br, guilhermeaquino@inatel.br, evandro.cesar@inatel.br

Abstract—This work presents the activities developed by the Inatel Cyber Security Center (CxSC Telecom) to provide a cyber security culture for employees of the National Telecommunications Institute (Inatel) and the local community. Among the activities, we highlight the development of audiovisual materials for education and awareness of good practices in data manipulation, concepts related to the General Data Protection Law (GDPL), and the identification of recurring cyber-attacks. It also discusses the activities' importance and effectiveness in collaborating with the institution to adapt to GDPL.

Index Terms—Cyber security, general data protection law, telecommunication networks, telecommunication.

Resumo—Esse trabalho apresenta as atividades desenvolvidas pelo Centro de Segurança Cibernética do Inatel (CxSC Telecom) no âmbito de disseminar conhecimentos de segurança cibernética em colaboradores do Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel) e comunidade local. Dentre as atividades, destaca-se o desenvolvimento de materiais audiovisuais de educação e conscientização sobre boas práticas em manipulação de dados, conceitos relacionados a Lei Geral de Proteção de Dados e identificação de ataques cibernéticos recorrentes. Discute-se também a importância dessas atividades e sua efetividade em colaborar com a instituição no processo de adequação a LGPD.

Palavras chave—LGPD, redes de telecomunicações, segurança cibernética, telecomunicações.

I. INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico e o desenvolvimento das redes e sistemas de telecomunicações possibilitaram maior conectividade entre pessoas. Processos ou atividades rotineiras antes desenvolvidas de forma física, migraram para o mundo digital transformando serviços e negócios. Dessa forma, observa-se um maior fluxo digital de informações sensíveis aos negócios das empresas e dados pessoais relacionados ao trabalho, compras online, cadastros em sites, entre outros [1]. Por conseguinte, intensifica-se a necessidade de assegurar o trânsito e armazenamento seguro dessas informações pelas redes e sistemas de telecomunicações, protegendo-os de acessos indevidos. Nesse contexto, surge o conceito de segurança da informação e segurança cibernética [2, 3].

A segurança cibernética integra um conjunto de políticas, regras e processos que envolvem tecnologias e pessoas com o objetivo de proteger informações contra acesso e uso não intencionais ou não autorizados [3, 4]. Nesse âmbito, protegem-se sistemas, redes e programas de ataques digitais que visam, em sua maioria, acessar, roubar, destruir dados sensíveis ou utilizá-los para extorquir pessoas e empresas. A segurança cibernética deve estar presente em diversas áreas da sociedade em geral para garantir princípios fundamentais aos cidadãos, amparando-se em cinco pilares fundamentais: confiabilidade,

integridade, disponibilidade, autenticidade e não repúdio [3, 4]. A confiabilidade dos dados refere-se ao acesso autorizado à um determinado dado ou informação. Esse conceito não deve ser confundido com a privacidade de dados na esfera pessoal. Por exemplo, os colaboradores de uma empresa possuem conhecimento de armazenamento de seus relatórios financeiros, porém, apenas um grupo seletivo possui de fato autorização para acessá-los e utilizá-los. A integridade remete-se a garantia de que um ou mais dados permaneçam exatamente como foram gerados, considerando as características iniciais de geração, produção e armazenamento. Dessa forma, garante-se que os dados ou informações não sejam adulterados. A disponibilidade introduz o conceito de garantia de acesso em relação ao tempo e acessibilidade de dados, redes e sistemas, ou seja, a qualquer hora e de qualquer lugar. A autenticidade visa garantir que uma entidade (pessoa, sistema ou dispositivo) seja realmente quem ou que diz ser. Por fim, o conceito de não repúdio relaciona-se ao fato de uma entidade não poder negar sua participação em um evento ou transação relacionada ao acesso, transmissão ou alteração de dados.

A segurança cibernética aplicada ao âmbito pessoal provê segurança no acesso ao meio digital tornando-o confiável. Em ambientes empresariais, tem-se a proteção de todas as informações nos processos da organização, aumentando sua segurança e credibilidade perante os usuários de seus serviços. No Brasil, sancionou-se a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) com a finalidade de regulamentar e resguardar os direitos de privacidade dos cidadãos [1]. A LGPD entrou em vigor em agosto de 2020, abordando definições e regras sobre o tratamento de dados pelas empresas, com o objetivo de garantir segurança jurídica ao manuseio de informações digitais ou não. A legislação exige a proteção e privacidade dos dados oriundos de pessoas físicas e coletados pelas empresas durante todo o ciclo, incluindo a coleta, uso/manipulação, armazenamento e descarte [5, 6, 7]. Caso ocorra incidentes que venham a expor esses dados, a Lei estabelece diretrizes administrativas às empresas que devem notificar os respectivos titulares. Além disso, prevê-se a fiscalização e punições às transgressões por meio da Autoridade Nacional de Proteção de Dados (ANPD), que é um órgão de estância federal responsável por fazer cumprir a LGPD.

A adaptação das empresas à LGPD deve ser acompanhada por um processo de conscientização e capacitação dos seus colaboradores quanto aos procedimentos implementados. Logo, as empresas devem prover o desenvolvimento de uma cultura de segurança cibernética para que seus colaboradores tenham



Fig. 1. Exemplo de Ransomware [8]

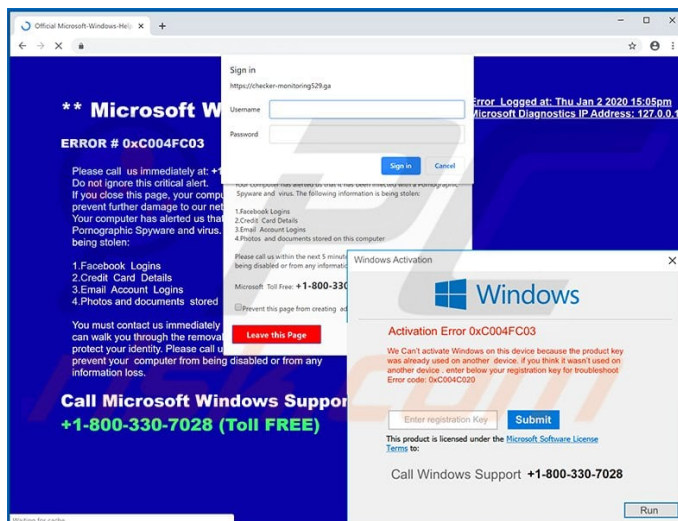


Fig. 2. Exemplo de Trojan [13]

consciência de suas responsabilidades e deveres ao manusear dados sigilosos. Nesse trabalho, abordam-se a importância de disseminação de conhecimentos de segurança cibernética e atividades desenvolvidas pelos autores no intuito de colaborar com a construção dessa cultura para os colaboradores do Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel) e comunidade local por meio de atividades do Centro de Segurança Cibernética do Inatel (CxSC Telecom).

Estrutura-se o trabalho em cinco seções. Na Seção II, discute-se aspectos básicos de segurança cibernética e os ataques comuns que colaboradores de uma empresa podem sofrer durante o desempenho de suas funções. Apresentam-se aspectos relacionados a LGPD na Seção III. Na Seção IV, introduz-se as ações desenvolvidas durante o ano de 2021 como forma de prover um ambiente de disseminação de conhecimento sobre segurança cibernética no Inatel. Por fim, destacam-se os principais comentários e trabalhos futuros na Seção V.

II. ATAQUES CIBERNÉTICOS RECORRENTES

Em segurança cibernética, consideram-se os dados e informações como insumos para trabalho, sendo a garantia de sua segurança objetivo principal no que condiz com os pilares fundamentais discutidos anteriormente. Logo, a segurança cibernética corresponde a um conjunto de medidas aplicadas sobre pessoas, tecnologias e processos, para prevenir ataques cibernéticos, que visam explorar vulnerabilidades em uma rede ou sistema de telecomunicações. Dentre os ataques cibernéticos recorrentes, destacam-se o *ransomware*, *trojan* e *phishing* [9, 10, 11, 12].

O *ransomware* é uma variante de ataque cibernético comum e utilizada por atacantes em práticas criminais [10]. O ataque consiste em invadir os sistemas de uma pessoa ou organização, sequestrar os dados por meio de criptografia e solicitar resgate para a vítima. Tipicamente e para evitar qualquer tipo de rastreamento financeiro, exige-se o resgate pago em criptomoedas dentro de um prazo estipulado pelo atacante. Expõem-se o indivíduo ao *ransomware* por meio de *links* maliciosos, cujo clicar inicia o *download* do *malware* que invade o sistema e criptografa os dados. Devido às campanhas de conscientização,

a exposição a esse tipo de ataque requer personalização durante a abordagem, que utiliza dados ou informações pessoais geralmente compartilhadas de maneira livre pelo titular através de sites e aplicativos móveis. Na Figura 1, demonstra-se um exemplo de ataque de *ransomware*. [9, 10].

O *trojan* refere-se a um ataque para roubo de informações de contas, sejam elas bancárias, de jogos ou de aplicativos móveis [11]. Geralmente esse tipo de *malware* se disfarça como um programa gratuito e atrativo para a vítima ou ainda se apresenta como um anexo de e-mail. Quando o programa é baixado ou o anexo aberto, o *malware* se instala na máquina ou sistema da vítima comprometendo a execução de atividades futuras, que passam a ser gravadas e enviadas para o atacante. Nesse caso, informações sensíveis ou privadas (senhas e transações bancárias) podem ser capturadas e utilizadas para extração de benefícios por parte do atacante. A infecção de um sistema pelo *trojan* envolve o consentimento da vítima, uma vez que a instalação de programas é seguida de um aceite por parte do usuário. Logo, uma forma efetiva de evitar sofrer esse tipo de ataque é realizar a verificação de confiabilidade da fonte do programa que será instalado. Na Figura 2, demonstra-se uma máquina que sofreu o ataque de um *trojan* e teve a chave Windows de ativação capturada e utilizada pelo atacante em outra máquina.

O *phishing* é um ataque popular e que tem como objetivo capturar informações de pessoas que não possuem conhecimentos em segurança cibernética ou baixa instrução em lidar com as soluções tecnológicas atuais [12]. Dessa forma, o atacante explora esses pontos para obter senhas de serviços bancários e informações confidenciais. Geralmente, esse tipo de ataque acontece por meio de e-mails. Uma variante desse ataque explora mensagens de texto via redes móveis para executar ato semelhante, sendo definida como *smishing* [4]. Para prevenção contra esses tipos de ataques, deve-se procurar conhecimento em segurança cibernética para entender como essas práticas ocorrem e poder identificá-las, considerando atualização constante devido à evolução nas abordagens pelos atacantes. Na Figura 3, tem-se uma mensagem típica de *phishing* [14].



Fig. 3. Exemplo de Phishing [15]

III. FUNDAMENTOS DA LEI GERAL DE PROTEÇÃO DE DADOS

Nota-se que os ataques cibernéticos exploram diversas formas de execução como a falta de conhecimento de pessoas e vulnerabilidades em sistemas e redes de telecomunicações em seus processos cotidianos. Portanto, a LGPD tem o intuito de minimizar o contingente de ataques cibernéticos e prover a adequação das empresas a proteção de dados em meios físicos e digitais [5, 6]. A LGPD introduz processos detalhados para tratamento correto da informação durante todo seu ciclo dentro de uma organização, definindo as responsabilidades da empresa para com os dados que detêm. Assim como, define sanções em caso de descumprimento por meio de multas. Verificam-se diretrizes no âmbito de conscientização da sociedade sobre a importância dos dados pessoais e os direitos fundamentais como a liberdade e a privacidade [7]. A legislação deve ser obedecida tanto a nível de pessoa física como pessoa jurídica.

A LGPD prevê ao titular dos dados todos os direitos legais enquanto suas informações estiverem sob posse de uma outra pessoa física ou jurídica. De acordo com o artigo 1º da Lei Geral de Proteção de Dados, sua função é: "proteger os dados fundamentais de liberdade e de privacidade e o livre desenvolvimento da personalidade de pessoa natural". Essa definição introduz dois pontos críticos que norteiam a LGPD: a proteção de direitos e a transparência de informações [5, 6, 7]. A proteção de direitos refere-se aos procedimentos de segurança que devem ser obedecidos no ciclo da informação enquanto sob o poder de uma outra pessoa física ou jurídica, evitando ações ilegais ou antiéticas. A transparência da informação permite que o titular da informação tenha livre acesso ao que está sendo feito com seus dados pessoais por terceiros. Dessa forma, garante-se o direito a privacidade, a liberdade de expressão, de comunicação e de opinião, a intimidade, a honra e a imagem, o acesso à informação, os direitos humanos, liberdade no desenvolvimento da personalidade, as dignidades e o exercício da cidadania e os direitos do consumidor.

No âmbito da legislação, classificam-se os dados em três

tipos: dados pessoais, sensíveis e anonimizados [6, 7]. Os dados pessoais referem-se àqueles de uma pessoa física identificada ou identificável. Os dados sensíveis remetem-se às informações de cunho individual como origem étnica, opinião política, orientação religiosa, orientação sexual, dado genético ou biométrico. Já os dados anonimizados compreendem aqueles em que o titular não pode ser identificado. A LGPD visa proteção dentro da legislação a qualquer pessoa física identificada ou inidentificável.

Em relação às sanções, qualquer organização que não se adeque à LGPD ou porventura venha a infringir a legislação será autuada pela ANPD com cobranças de multas sobre faturamento que podem alcançar a cifra limite de 50 milhões de reais. Além da ANPD, a LGPD especifica outra figura importante e relacionada à empresa, o *Data Protection Officer* (DPO) [5]. Esse representante organizacional é responsável por receber comunicações da ANPD, comunicações ou reclamações dos titulares dos dados e definir as providências a serem executadas sobre essas comunicações. Assim como, o DPO deve acompanhar as iniciativas de adequação à LGPD por parte da empresa, como por exemplo o desenvolvimento de uma cultura de segurança cibernética para capacitação dos colaboradores.

IV. A IMPORTÂNCIA DE DISSEMINAÇÃO DE CONHECIMENTOS EM SEGURANÇA CIBERNÉTICA

A disseminação de conhecimentos em segurança cibernética entre seus colaboradores é um dos meios pelos quais empresas devem explorar para reduzir riscos relacionados à proteção da informação. Uma vez que seus processos envolvem direta ou indiretamente pessoas, uma cultura organizacional com foco em segurança cibernética provê o correto conhecimento para que as boas práticas do ciclo da informação sejam atendidas segundo a legislação tanto para dados digitais ou físicos. Nesse contexto, a conscientização deve abranger todos os colaboradores independentemente das suas funções. Para exemplificar e segundo dados divulgados pela Verizon, 85% das violações de dados compreendem algum tipo de interação humana [16]. Portanto, verifica-se maior probabilidade de ocorrer um ataque cibernético em uma empresa por falha de seus funcionários na execução de processo de tratamento de dados pessoais que aqueles oriundos de ataques digitais através de um invasor mal intencionado com propósitos de acessar informações sensíveis.

Diante da importância em disseminar conhecimentos em segurança cibernética nos colaboradores do Inatel, o CxSC Telecom desenvolveu um projeto para produção de vídeos educativos abordando pontos importantes de conscientização sobre segurança cibernética em ambiente corporativo. Esses vídeos serão utilizados para fomentar o conhecimento dos colaboradores do Inatel em processo rotineiros de tratamento da informação digital ou física. Para elaboração dos vídeos, realizaram-se pesquisas e desenvolveram-se relatórios relacionados à área de segurança cibernética envolvendo o cenário internacional, os principais ataques cibernéticos recorrentes e métodos de segurança de dados. Ademais, produziram-se quatro vídeos a respeito da LGPD e cultura de segurança cibernética em ambiente organizacional, com viés educativo e dinâmico.

No âmbito social, o CxSC Telecom desenvolve um projeto de conscientização em alunos de ensino médio e/ou técnico em escolas públicas e particulares de forma a introduzir conceitos de segurança cibernética. Nesse viés, as atividades desenvolvidas nesse projeto compreenderam a confecção de apostilas ilustrativas e educativas para aprendizado dos alunos. Utilizou-se esse material dentro do projeto Telecom Challenge - Desafio Hacker.

V. CONCLUSÃO

Nesse trabalho, discutiu-se a importância de disseminação de conhecimentos em segurança cibernética em ambiente organizacional e também para a sociedade em geral. Apresentou-se os principais tipos de ataques cibernéticos que uma pessoa pode ser exposta, assim como discutiu-se a Lei Geral de Proteção de Dados. Dessa forma, elaboraram-se materiais audiovisuais em formato de vídeo e apostilas educativas para conscientização de colaboradores institucionais do Inatel e alunos de ensino médio e/ou técnico de escolas públicas e particulares, respectivamente. Trabalhos futuros incluem a expansão das ações de conscientização em segurança cibernética para redes sociais, assim como prover materiais educativos para outros projetos do CxSC Telecom que se iniciarão nos próximos anos como, por exemplo, os Capítulos de Cyber Segurança em escolas regionais. No âmbito corporativo, indicificam-se ações voltadas para o mapeamento de riscos das áreas e a estruturação de cursos de capacitação direcionados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro de Segurança Cibernética do Inatel (CxSC Telecom) pelo apoio financeiro na execução das atividades propostas, ao Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel) e ao Laboratório de Segurança Cibernética e Internet das Coisas (CS&I Lab.) por todo o suporte técnico oferecido.

REFERÊNCIAS

- [1] C. Mulholland. *A LGPD e o novo marco normativo no Brasil*. 6ª ed. Arquiologo Editorial, 2020.
- [2] J. Kurose e K. Ross. *Redes de computadores e a Internet: Uma abordagem top-down*. São Paulo: Person Education do Brasil, 2013.
- [3] W. Stallings. *Criptografia e Segurança de Redes*. São Paulo: Person Education do Brasil, 2008.
- [4] S. McClure, J. Scambray e G. Kurtz. *Hackers expostos: segredos e soluções para a segurança de redes*. Porto Alegre: Bookman, 2014.
- [5] Cláudio Filipe Lima Rapôso, Haniel Melo de Lima, Waldecy Ferreira de Oliveira Junior, Paola Aragão Ferreira Silva e Elaine Elaine de Souza Barros. “Lgpd-lei geral de proteção de dados pessoais em tecnologia da informação: Revisão sistemática”. Em: *RACE-Revista de Administração do Cesmac* 4 (2019), pp. 58–67.
- [6] Lara Rocha Garcia, Edson Aguilera-Fernandes, Rafael Augusto Moreno Gonçalves e Marcos Ribeiro Pereira-Barretto. *Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD): guia de implantação*. Editora Blucher, 2020.

- [7] Maria Eugenia Finkelstein e Claudio Finkelstein. “Privacidade e lei geral de proteção de dados pessoais”. Em: *Revista de Direito Brasileira* 23.9 (2020), pp. 284–301.
- [8] WannaCry: tudo que você precisa saber sobre o ransomware. . [Online]. Disponível em: <https://www.techtudo.com.br/listas/2017/05/o-que-voce-precisa-saber-sobre-o-ransomware-wannacrypt.ghml>. Acesso: 15.02.2022.
- [9] Hamad Al-Mohannadi, Qublai Mirza, Anitta Namanya, Irfan Awan, Andrea Cullen e Jules Disso. “Cyber-attack modeling analysis techniques: An overview”. Em: *2016 IEEE 4th international conference on future internet of things and cloud workshops (FiCloudW)*. IEEE. 2016, pp. 69–76.
- [10] Nikolai Hampton e Zubair A Baig. “Ransomware: Emergence of the cyber-extortion menace”. Em: (2015).
- [11] Attlee M Gamundani e Lucas M Nekare. “A review of new trends in cyber attacks: A zoom into distributed database systems”. Em: *2018 IST-Africa Week Conference (IST-Africa)*. IEEE. 2018, Page–1.
- [12] Muhammet Baykara e Zahit Ziya Gürel. “Detection of phishing attacks”. Em: *2018 6th International Symposium on Digital Forensic and Security (ISDFS)*. IEEE. 2018, pp. 1–5.
- [13] Tomas Meskauskas. *Como desinstalar Cryxos de um computador?* . [Online]. Disponível em: <https://www.pcrisk.pt/guias-de-remocao/9712-cryxos-trojan>. Acesso: 15.02.2022.
- [14] *10 Ways To Avoid Phishing Scams*. . [Online]. Disponível em: <https://www.phishing.org/10-ways-to-avoid-phishing-scams>. Acesso: 15.02.2022.
- [15] Emerson Alecrim. *O que é phishing? E como evitar golpes do tipo?* . [Online]. Disponível em: <https://www.infowester.com/phishing.php>. Acesso: 15.02.2022.
- [16] *Interação humana foi responsável por 85% das violações de dados*. . [Online]. Disponível em: <https://proximonivel.embratel.com.br/interacao-humana-foi-responsavel-por-85-das-violacoes-de-dados/>. Acesso: 13.04.2022.

Robô que utiliza luz ultravioleta tipo C para desinfecção de superfícies hospitalares

Henrique Faraco Freimanis, Fernanda Ellen de Souza, Marcos Henrique Rodrigues Lopes, Filipe Bueno Vilela

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

henrique.faraco@geb.inatel.br, fernanda.ellen@ges.inatel.br, marcos.lopes@gea.inatel.br, filipe.bueno@inatel.br

Abstract—Microorganisms are abundantly found in hospital environments. Type C ultraviolet light has had an effect by inhibiting most harmful microorganisms such as viruses, bacteria and even some types of fungi. However, most of this procedure is still performed manually and therefore has low effectiveness. The purpose of this article is to demonstrate that it is possible to mix two current technologies such as the floor robot and ultraviolet light, to help disinfect hospital surfaces autonomously.

Index Terms—Hospital, Robot, Surface disinfection, UV-C light.

Resumo—Microorganismos são encontrados de forma abundante em ambientes hospitalares. A luz ultravioleta tipo C tem surtido efeito ao inibir grande parte dos microorganismos nocivos como vírus, bactérias e até mesmo alguns tipos de fungos. Porém a maior parte desse procedimento ainda é realizado de forma manual e por isso tem eficácia baixa. O propósito deste artigo é demonstrar que é possível misturar duas tecnologias atuais como a do robô de chão e a luz ultravioleta, para auxiliar na desinfecção de superfícies hospitalares de forma autônoma.

Palavras chave—Desinfecção de superfícies, Hospital, Luz UV-C, Robô.

I. INTRODUÇÃO

Bactérias, vírus e fungos sempre foram microrganismos comumente encontrados de forma mais concentrada em ambientes hospitalares fechados devido ao fato de possuírem muita matéria orgânica. Uma grande parte desses organismos são nocivos, como o *Staphylococcus aureus*, também conhecido como uma superbactéria, que por sua vez causa infecções hospitalares, responsáveis por alta taxa de mortalidade[1].

A luz ultravioleta tipo C (UV-C), que está na faixa de 100 a 280 nm, provou ser de grande eficácia na hora de desativar diferentes bactérias e vírus. Um estudo feito sobre os efeitos da luz UV-C na bactéria *Methicillin-resistant Staphylococcus aureus* (MRSA), citada anteriormente, garante que há 3,56 log de inativação a 1 mW/cm² de potência luminosa por área, com uma exposição de 5 minutos de UV-C [2]. Ademais, um segundo estudo mostrou que a eficácia da luz UV-C no vírus “Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2” ou SARS-CoV-2 é de 3 log de inativação a 3.7 mJ/cm² junto com a redução de sua capacidade reprodutiva em um ambiente com 5 *Multiplicity of infection* (MOI) [3].

Um projeto similar ao que foi desenvolvido teve resultados positivos em reduzir o crescimento bacteriano com luz UV-C, apesar de que o aparelho de desinfecção, com as lâmpadas UV-C posicionadas verticalmente em uma base móvel, era muito complexo para ser utilizado por funcionários não treinados. Por não possuir uma interface intuitiva e precisar de um operador técnico quando alguns equipamentos eram movidos dentro da sala, o seu uso foi inviabilizado em ambientes hospitalares[4,

5]. Esse robô desenvolvido para eliminar o crescimento de microrganismos utilizando luz UV-C, mesmo sendo eficaz na inativação de muitos vírus e bactérias, provou ser pouco eficaz para inativar fungos como *Candida auris* em apenas um ciclo de esterilização[5].

Um experimento feito com outro robô para desinfecção de superfícies, utilizando luz UV-C, mostrou que não é possível criar um algoritmo simples que cubra cem por cento de uma área com ultravioleta tipo C dentro de hospitais. Porém, é possível ter uma ideia de onde não foi esterilizado pela luz ultravioleta do robô, com ajuda de *softwares* de mapeamento[6].

Logo, visando diminuir a quantidade desses microrganismos nocivos, o objetivo deste projeto foi desenvolver um robô de menor custo e complexidade, ao ser comparado com os que já estão no mercado, que utiliza lâmpadas ultravioleta tipo C para desinfetar superfícies hospitalares.

II. METODOLOGIA

O planejamento do desenvolvimento do robô teve início com a leitura de artigos científicos encontrados no “Google acadêmico” sobre os efeitos da luz UV-C em vírus, bactérias e fungos. Com a finalidade de entender os parâmetros para uma desinfecção eficaz de ambientes usando luz UV-C.

Em paralelo foi feita uma pesquisa sobre a viabilidade de usar, *Global Positioning System* (GPS), para auto localização em ambientes fechados, e para um futuro mapeamento de rota. Logo foi realizado um teste com um robô pré-existente no laboratório, que possuía Arduino e módulo GPS, parado para verificar a precisão do GPS.

Em seguida foi realizado um estudo inicial de peças a serem utilizadas tanto para a montagem do corpo principal do robô, assim como para a movimentação, recebimento de informações, processamento de dados e para garantir uma autonomia de no mínimo duas horas. Foi definido o uso de *Medium Density Fiberboard* (MDF) para estrutura, motores de 8 a 24 volts para movimentação, o uso do arduino Mega 2560 para o processamento de dados e uma placa *bluetooth* HC-05, junto com sensores de distância ultrassônico HC-SR04 para recebimento de dados. Para uma autonomia superior, uma bateria LiPo recarregável de 12 volts a 24 volts, 2000mAh até 5000mAh foi indicada.

Após definir de forma geral os componentes, o próximo passo foi construir um timer utilizando o circuito integrado LM555, para que com auxílio de um relé fosse possível controlar o acendimento das lâmpadas com o arduino, além de encomendar os componentes que não estivessem no laboratório de desenvolvimento. Também foi constatado que devido ao

fato do robô trabalhar com baterias de corrente contínua, para lâmpadas de corrente alternada, precisaria de um inversor de tensão.

Para acionar o relé de 5 volts que acenderia as lâmpadas sendo controlado por uma porta do Arduino, foi necessário utilizar um circuito acionador de relé que utilizaria um transistor BC547 em modo chaveador, um resistor de 1K2R e um diodo 1N4148.

Depois de definir o *timer* e o circuito controlador de lâmpada, o próximo passo foi definir o *design* do robô. Foram estudados três *designs* diferentes para movimentação sendo: o primeiro com as quatro rodas motorizadas, o segundo com duas rodas motorizadas e duas livres convencionais, o terceiro com duas rodas motorizadas e duas livres, porém unindo cada par lateral de rodas com uma esteira. Para as lâmpadas também foram analisados três *designs*, sendo eles, em uma vista superior ao robô, uma lâmpada na parte direta superior do centro robô com um ângulo de 135° e outra na esquerda superior do centro do robô com um ângulo de 45° (formato de seta), ou uma lâmpada na frente e outra atrás da infraestrutura, ou duas lâmpadas posicionadas uma na esquerda e outra na direita do centro do robô.

Com os motores a disposição, os testes de movimentação foram inicialmente feitos sem a base central do robô, com o circuito acendedor de lâmpada controlando o motor. Foi utilizado um módulo ponte H, *Dual shield*, para ter um controle de rotação individual de cada motor no sentido horário e anti horário. Foram realizados dois testes de controle dos motores com o módulo ponte H primeiro utilizando botões para executar ações e posteriormente utilizando o monitor serial do *software* Arduino *integrated development environment* (IDE).

Foram utilizadas novas lâmpadas tanto de testes fluorescentes que fossem réplicas exatas de uma lâmpada tipo luz ultravioleta tipo C. Foram escolhidas duas lâmpadas de 18 watts para testes com soquetes 2G11 por terem 22,50 cm cada, visto que é comum lâmpadas UV-C com essas mesmas especificações.

Foram realizados testes iniciais de códigos de Arduino com módulos ultrassônicos HC-SR04 através de simulador online “Tinkercad”.

As lâmpadas de testes foram soldadas a um reator de 50W que foi conectado ao relé chaveador do estado da lâmpada, controlado pelo Arduino.

O desenvolvimento da base do projeto começou com um *design* de três dimensões (3D) de esboço no Tinkercad. Após o esboço inicial, o *software* “Fusion 360” foi utilizado para fazer um segundo esboço em 3D. Foi montado como protótipo da base uma estrutura simples de papelão para acomodar os componentes.

Em seguida, mais um teste com *hardware* foi realizado. Os quatro sensores ultrassônicos que seriam encaixados na frente, na direita, na esquerda e atrás do robô, foram testados individualmente com um painel *liquid crystal display* (LCD) 16x2 para garantir que os sensores utilizados estivessem funcionando com precisão. O próximo passo foi unificar o código da movimentação, com a função de controle de lâmpada e com a função leitura de sensores ultrassônicos.

O *software* para criação de desenhos *open source* “Inkscape” foi utilizado para fazer o primeiro protótipo em MDF. O primeiro protótipo considerou espaço para os motores, rodas motorizadas, arduino e rodas livres e espaço para os sensores.

Foi desenvolvida uma peça para unificação do motor à roda feita em *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS).

Uma avaliação quanto aos parâmetros e aspectos de desvio de obstáculos foi engendrada. Três artigos foram analisados, dentre eles “Uso de um filtro de partículas”[7], “uso de uma bússola e informações posicionais”[8], e “desvio de obstáculos usando objetos referenciais” com o auxílio de uma câmera[9].

Foi utilizado um inversor de 44 watts de potência com fonte simétrica de 12 volts para acionamento das lâmpadas.

Para a movimentação do robô, foram executados três diferentes testes, para que o código final pudesse ser montado seguindo as possibilidades do protótipo. Em todos os testes foram incluídos as bibliotecas *DualMotor* e *Ultrasonic.h*, e suas montagens seguiram objetivos específicos: o primeiro verificou a movimentação do robô tanto para direita quanto para esquerda, utilizando números enviados ao Arduino, o segundo a capacidade do robô de percorrer circuitos simples, como um quadrado, e, por fim, o terceiro teste verificou se o protótipo conseguia detectar obstáculos repentinos.

Por último, foi realizado o teste do código final, que seguiria uma proposta de desvios de obstáculos e paredes.

III. RESULTADOS

O primeiro teste que envolveu um Arduino fixo em uma posição, de um robô pré-existente do laboratório, com módulo GPS em um ambiente fechado constatou uma enorme imprecisão. Ao calibrar o GPS o ponteiro foi direcionado para a África e logo depois que voltou ao país de origem, ficou se movimentando de forma errática em um raio de até 500 metros da localização real do Arduino.

Para montar o temporizador foi utilizado o site “multisim”, logo o tempo de saída (*Output*) em alta do LM555 pode ser calculado pela equação abaixo:

$$T(s) = \ln(3) * R3 * C1 \quad (1)$$

Sendo *T* o tempo em alta na unidade segundos, quando *trigger* for acionado, *R3* um resistor e *C1* um capacitor.

Após uma análise foi descoberto que o Arduino como temporizador era tão preciso quanto um lm555 no modo monoestável, logo a ideia de usar o circuito integrado para compor o temporizador foi descartada.

O modelo de robô escolhido pela equipe foi o de duas rodas motorizadas e duas livres sem esteira simulando robôs do tipo aspirador de limpeza. O *design* selecionado para as lâmpadas foi de lâmpadas posicionadas em formato de seta para não deixar lacunas na hora de desinfetar superfícies conforme o robô comesse a se movimentar.

Os testes de movimentação inicial feitos sem a base central do robô, utilizando apenas o relé como chaveador mostraram que o motor conseguia girar em um sentido apenas. Isso impediria o robô de realizar movimentos para frente ou para trás, assim como girar para direita ou esquerda, ao serem colocados dois motores.

O teste inicial da programação do sensor ultrassônico, utilizando o simulador Tinkercad, obteve sucesso em detectar obstáculos grandes como esferas e cubos simulados.

Os testes com os dois motores, mais o módulo ponte H foram bem sucedidos, pois foi possível controlar ambos motores de forma independente tanto utilizando botões ligados as portas do Arduino de forma externa, quanto enviando comandos pelo monitor serial do Arduino no IDE.

Ao conectar as lâmpadas no reator e conectar o reator no sistema acendedor de lâmpadas controlado pelo Arduino e na tomada 110 volts, as lâmpadas acenderam e apagaram conforme a programação do Arduino comandava.

Os testes individuais para testar cada um dos sensores ultrassônicos com um painel LCD 16x2 mostraram que três de quatros estavam funcionando dentro dos parâmetros. Um sensor estava mostrando leituras que variavam em uma faixa de 1 a 20 cm, provavelmente devido a algum erro de fabricação do sensor ultrassônico. Mas nada que fosse afetar diretamente o projeto, pois esse sensor poderia ser utilizado na parte de trás do robô a qual requer menor precisão de distância.

O primeiro *design* de adaptador eixo roda-motor tinha integridade estrutural insuficiente para suportar o torque, além de não encaixar direito no motor, mesmo com adaptações. No segundo protótipo, a parede da impressão foi reforçada para suportar o torque, porém também estava com as medidas incompatíveis ao eixo da roda. O terceiro *design*, representado pela figura 1 apresentou as medidas corretas e a quantidade de paredes adequadas para resistir à força do torque das rodas.

O segundo protótipo de base em MDF, visto na figura 2, apresentou problemas na estabilidade das rodas livres. Essa instabilidade impedia o robô de virar tanto para direita quanto para esquerda. Ao ser colocado no chão para se movimentar o motor como não estava fixo diretamente à base por MDF, apresentou perda de precisão na movimentação devido a roda encostar na base quando o robô se orientava para direita ou esquerda.

O terceiro protótipo de base em MDF, apresentado na figura 3, permitiu a correção de todos os problemas descritos anteriormente. As rodas livres ganharam estabilidade com cinco anéis de 3 mm em cada de MDF, entre o parafuso e elas. Os motores foram devidamente fixados à base por meio de duas placas extras de MDF.

O segundo teste de movimentação do robô foi feito para a verificação de sua movimentação lateral. Testado, identificou-se que precisaria de um maior atrito entre as rodas e sua superfície realizando movimento de giro de 90°. O terceiro teste foi feito com a finalidade de observar se o robô conseguiria completar um quadrado, desviando de paredes ao encontrá-las. De tal forma, o protótipo mostrou-se eficiente, conseguindo completar seu objetivo com sucesso.

O quarto teste foi feito para verificar seus sensores durante o aparecimento de paradas abruptas. Estabelecendo uma distância mínima de 5 cm, o sensor conseguiu captar o aparecimento repentino de um obstáculo, e frear antes do choque. Depois do obstáculo ser retirado da frente do sensor, o robô começou a se movimentar e seguiu sua rota pré-estabelecida.

No último teste de movimentação com o sensor ultrassônico integrado, o robô mostrou-se eficiente no quesito

de movimentação, deslocando-se o suficiente para a realização da desinfecção. Contudo, a bateria de 9 volts empregada, não conseguiu fornecer a energia devida a todos os componentes do robô, sendo necessária uma associação de baterias de maior voltagem.

Outro problema observado foi durante a execução da ré do protótipo. Ao ser acionada, a ré persistia mesmo depois do robô receber outro comando. Isso aconteceu devido ao fato de algumas peças apresentaram mal contato.

IV. DISCUSSÃO

Durante o desenvolvimento deste projeto, as lâmpadas UV-C foram substituídas por réplicas fluorescentes devido a questões de risco a saúde dos integrantes da equipe, tanto no manuseio estrutural quanto eletrônico. Posteriormente, quando lâmpadas UV-C reais forem utilizadas, para o garantir a segurança individual no manuseio delas é importante que estejam voltadas para baixo, como foi idealizado neste projeto.

O desenvolvimento da parte mecânica e estrutural mostrou-se de grande impacto para a estabilidade do robô, bem como exigiu refinado ajuste para encaixe das partes articuladas sem oferecimento de atrito.

A principal vantagem do *design*, de lâmpadas em formato de seta, escolhido frente a outros existentes no mercado é que ele possui uma ampla área de superfície de chão coberta pelas lâmpadas enquanto que a maioria desinfecta apenas paredes. O *design* baseado em robôs aspiradores de pó, com as lâmpadas direcionadas para baixo, foi engendrado de forma a garantir a segurança das pessoas que estivessem na sala, pois como foi mencionado anteriormente a luz UV-C apresenta riscos a saúde humana.

Existe grande potencial no robô para desinfecção de superfícies hospitalares. Ao ser finalizado o projeto diminuirá riscos de infecções de vírus e bactérias, podendo desinfetar salas enquanto ela é utilizada em alguns casos.

Os testes de movimentação, demonstraram a complexidade de criar-se um robô que fizesse a desinfecção integral do ambiente. Sendo assim, a ideia inicial de realizar um traçado de rotas foi descartada, visto que diagnosticou-se falhas durante seu percurso. Devido a obstáculos como equipamentos, mesas posicionadas no centro de uma sala, por exemplo, que poderiam interferir gravemente no trajeto e, consequentemente, na limpeza total do ambiente.

Sendo assim, a desinfecção programada por aleatoriedade mostrou-se a melhor opção, mesmo sendo difícil calcular o tempo necessário para se desinfetar um ambiente por completo. Ademais, há o aspecto da parcialidade da desinfecção, já que não seria possível alcançar cantos e áreas relativamente pequenas. Contudo, em contextos de maior cobertura na limpeza com menor porcentagem de erros no percurso e de programação do aparelho com acessibilidade, essa alternativa segue sendo mais viável.

V. CONCLUSÃO

Dado o exposto, conclui-se que o arranjo eletrônico e mecânico atingiu o objetivo quanto ao controle e movimentação do robô em ambientes com obstáculos. Em pesquisas futuras, objetiva-se, no entanto, construir outros

designs de base com finalidade de acomodar as lâmpadas UV-C. Após isso, o inversor de tensão deveria ser integrado no robô e uma bateria de lítio recarregável de no mínimo 12 volts com baixa resistência interna, capaz de alimentar todos os componentes com corrente, também deveria ser introduzida na base do robô.

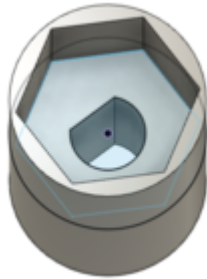


Fig. 1. Adaptador Motor-Roda.

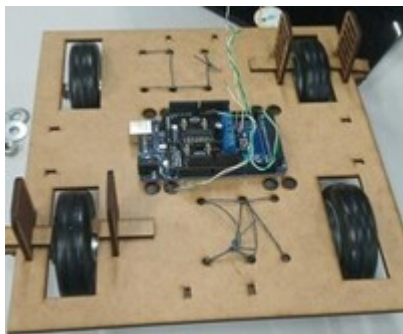


Fig. 2. Montagem do segundo protótipo em MDF.

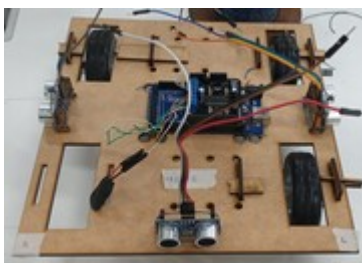


Fig. 3. Montagem do terceiro protótipo em MDF.

REFERÊNCIAS

- [1] Henry F Chambers e Frank R DeLeo. "Waves of resistance: Staphylococcus aureus in the antibiotic era". Em: *Nature Reviews Microbiology* 7.9 (2009), pp. 629–641.
- [2] William A. Rutala; Maria F. Gergen; Brian M. Tande; David J. Weber. "Room Decontamination Using an Ultraviolet-C Device with Short Ultraviolet Exposure Time". Em: *Infection Control Hospital Epidemiology* (2014).
- [3] A. Pareschi G. et al. Biasin M. Bianco. "UV-C irradiation is highly effective in inactivating SARS-CoV-2 replication". Em: *Sci Rep* (2021).
- [4] Hamza S. UVC disinfection robot. Guettari M Gharbi I. "UVC disinfection robot". Em: *Environ Sci Pollut Res Int* (2020).
- [5] Van den Nest Miriam; Julia E; Elisabeth P; Magda DE Astrid F; Beata Z. "The use of a UV-C disinfection robot in the routine cleaning process: a field study in an Academic hospital." Em: *Antimicrob Resist Infect Control* (2021).
- [6] Beatriz Inês Almeida Pinto. "UVC Dose Mapping by Mobile Robots". Em: *Repositório Aberto da Universidade do Porto* (2021).
- [7] Rafael Fazzolino Pinto Barbosa. "Auto-localização e mapeamento de ambientes: uma abordagem para robôs simples". Em: *Biblioteca Digital da Produção Intelectual Discente da Universidade de Brasília* (2017).
- [8] Frederico M Santos, Valter F Silva e Luis Almeida. "Auto-localização em pequenos robôs móveis e autônomos: O caso do robô Bulldozer IV". Em: *revista Electrónica e Telecomunicações* 3.6 (2002).
- [9] Leandro Nogueira Couto e Fernando Santos Osorio. "Autonomous self-localization of mobile robots through reference point based computer vision". Em: *2012 Second Brazilian Conference on Critical Embedded Systems*. IEEE. 2012, pp. 1–5.

AUTORES

Henrique Faraco Freimanis



Estudante de graduação do 5º período de Engenharia Biomédica(2022) no Instituto Nacional de Telecomunicações. Atualmente trabalha na empresa junior "Consultoria e Projetos em Engenharia Elétrica"(CP2ejr) como assessor do núcleo de projetos. Tem interesse nas áreas de desenvolvimento de hardware, física médica e empreendedorismo.

Fernanda Ellen de Souza



Estudante de graduação do 3º período de Engenharia de Software(2022) no Instituto Nacional de Telecomunicações. Integra a equipe de robótica do INATEL, Robotbulls. Tem interesse nas áreas de robótica, desenvolvimento de software e tecnologia voltada para a área médica.

Marcos Henrique Rodrigues Lopes



Graduando no Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL) na área de engenharia de controle e automação, integrando a equipe de robótica RobotBulls pela categoria sumô lego. Técnico em eletrônica com ênfase em automação pela Escola Técnica de Eletrônica "Francisco Moreira da Costa" e monitor das disciplinas de E205 e E207 no próprio Inatel.



Filipe Bueno Vilela Engenheiro Biomédico graduado pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel), com mestrado em Engenharia de Materiais, com foco na área de Biomateriais, pela Universidade Federal de Itajubá (Unifei). Professor do Inatel e da Escola Técnica de Eletrônica

”FMC”. Coordenador de projetos do centro de pesquisas em Engenharia Biomédica eHealth Innovation Center. Voluntário no Hospital Antônio Moreira da Costa.

Sistema de educação continuada para pessoas com paralisia cerebral no aprendizado da reprodução de palavras de forma oral – Sistema Voz

Carla Carvalho Benecioto, Pedro Pereira Guimarães
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
carlabenecioto@geb.inatel.br, pedro.pereira@gec.inatel.br

Abstract—Continuing education system for people with cerebral palsy in learning to reproduce words orally - Voice System or known as Expression consists of a program that consists of helping the speech therapist for the speech process with people with Cerebral Palsy or CP.

Index Terms—Expression, cerebral palsy, pronunciation, voice.

Resumo—Sistema de educação continuada para pessoas com paralisia cerebral no aprendizado da reprodução de palavras de forma oral – Sistema Voz ou conhecido como Expressão consiste em um programa que consiste em ajudar o fonoaudiólogo para o processo de fala com pessoas com Paralisia Cerebral ou PC.

Palavras chave—Expressão, paralisia cerebral, pronúncia, voz.

I. INTRODUÇÃO

Encefalopatia Crônica Não Progressiva, popularmente conhecida como Paralisia Cerebral (PC), é a deficiência de ordem neuromotora mais comum na infância, sendo caracterizada por alterações neurológicas permanentes que afetam o desenvolvimento motor e cognitivo, envolvendo o movimento, a postura do corpo e o aprendizado da fala[1].

Pessoas com PC têm limitações em diferentes graus da capacidade de produção oral simbólica ou linguística. Cerca de metade das crianças com paralisia cerebral tem pelo menos alguma alteração oromotora (movimento e fala) que dificulta a comunicação oral[2]. Há de considerar o fato da criança não se ouvir, por exemplo, se a criança falar "casa" ela escuta um murmuro e não consegue identificar onde está o erro ou o acerto. A linguagem verbal, quando escassa ou nula, é uma das causas que originam a dificuldade em aumentar o vocabulário [3].

Apesar das lesões da PC não serem progressivas, as suas manifestações clínicas podem ser alteradas ao longo do tempo, face ao desenvolvimento da plasticidade cerebral[3]. Isto indica que, apesar das alterações físicas de postura, respiração e de articulação da fala interferirem na linguagem, não pode ser dito que a criança não tem potencial de comunicação[2].

O objetivo deste projeto é criar um sistema que atue no aprendizado da fala e no auxílio à comunicação da pessoa com PC, onde é gravado um áudio do paciente pronunciando e depois reproduzido para mostrar sua pronúncia e com a ajuda de um fonoaudiólogo auxiliar para a percepção dos erros e a ajuda para corrigi-los. Com base nisso criar um gráfico que possa mostrar os avanços e quais palavras foram acertadas e quais não foram podendo assim encontrar uma conduta que ajude o paciente com PC a falar de forma correta.

II. METODOLOGIA

Para criar um sistema que atue no aprendizado da fala e no auxílio à comunicação da pessoa com dificuldade em fala, foi necessário desenvolver uma interface de fácil entendimento para gravar o paciente falando e reproduzir o áudio gravado com a voz dele, para mostrar como está sendo sua pronúncia, identificar onde está sendo a dificuldade.

A. Linguagem de programação

Para o desenvolvimento do programa foi utilizada a linguagem Python, com as bibliotecas: Tkinter (para interface gráfica), pyttsx3 (para reproduzir textos em áudio), pyaudio (para reproduzir áudios), matplotlib (para gerar gráficos), entre outras.

B. Expressão

b.1) Aba de login

Para cada paciente há uma aba de início na qual faz o login onde coloca seus dados para entrar ao programa.

b.2) Aba de cadastro

Na aba de cadastro o paciente insere seu nome, data de nascimento e email, para que possam ser salvas suas informações.

b.3) Aba home

Após o cadastro e o login está a aba home, onde é possível escolher frases para que sejam escutadas, gravadas, reproduzidas e comparadas com as frases originais.

b.4) Aba de áudios

Após a gravação do áudio das frases aparecerá um gráfico indicando a porcentagem de acerto da frase dita pelo paciente comparada com a original.

C. Expressão 2

Após avaliação do estado da técnica por meio de estudo da literatura científica e consulta à profissional em fonoaudiologia participantes da equipe, identificou-se a necessidade de alteração na interface gráfica para melhor interação com o paciente, tendo em vista que muitos deles são crianças.

III. RESULTADOS

A. Expressão

a.1) Aba de login

Para cada paciente há uma aba de início na qual faz o login onde coloca seus dados para entrar ao programa. Nesta aba há também uma opção de cadastro, onde o paciente pode colocar seus dados para criar uma nova conta.



Fig. 1. Aba do login.

a.2) Aba de cadastro

Na aba de cadastro o paciente insere seu nome, data de nascimento e email, para que possam ser salvas suas informações.



Fig. 2. Aba do cadastro.

a.3) Aba home

Após o cadastro e o login está a aba home, onde é possível escolher frases para que sejam escutadas, gravadas, reproduzidas e comparadas com as frases originais.

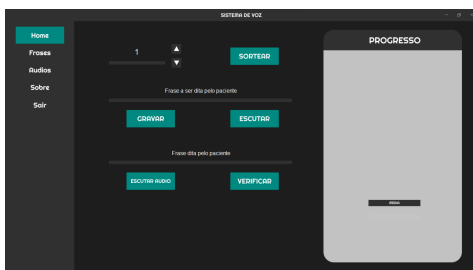


Fig. 3. Aba home.

Nesta aba o paciente pode escolher a dificuldade das frases para reproduzir, sendo esses níveis de 1 a 5, a cada nível que se sobe mais difícil ficam as frases.

Exemplo do nível 1:

```
if dificuldade == 1:
    pronome = ['olá',
                'sim',
                'não',
                'bem',
                'tudo',
                'beijos',
                'tchau',
                'coisa',
                'casa',
                'rua',
                'avenida',
                'tempo',
```

Fig. 4. Aba home.

Exemplo do nível 2:

```
elif dificuldade == 2:
    pronome = ['por favor',
                'com licença',
                'bom dia',
                'boa tarde',
                'boa noite',
                'até logo',
                'até breve',
                'aonde vamos',
                'estrela do mar',
                'dente de leite',
                'cor-de-rosa',
                'cofre forte',
```

Fig. 5. Nível 2.

Exemplo do nível 3:

```
elif dificuldade == 3:
    pronome = ['estou com fome',
                'estou com sono',
                'prazer em conhecer você',
                'eu sou brasileira',
                'como você está',
                'estou bem, obrigada',
                'quem é você',
                'pense menos, viva mais',
                'aparência se vê, essência se sente',
                'seja o lado bom da vida',
                'vá para onde o seu coração te levar',
                'a vida é entrega, disposição',
```

Fig. 6. Nível 3.

Exemplo do nível 4:

```
elif dificuldade == 4:
    pronome = ['que seja tudo coberto de bem querer',
                'o mais importante dos amores: o próprio',
                'a luz que tu precisas tá dentro de você',
                'quando vamos para a casa',
                'eu não entendo o que você diz',
                'lutar sempre, vencer as vezes, desistir nunca',
                'deixe pra trás o que não te leva pra frente',
                'faça valer a pena, as oportunidades não voltam',
                'surpresas são melhores que promessas',
                'seja morada de sentimentos bons',
                'eu estou me sentindo doente hoje',
                'eu estou um pouco atrasado',
                'o que tem para o café da manhã hoje',
                'eu não dormi muito bem, eu tive um pesadelo',
                'eu fiz uma prova e me sai bem',
                'o almoço está pronto',
                'você poderia me ajudar a lavar a louça',
                'vamos comer for a hoje à noite',
```

Fig. 7. Nível 4.

Exemplo do nível 5:

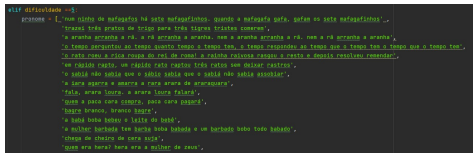


Fig. 8. Nível 5.

a.4) Aba de áudios

Após a gravação do áudio das frases aparecerá um gráfico indicando a porcentagem de acerto da frase dita pelo paciente comparada com a original.

Na aba de áudios o paciente pode escutar suas gravações anteriores. Foi feita uma organização dos nomes dos áudios para facilitar a localização. Os nomes dos áudios têm como padrão “Audio_nome_audio_nro_data_DD-MM-AA_frase.wav” (Ex: ”audio_Pedro_audio_0_data_16-8-2021_ano.wav”).

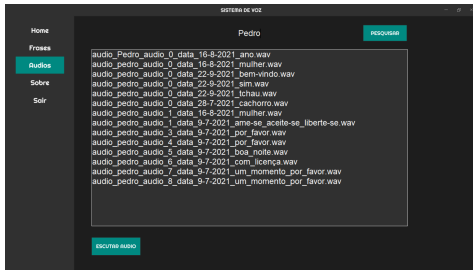


Fig. 9. Aba de áudios.

B. Expressão 2

As indicações de ajustes na interface do sistema foram registradas como melhorias para pesquisas futuras. Nesta interface foi adicionada uma nova aba, para ajudar os pacientes com PC com os fonemas de cada letra, para identificar como é a pronúncia e o som de cada letra, assim dependendo da posição que a letra se encontra e como a língua está posicionada, consigam visualizar melhorar com ajuda de um profissional.

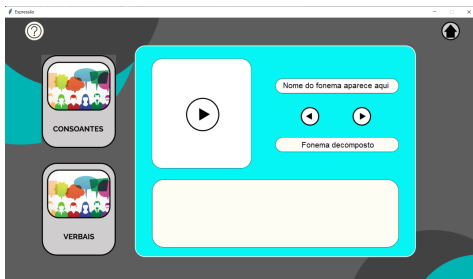


Fig. 10. Aba de fonemas.

Ao apresentar o programa para uma paciente com PC junto com a fonoaudióloga e a terapeuta ocupacional, observa-se uma grande dificuldade em tentar falar por conta disso tivemos a ideia de colocar uma aba só com os fonemas para ajuda-la a reparar como está sendo a pronúncia de cada letra para juntar todas e sair a palavra completa em seguida.

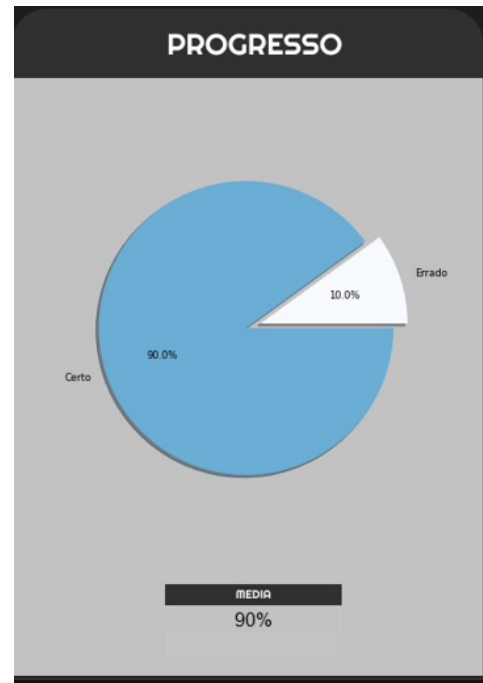


Fig. 11. Porcentagem do progresso do paciente.

IV. DISCUSSÃO

Após a apresentação do programa foram vistos que os benefícios não seriam somente para as pessoas com paralisia cerebral, mas também para todos que têm dificuldades em reproduzir sons e palavras mais complicadas. Além disso o programa ajuda a que os pacientes não fiquem dependentes de um profissional sempre ao seu lado para treinar a fala. Porém o projeto ainda está muito limitado, podendo ser expandido em varias outras funcionalidades para deixa-lo mais completo e prático.

V. CONCLUSÃO

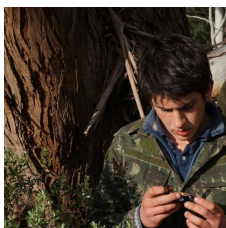
Conclui-se, portanto, que o dispositivo desenvolvido possui recursos para treinamento de fala sem dependência do acompanhamento de uma fonoaudióloga. Dessa forma, os objetivos previstos para o trabalho, tais quais criar um sistema que auxilie no aprendizado a fala e no auxílio de comunicação de pessoas com dificuldades foram/não foram atingidos plenamente.

Como pesquisas futuras recomenda-se que sejam desenvolvidas novas abas para ampliar as funcionalidades do programa para que seja mais facil a aprendizagem da fala e a comunicação do paciente com o programa.

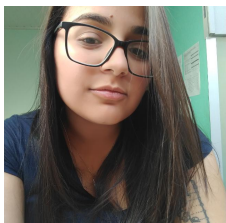
REFERÊNCIAS

- [1] K BOBATH. *A deficiência motora em pacientes com paralisia cerebral*. São Paulo, 2009.
- [2] M.R.R. ET AL BALTOR. *Interação com a criança com paralisia cerebral: comunicação estigma*. São Paulo, 2014. URL: <https://www.redalyc.org/pdf/1277/1277%2030129006.pdf>.
- [3] J.M.M AZEVEDO. *Software Plaphoons na comunicação de individuos com paralisia cerebral*. São Paulo, 20/12/2020. URL: http://repositorio.esepf.pt/bitstream/20.5%20000.11796/790/2/PGEE_2010JoseAzevedo.pdf.

AUTORES



Pedro
marães
Engenharia
pelo INATEL
stituto Nacional
de Telecomunicações.
Atualmente
 cursando o 5 período do
curso.



Carla Carvalho Benecioto é graduanda do 7º período de Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel). Participou da Fetin no ano de 2018 e 2021 e membro atuante I. Monitora de Química geral na mesma faculdade. Possui interesses em linguagem de programação, pesquisas médicas,

equipamentos médicos e inovação para reabilitação.

Aplicativo Lúdico de Controle e Auxílio para portadores de Doença Renal Crônica

Júlia da Silva Villela, Filipe Bueno Villela
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
julia.villela@gec.inatel.br, filipe.bueno@inatel.br

Abstract—Chronic kidney disease affects a large part of the world's population. In Brazil, it is estimated that more than 100,000 people are undergoing dialysis treatment. If, on the one hand, the lack of vacancies for hemodialysis is treated as the central problem, on the other hand, there is an increase in treatment abandonment, either by financial conditions, psychological conditions or lack of hope in treatment. The application mentioned below was developed in order to assist patients with chronic kidney disease through simple resources, such as diary, suggestions of healthy eating and physical exercises, medication control and a gamified resource that entertains the user. The application was developed with the e-Health Innovation Center with the objective of further expansion and application in the medical/hospital environment.

Index Terms—Chronic kidney disease, treatment, application, aid.

Resumo—A doença renal crônica afeta grande parte da população mundial. Somente no Brasil, estima-se que mais de 100 mil pessoas estão em tratamento dialítico. Se, por um lado, a ausência de vagas para hemodiálise é tratada como o problema central, por outro, há o aumento no abandono do tratamento, seja por condições financeiras, psicológicas ou por falta de esperança no tratamento. O aplicativo referido abaixo foi desenvolvido com o intuito de auxiliar os pacientes portadores da doença renal crônica através de recursos simples, como diário, sugestões de alimentação e exercícios físicos, controle da medicação e um recurso gamificado que orienta ao passo que entretém o usuário. A aplicação foi desenvolvida junto ao e-Health Innovation Center com o objetivo de posterior ampliação e aplicação no meio médico/hospitalar.

Palavras chave—Doença renal crônica, tratamento, aplicativo, auxílio.

I. INTRODUÇÃO

As doenças renais afetam grande parte da população ao redor do globo e o diagnóstico tardio dessas doenças é um dos principais aspectos para a complicação do quadro clínico dos pacientes. Dados da Sociedade Brasileira de Nefrologia (SBN) indicam que a prevalência da doença renal crônica (DRC) no mundo é de 7.2% para indivíduos acima de 30 anos e de 28% a 46% em indivíduos acima de 60 anos. Só no Brasil, a estimativa é de que mais de 10 milhões de pessoas tenham a doença e, desses, mais de 100 mil estão em diálise, sendo que 30% têm mais de 65 anos, número que cresceu mais de 100% nos últimos 10 anos. Dados mostram ainda que 70% dos pacientes que fazem diálise descobrem a doença tardiamente. A taxa de mortalidade para quem enfrenta o tratamento é 15% [1]. Além disso, conforme a Organização Panamericana de Saúde (OPA) e a Organização Mundial de Saúde (OMS), nos últimos 50 anos, a expectativa de vida na América Latina aumentou em 20 anos. Isso faz com que o número de doentes renais

também apresente um salto, dado que a taxa de filtração glomerular estimada (TFGe) declina lado a lado com a idade em decorrência da degradação dos cálices renais e da descamação celular do néfron [2]. Consequentemente, é necessário ressaltar a importância da atenção à saúde renal, para diagnosticar e dar início ao tratamento o quanto antes.

De acordo com Oliveira, J. (2016), que avaliou cerca de trinta pessoas que não estavam em tratamento nefrológico, 66,7% não sabiam do que se tratava a doença renal crônica (DRC). 53,3% dizia conhecer alguém com problema renal, mas logo associaram ao cálculo renal. No que se trata dos fatores de risco, 40% disseram não saber quais são, e 53,3% dizem não conhecer as medidas preventivas para a DRC [3]. Os números comprovam a falta de conscientização da população acerca de uma doença silenciosa e que tem feito cada vez mais vítimas no Brasil.

A integração de recursos tecnológicos à saúde tem conferido importantes contribuições à área nefrológica. Dentre elas, é possível observar o aprimoramento de equipamentos que levam a diagnósticos mais precisos, desenvolvimento de medicamentos mais eficazes e seguros, técnicas cirúrgicas menos invasivas utilizando a robótica, entre outras aplicações. O uso dos jogos sérios como forma de promover engajamento foi adotado, por exemplo, por clínicas de fisioterapia, como forma de estimular a reabilitação dos pacientes em tratamento, uma vez que o processo fisioterapêutico tende a ser desestimulante por conter exercícios repetitivos e entediantes, resultando em tratamentos falhos ou desistências. Sendo assim, os jogos vêm para ajudar no estímulo para execução dos movimentos e como forma de verificar a execução correta dos exercícios, deixando de lado o aspecto repetitivo e tedioso [4]. Essas inovações tecnológicas refletem diretamente na qualidade da assistência e sobrevida dos pacientes [5].

Atualmente, o uso de aplicativos para acompanhamento e monitoramento de pacientes com doença renal crônica (DRC) tem se tornado cada vez mais presente. Um exemplo é o aplicativo principal de monitoramento chamado *Renal Health*, criado em 2015 por um grupo de estudantes e professores e apoiado pela Sociedade Brasileira de Nefrologia (SBN).

Dado o exposto, o presente trabalho se destina ao desenvolvimento de um aplicativo que consiga monitorar e auxiliar o paciente com predisposição à DRC ou que já convive com a mesma por meio de recursos de gamificação no qual, para passar de fases, o usuário deve inserir dados sobre o estado de saúde no dia como, por exemplo, a pressão arterial. A interação será diária ou semanal, relacionada com o quadro clínico renal,

a depender da configuração do médico e da necessidade do paciente. A concepção desse software visa atender à demanda de integração dos pacientes com DRC ao tratamento, identificada por meio de revisão bibliográfica supracitada. Ressalta-se que o projeto proposto tem como público-alvo médicos nefrologistas, a fim de auxiliá-los no acompanhamento dos pacientes, e os próprios pacientes nefrológicos. Dessa forma, a proposta baseia-se em proporcionar à população maior alcance sobre a importância da saúde renal, dado que a mesma é um problema de saúde pública crescente no país.

II. METODOLOGIA

Foram pesquisados e avaliados cinco artigos através da revisão bibliográfica sobre novas tecnologias para tratamento renal e jogos sérios, com o intuito de compreender o atual cenário da ciência moderna nas intervenções renais.

Ao longo do trabalho, foram identificadas novas tecnologias de filtragem para uso hemodialítico, com equipamentos mais simples e que visam melhorar a qualidade de vida do paciente, mas, em sua maioria, têm o custo muito elevado. São poucos os *softwares* disponíveis para o tratamento renal, e a maior parte deles atuam no funcionamento da máquina de hemodiálise.

Após a revisão bibliográfica realizada, foi identificada uma necessidade para acompanhamento dos pacientes com doença renal crônica e, para tornar o desenvolvimento mais ágil e simplificado, foi utilizada a plataforma Thunkable, baseada em um construtor *drag-and-drop* (arrastar e soltar) com dois componentes principais, design e blocos. No design é possível criar a interface com o usuário, e nos blocos é feita a inteligência da aplicação, utilizando uma linguagem baseada em blocos, muito semelhante ao Scratch. A plataforma foi utilizada pensando na facilidade de exportação tanto para sistemas operacionais Android, quanto iOS.

O aplicativo consiste em sete telas que visam auxiliar o portador de DRC na continuidade do tratamento, as quais foram submetidas a aproximadamente cinco critérios de teste. Dentre as sete telas estão:

A. Tela Cadastro e Login

Na tela cadastro e login é possível inscrever o usuário e posteriormente identificá-lo para acessar suas informações. Nela foram realizados testes com nomes válidos e inválidos para evitar cadastros errados ou falsos.

B. Tela Diário do Rim

Na tela diário serão inseridas informações como triglicérides, colesterol e pressão arterial. Dados como esses são os mais solicitados por nefrologistas durante o acompanhamento renal e poderão ficar armazenadas para serem apresentadas para o médico posteriormente.

C. Tela Exercícios Físicos

A tela de exercícios físicos conta com sugestões de práticas que podem ajudar na melhor qualidade de vida do paciente sem prejudicar o tratamento.

D. Tela Medicação

Na tela de medicação são inseridos os remédios utilizados pelo paciente para que o aplicativo alerte o usuário da sua utilização na hora desejada.

E. Tela Alimentação

Na tela de alimentação há uma variedade de sugestões de alimentos saudáveis e benéficos para a dieta do paciente com DRC.

F. Tela Game

Na tela de *Game*, o *emoji* interage com o paciente de acordo com a informação de pressão arterial que o mesmo insere na página, caso seja diferente do padrão pré-estabelecido, a reação do *emoji* varia.

Cada uma das telas foi criada com base no tratamento dos pacientes com doença renal crônica e nas solicitações que os médicos fazem a cada consulta.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na literatura foram identificadas carências de tecnologias integrativas no tratamento hemodialítico, pré e pós transplante e preventivo, além da falta de conhecimento da população geral sobre a doença, e o pouco investimento em tecnologias mais baratas e acessíveis.

Segundo Filho, S. F. F. et al (2015), os jogos sérios, com desafios e objetivos, motivam o paciente a realizar os movimentos sem que o mesmo perceba, posto que são, em sua maioria, desenvolvidos com interfaces simples e que não exigem longos períodos de aprendizado, facilitando o entendimento e permitindo a inclusão de usuários com pouca ou nenhuma habilidade tecnológica, além de auxiliar o acompanhamento do profissional da área.

A opção encontrada foi o *renal health*, um aplicativo que tem como objetivo fornecer um compilado de informações como forma de esclarecer a população sobre a doença renal crônica, auxiliar o paciente com DRC na adesão às modalidades de tratamento, bem como os profissionais de saúde que acompanham esses pacientes e contribuir para uma melhoria nos resultados clínicos, com o armazenamento de dados dos usuários e acompanhamento diário dos mesmos, sugestões e alertas para medicação.

A. Renal Health

A aplicação citada passou por uma seleção e foi aprovada para financiamento, no qual o investimento está sendo usado no aprimoramento e em testes [3]. Seu objetivo principal é ampliar o conhecimento sobre a doença e, aos pacientes que já convivem com a DRC, estejam eles em processo de hemodiálise ou transplantados, auxiliar no tratamento por meio de ferramentas de auto acompanhamento [5]. Para isso, o usuário cria uma conta na ferramenta virtual, seleciona sua atual condição de tratamento e, a partir disso, recebe alertas sobre consumo adequado de água, medicação, compromissos agendados e pode controlar sua qualidade de sono e peso, juntamente com a equipe médica que o acompanha [3]. A tarefa de engajar o paciente no tratamento é a mais complicada, já que para isso é necessário o comparecimento do mesmo em todas

as sessões de hemodiálise e a adaptação nutricional. Contudo os médicos nem sempre obtêm sucesso, ainda que exponham aos pacientes a importância do tratamento. O uso da ferramenta supracitada foi bem avaliada nesse quesito [3]. A atual versão da aplicação está disponível para *download* nas plataformas Google Play e App Store, e pode ser utilizado nos idiomas inglês, português e espanhol.

Com base na metodologia apresentada, foi desenvolvido um aplicativo na plataforma Thunkable que tem funções como diário do rim, no qual o paciente fornece os números dos exames realizados para posterior análise, recomendações de alimentos e exercícios físicos como forma de melhorar a efetividade do tratamento, e medicação em uso para evitar que o usuário o esqueça. O fluxo do uso de telas está apresentado na figura 1.

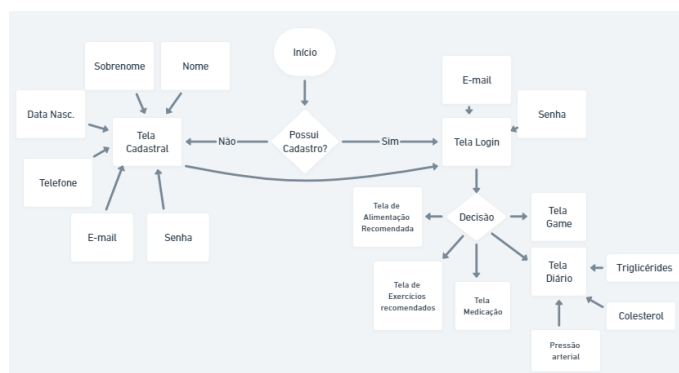


Fig. 1. Fluxograma demonstrativo do uso de telas do aplicativo.

Na figura 2 - A se encontra a tela de *login* do usuário, com a opção de cadastro caso o mesmo ainda não seja cadastrado no aplicativo. Caso o botão ‘aqui’ seja acionado, o usuário é direcionado para a tela apresentada na figura 2 - B e deve inserir nome, sobrenome, data de nascimento, um *e-mail* e senha válidos e seu número de telefone.

A figura 3 - A contém o diário do rim, no qual o paciente pode inserir os números dos seus exames e também a pressão arterial comum ao seu corpo e a figura 3 - B apresenta a tela de medicação, na qual o usuário pode salvar seus remédios de uso contínuo e ter acesso a cada um deles e suas especificações como quantidade a ser ingerida e a hora correta na própria tela.

A figura 4 - A mostra a tela de sugestões de exercícios físicos recomendados para pacientes com doença renal crônica. Assim como a figura 4 - B, na qual alimentos benéficos são sugeridos de acordo com a necessidade de cada usuário.

A figura 5 apresenta o recurso de gamificação do aplicativo, no qual o usuário insere sua pressão arterial a cada vinte e quatro horas e recebe o *feedback* em forma de *emojis*, que visam alertar ou parabenizar o paciente. Além disso, como forma de instruir de forma lúdica e melhorar a experiência do usuário no aplicativo, são exibidos três alimentos na tela para que o *pet* seja alimentado. Quando o café ou a carambola são escolhidos, o *emoji* fica triste, já que não são alimentos recomendados para portadores de DRC. O contrário acontece quando a água é pressionada.

Os resultados obtidos foram satisfatórios no que se trata da orientação do usuário quanto à sua pressão arterial e consumo de alimentos, além de informações simples sobre exercícios

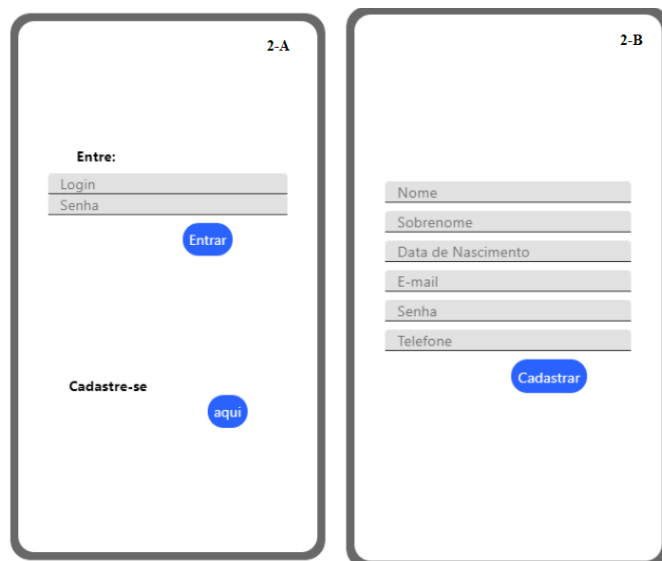


Fig. 2. A- Tela de login do aplicativo que solicita e-mail e senha do usuário para que o mesmo tenha acesso às suas informações. B- Tela de cadastro do aplicativo que solicita informações como nome, sobrenome, data de nascimento, e-mail válido e senha com no mínimo oito dígitos - sendo um caracter especial, uma letra maiúscula e pelo menos um número, e telefone do usuário para a criação de uma conta.

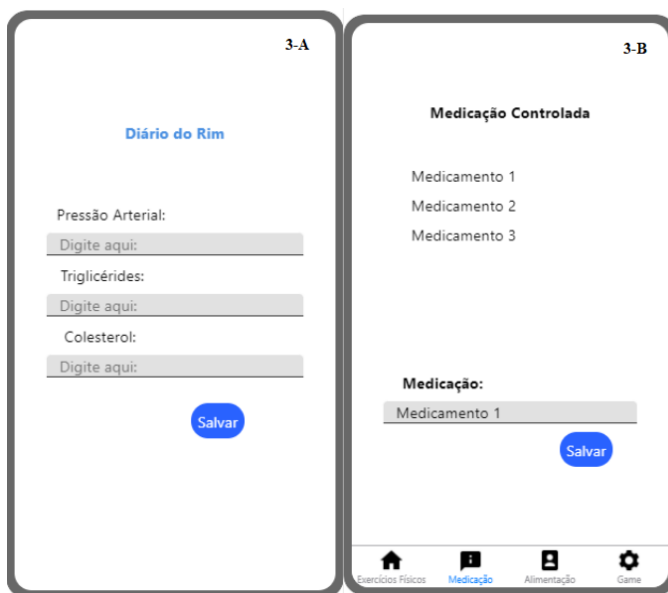


Fig. 3. A- Tela do aplicativo que apresenta o diário do rim, no qual são inseridas informações como pressão arterial, triglicérides e colesterol. B- Tela para inserção de medicamentos de uso contínuo do usuário.

físicos e o auxílio no uso da medicação. O tratamento das informações inseridas também foram satisfatórias. No entanto, a aplicação não foi satisfatória quando solicitado o envio de alertas e exibição da hora conforme o horário ajustado no smartphone.

Conforme apresentado anteriormente, o jogo sério citado no presente artigo conta com interface simples, além de desafios básicos, como escolher corretamente o alimento para o *emoji*, que também se encaixa na dieta nefrológica do paciente, e objetivos descomplicados, como deixar o *emoji* feliz por meio da inserção dos números da pressão arterial. Situações como essa, apesar de despretensiosas, estimulam o usuário a manter

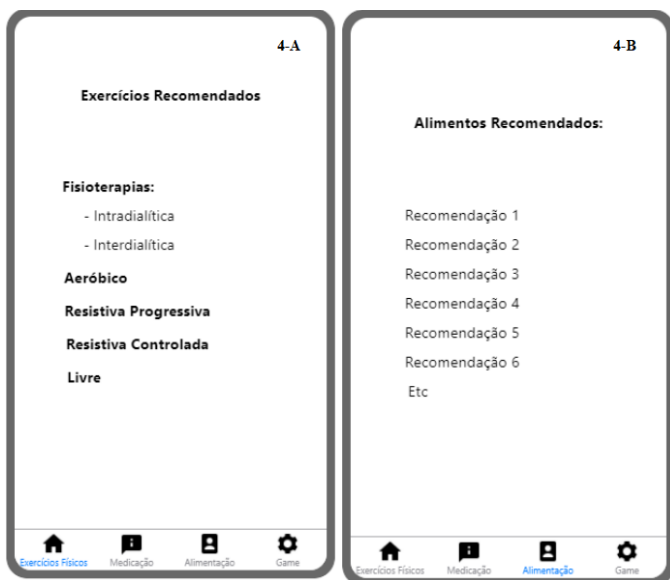


Fig. 4. A- Tela com sugestões de exercícios físicos recomendados para pacientes com DRC. B- Tela com sugestões de alimentos recomendados e não recomendados para pacientes com DRC.



Fig. 5. Tela com gamificação para orientar o usuário de acordo com as informações inseridas por ele.

o foco no controle dos números dos exames e na dieta, que são as principais dificuldades enfrentadas pelos profissionais de saúde que acompanham os pacientes com DRC.

IV. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos e apresentados, foi desenvolvido um aplicativo com recursos de gamificação que auxilia usuários portadores de doença renal crônica, bem como os profissionais de saúde que acompanham esses pacientes, através de recomendações simples, solicitação de informações de exames e acompanhamento diário de índices importantes para a saúde renal. Durante o desenvolvimento, os principais desafios enfrentados foram a falta de conhecimento na ferramenta e nas principais métricas utilizadas pelos médicos no acompanhamento da doença renal crônica, que puderam ser facilmente solucionados depois de algumas conversas informais

com médicos especialistas e um breve estudo da ferramenta pela plataforma YouTube.

Como sugestão futura, aconselha-se melhor desenvolvimento do sistema de notificações e a inserção de um calendário que possa auxiliar o usuário a se lembrar de exames e consultas médicas, além de uma conexão mais rápida à dúvidas frequentes dos pacientes, respondidas por especialistas e disponíveis para checagem imediata. Para melhoria, o aplicativo deve ser submetido à avaliação do comitê de ética em saúde e, posteriormente, repassado para médicos, para que façam uma análise sobre a usabilidade da aplicação.

REFERÊNCIAS

- [1] Hospital Albert Einstein. *Doença Renal Crônica*. URL: <https://www.einstein.br/doencas-sintomas/doenca-renal-cronica#:~:text=Segundo%20dados%20da%20Sociedade%20Brasileira,de%20> (acesso em 14/10/2021).
- [2] M Dos Anjos. "Processo de envelhecimento renal no idoso: uma revisão bibliográfica." Em: *UniSalesiano* (2017).
- [3] J. G. R. Oliveira. "Renal Health: uma nova ferramenta para o cuidado da doença renal crônica." Em: *Biblioteca Digital de Teses e Dissertações*. (2016).
- [4] S. F. F. Filho e P. M. Jucá. "Uso de jogos sérios para auxiliar na reabilitação motora de pacientes com espondilite anquilosante." Em: *SBC - Proceedings of SBGames 2015* (2015), p. 919. ISSN: 2179-2259.
- [5] J. G. R. Oliveira e G. B. S. Júnior. "Estratégias de educação em saúde para prevenção e tratamento da doença renal crônica na era digital." Em: *Tendências e tecnologias na promoção da saúde nos espaços educacionais*. (2019), p. 57.

AUTORES



Júlia da Silva Villela é Técnica em Administração (2018) pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas - Campus Pouso Alegre. Graduanda do 7º período de Engenharia de Computação pelo Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL.



Filipe Bueno Vilela Engenheiro Biomédico graduado pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel), com mestrado em Engenharia de Materiais, com foco na área de Biomateriais, pela Universidade Federal de Itajubá (Unifei). Professor do Inatel e da Escola Técnica de Eletrônica

"FMC". Coordenador de projetos do centro de pesquisas em Engenharia Biomédica eHealth Innovation Center. Voluntário no Hospital Antônio Moreira da Costa.

Sistema de controle de higienização de mãos na entrada de leitos hospitalares

Ana Clara Santos, Filipe Bueno Vilela, Luma Risatti Borges do Prado,
Fabiano Valias de Carvalho, Elisa Rennó Carneiro Dester

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

ana.c@geb.inatel.br, filipe.bueno@inatel.br, luma.prado@inatel.br, fabiano@inatel.br, elisa.renno@inatel.br

Abstract—It is known that not hand hygiene is highly involved with the transmission of infectious agents in the hospital environment, mainly due to direct contact with patients and medical instruments and, consequently, with bacteria, fungi and other microorganisms present in the hospital environment. Healthcare-associated infections (HAI) are considered a relevant public health problem, generating consequences such as increased hospitalization time, morbidity and mortality and increased care costs. Confronted with this situation, it is proposed to create a prototype of a hand hygiene control system at the entrance of hospital beds.

Index Terms—HAI, hand hygiene, healthcare-associated infections, hospital beds

Resumo—Sabe-se que a não higienização das mãos está altamente envolvida com a transmissão de agentes infecciosos no ambiente hospitalar, devido, principalmente, ao contato direto com pacientes e instrumentos médicos e, por consequência, com bactérias, fungos e outros microrganismos presentes em ambiente hospitalar. As Infecções Relacionadas à Assistência à Saúde (IRAS) são consideradas um problema relevante de saúde pública, gerando consequências como elevação do tempo de internação, morbimortalidade e aumento dos custos da assistência. Diante desse cenário, propõe-se a criação do protótipo de um sistema de controle de higienização de mãos na entrada de leitos hospitalares.

Palavras chave—Higienização das mãos, Infecções Relacionadas à Assistência à Saúde, IRAS, leitos hospitalares

I. INTRODUÇÃO

As Infecções Relacionadas à Assistência à Saúde (IRAS) são consideradas um problema relevante de saúde pública. A não higienização das mãos é um fator com intrínseca relação com a propagação de agentes infecciosos no ambiente hospitalar [1].

As IRAS são uma das principais causas de morbimortalidade associadas a pessoas submetidas a procedimentos clínicos, e, além de facilitarem a seleção e transmissão de microrganismos multirresistentes, resultam em altos índices de complicações de saúde, internações prolongadas e aumento dos custos do atendimento [2].

Segundo o Ministério da Saúde, no Brasil, estima-se que a taxa de infecções hospitalares atinja 14% das internações. De acordo com Lilia et al. [3] presume-se que cerca de 30% dos pacientes admitidos em Unidades de Terapia Intensiva (UTI) apresentam, pelo menos, um episódio infeccioso, destacando-se as infecções do trato urinário, pneumonias associadas à ventilação mecânica e infecções de corrente sanguínea. Conforme a Organização Mundial da Saúde (OMS), cerca de 45 mil brasileiros morrem anualmente em decorrência de infecções hospitalares.

A importância da lavagem das mãos foi comprovada em 1847, quando o médico Ignaz Philipp Semmelweis estabeleceu a primeira evidência científica de que a lavagem das mãos

poderia prevenir a propagação da febre puerperal lavando as mãos com uma solução de água clorada e sabão ao cuidar dos pacientes [4]. Comprovou-se então que a higienização das mãos constitui uma medida primária para a prevenção das infecções hospitalares. E, apesar de esta não ser uma recomendação recente, nem sempre é adotada corretamente. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), 70% dos profissionais de saúde e 50% das equipes cirúrgicas pelo mundo não praticam rotineiramente a higienização das mãos [5].

Atualmente, todos os serviços de saúde do país devem atender à RDC/ANVISA nº 42/2010, que estabelece que as preparações alcoólicas para fricção antisséptica das mãos devem estar disponíveis nos pontos de atendimento e tratamento, em local visível e de fácil acesso. O objetivo é que os profissionais de saúde higienizem as mãos sem precisar sair dos ambientes de atendimento e tratamento[6].

Tendo em vista a complexidade e a gravidade das IRAS, demonstradas pelos altos índices de mortalidade e complicações, é evidente a necessidade de adotar estratégias de prevenção que visem a melhoria da qualidade assistencial. Este trabalho teve como objetivo a criação do protótipo de um sistema de controle de higienização de mãos na entrada de leitos hospitalares. O protótipo deve registrar ocorrências de não higienização de mãos de indivíduos que entrarem na região do leito.

II. METODOLOGIA

A construção do projeto foi dividido em duas fases principais: uma fase inicial de montagem virtual e simulações utilizando a ferramenta *Tinkercad*, e uma segunda fase de montagem prática. E para facilitar a execução do projeto, dividiu-se o protótipo em algumas partes conforme suas funcionalidades. Assim, depois de todas as partes estarem funcionando, elas foram integradas para formar o protótipo. A seguir estão descritas cada uma dessas funcionalidades do protótipo:

A. Identificação de entrada e saída no ambiente

A primeira parte do protótipo consiste em um sistema capaz de identificar pessoas entrando ou saindo de um ambiente. Primeiramente, foi realizada a simulação no site *Tinkercad* utilizando um Arduino Uno e dois sensores de distância ultrassônicos HC-SR04. No site foi realizada tanto a montagem do *hardware* quanto a programação do *software*. Após o funcionamento da simulação, fez-se a montagem prática, porém, utilizando um Arduino Nano. Os sensores utilizados foram os mesmos sensores ultrassônicos da simulação. O *software* foi

feito na IDE do Arduino aproveitando trechos do código do *Tinkercad*.

B. Dispenser de álcool em gel

A segunda parte do protótipo consiste em um *dispenser* de álcool em gel capaz de identificar quando é pressionado. Para simular o acionamento do *dispenser* no *Tinkercad*, foi colocado um botão do tipo *push button*. Na montagem prática, foi acoplado um botão no interior do *dispenser*, de forma que ao pressionar o *dispenser* o botão também seja pressionado. E através de um fio esse botão foi conectado ao Arduino.

C. Sistema de alerta

A ideia é que o sistema avise caso uma pessoa entre no ambiente do leito sem antes ter realizado a higienização das mãos. Optou-se então por utilizar um alerta sonoro. Na simulação do *Tinkercad* utilizou-se o componente piezo, e, posteriormente, na montagem prática utilizou-se um *buzzer* ativo 5V e um LED vermelho, para que também haja um alerta visual.

D. Identificação de funcionários

A última parte do protótipo é um sistema capaz de identificar qual funcionário do hospital que está entrando no ambiente em questão. No *Tinkercad* não havia componentes necessários para realizar essa simulação, então essa parte foi efetuada diretamente na montagem prática. Para isso, foi utilizado um módulo Leitor RFID MFRC522, assim o sistema identifica quem está entrando no ambiente através da leitura de *tags* previamente cadastradas.

E. Integração das partes

Após testar o funcionamento individual de cada umas partes do sistema, integrou-se tudo para formar o protótipo. Foi necessário fazer uma adaptação no *software* do sistema de forma que todas as partes funcionassem em conjunto, sendo tudo controlado por único Arduino Nano. Após a integração, foram executados testes para validação laboratorial do protótipo. Os testes foram: (a) simulação de entrada e saída por 10 vezes com limpeza de mão e (b) repetição do teste anterior sem a limpeza a fim de verificar a consistência no acionamento do alarme; (c) passagem acelerada pelo sensor de distância (deslocamento inferior a 1 segundo); (d) simulação de identificação de funcionários através de cartão RFID.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A. Fluxograma do funcionamento

O fluxograma da figura 1 representa o funcionamento do protótipo. Conforme apresentado no fluxograma, após haver a verificação que uma pessoa entrou no ambiente, há alguns casos possíveis:

- Caso 1: pessoa entra no ambiente sem antes ter higienizado as mãos, ou seja, botão do *dispenser* não foi pressionado, então é emitido um alerta sonoro.
- Caso 2: pessoa se identificou usando *tag RFID*, porém não higienizou as mãos, então alerta sonoro também é disparado

- Caso 3: é a situação ideal. Pessoa se identificou usando o cartão de identificação e também higienizou as mãos antes de entrar no ambiente, então nesse caso não é disparado nenhum alerta.

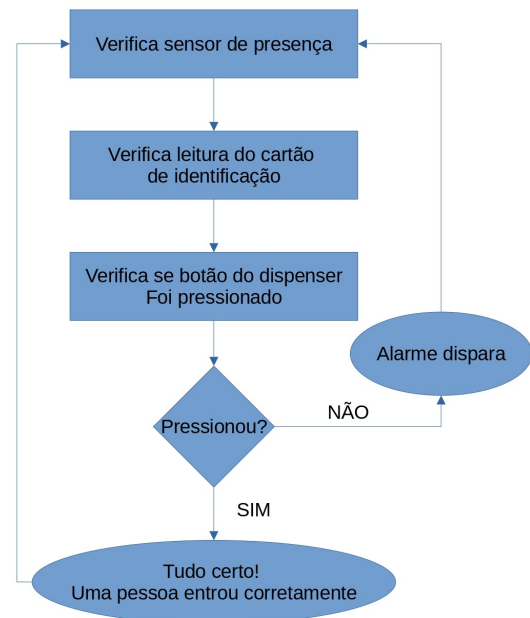


Fig. 1. Fluxograma do funcionamento do protótipo

B. Simulações no TinkerCad

A montagem virtual do protótipo no *Tinkercad* é mostrada na figura 2. Na figura é possível visualizar dois sensores ultrassônicos, utilizados para simular a identificação de entrada e saída de pessoas no ambiente. Também são mostrados dois LEDs vermelhos, os quais foram programados para acender quando os respectivos sensores forem acionados. Na figura também é mostrado um botão do tipo *push button* ao lado de um LED azul, o qual foi programado para acender quando o botão for pressionado. Por último é possível visualizar o piezo que servirá como alerta sonoro.

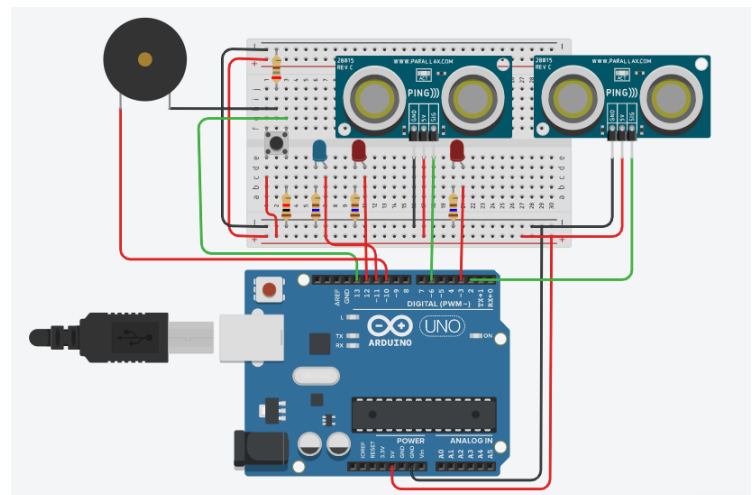


Fig. 2. Montagem virtual do protótipo no *Tinkercad*

Na montagem foram utilizados dois sensores ultrassônicos, pois em conjunto eles foram programados para identificar qual é o sentido do fluxo de pessoa, ou seja, se a pessoa está entrando ou saindo do ambiente. Quando o sensor 1 é identificado primeiro que o sensor 2, significa que a pessoa está entrando no leito. De maneira contrária, quando o sensor 2 é identificado primeiro que o sensor 1, significa que a pessoa está saindo do ambiente.

Essa identificação é simulada através de um objeto que pode ser movimentado dentro da área de alcance dos sensores. O alcance de um sensor ultrassônico no *Tinkercad* é aproximadamente entre 3 cm e 336 cm. Para realizar a simulação foi considerado no código que se o objeto de teste estiver em uma distância menor que 50 cm, significaria, na prática, que uma pessoa estaria passando em frente ao sensor. Essa distância foi adotada baseada na largura de uma porta e das dimensões estimadas de uma pessoa.

No código foi estabelecido uma variável de contagem de pessoas, então, toda vez que o objeto é identificado primeiro pelo sensor 1 e depois pelo sensor 2, a variável é incrementada, significando a entrada de uma pessoa. E toda vez que o sensor 2 é identificado primeiro que o sensor 1, a variável é decrementada, significando a saída de uma pessoa.

O botão é usado para simular o uso do *dispenser* de álcool em gel. O sistema realiza uma verificação se a variável de contagem de pessoas é igual à variável de contagem do uso do botão. Se o número de pessoas for maior, então, através da função *tone()*, o componente piezo emite um alerta sonoro com uma frequência de 432 Hz.

As simulações aconteceram de forma satisfatória. Em todas as repetições dos testes foi possível identificar corretamente o funcionamento da ideia de uma pessoa entrando e saindo do leito. Também foi possível simular o uso do *dispenser* através do botão, sendo que, nas situações em que ele não era apertado antes de simular a entrada, o alerta sonoro era acionado e tocava na frequência configurada.

Porém, pensando em uma situação real, o problema desse código é que ele não considera se alguém aperta o botão do *dispenser* mais de uma vez antes de entrar. Nesse caso, a variável de contagem fica com um saldo maior em relação ao número de pessoas que entraram, e consequentemente, se alguém em seguida entrar sem higienizar as mãos, o sistema não irá alertar.

C. Montagem prática

Na imagem 3 é mostrada a primeira versão do protótipo, composta por um leitor RFID, um *dispenser* de álcool em gel, um sensor ultrassônico e um Arduino Nano controlando todo o sistema. Nessa primeira versão só foi utilizado um único sensor ultrassônico, portanto só era possível realizar a verificação se alguém passava em frente ao sensor, mas não diferenciava se a pessoa estava entrando ou saindo do ambiente.

Na figura 4, à esquerda é mostrado o *dispenser* utilizado, e na imagem à direita é mostrado um pequeno botão verde fixado no interior do *dispenser*. Desta forma, toda vez que o *dispenser* for pressionado, o botão também será.

Na figura 5 é mostrado o módulo leitor *RFID* na *protoboard* conectado ao Arduino Nano, e ao lado um cartão *Mifare*. Para



Fig. 3. Primeira versão do protótipo



Fig. 4. Imagens do *dispenser* do protótipo

realizar o cadastro do cartão, foi feito um programa utilizando a biblioteca MFRC522, assim, foram salvos os dados de uma pessoa fictícia com o intuito de simular a identificação dos funcionários.



Fig. 5. Imagem do módulo *RFID* para identificação de funcionários

Em uma segunda versão do protótipo, foram utilizados dois sensores ultrassônicos colocados lado a lado em uma *protoboard* e ligados no Arduino. A ideia é que os sensores funcionem em conjunto para identificar a entrada ou saída de pessoas no ambiente, assim como foi testado na simulação do *Tinkercad*.

D. Código

O sistema inicia automaticamente em um estado denominado “modo espera”. Ao passar pelo sensor 1, o sistema muda o estado para o “modo entrando” e ao passar pelo sensor 2 significa que a pessoa entrou de fato no ambiente, então, o estado é alterado para “modo entrou”. Após a pessoa já ter

entrado no leito, o sistema volta para o estado inicial de “modo espera” e o ciclo se inicia novamente.

Caso a pessoa esteja saindo do ambiente, ou seja, passou primeiro pelo sensor 2 e depois pelo sensor 1, o sistema funciona de maneira semelhante. Assim, o “modo espera” é primeiramente alterado para “modo saindo” e posteriormente alterado para “modo saiu”. E por fim é alterado para “modo espera” enquanto aguarda uma nova identificação.

No código foi colocada uma variável de contagem que é incrementada toda vez que uma pessoa aperta o *dispenser* de álcool em gel. Depois que essa pessoa entra no ambiente, é feito uma verificação se essa variável de contagem é maior que zero. Se for maior, então significa que a pessoa higienizou as mãos antes de entrar. Caso contrário, o alarme é acionado. Em seguida essa variável é zerada para que as mesmas condições sejam testadas quando uma próxima pessoa entrar. Além disso, depois que a pessoa entra no ambiente, também é feito a verificação se ela se identificou com o seu crachá de funcionário antes de entrar.

Percebe-se que esse código resolve o problema anteriormente apresentado na simulação do *Tinkercad*. No código da simulação não era considerada a possibilidade da pessoa apertar o *dispenser* mais de uma vez ao entrar.

E. Testes com sensores ultrassônicos

Após ser adicionado o segundo sensor ultrassônico ao sistema, foi necessário realizar alguns testes. Inicialmente os sensores foram posicionados em um suporte de alumínio com uma distância inicial de 15 cm um do outro, e o suporte foi fixado em um batente de porta de 80 cm de largura. Na figura 6 é mostrado como o suporte foi fixado. Os fios mostrados na imagem ligam os sensores ao Arduino.

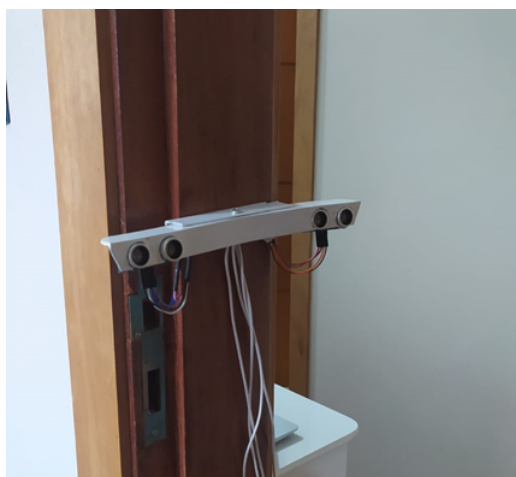


Fig. 6. Suporte com sensores ultrassônicos

Nos testes, percebeu-se que ao passar respectivamente pelo sensor 1 e 2, o sistema mudava corretamente para o “modo entrando” e em seguida para “modo entrou”. Porém, posteriormente, mesmo sem ninguém passar novamente pelos sensores, o sistema alterava sozinho para “modo entrando”.

Visando encontrar o possível problema da identificação, foram realizadas novas situações de teste, como: (a) alteração do grau de um sensor para o outro; (b) alteração da distância entre os sensores; (c) mudança do ambiente de teste; (d) alteração

da luminosidade do ambiente; (e) troca do posicionamento dos sensores (ou seja, o sensor que antes era considerado o sensor 1 passou a ser considerado o sensor 2).

Mesmo realizando as mudanças, ainda sim, a identificação não funcionou corretamente, em alguns momentos aleatórios o sistema registrava a ocorrência de uma pessoa entrando. Estes momentos foram considerados aleatórios, pois, não ocorriam em um tempo fixo entre uma falha e outra.

Os testes com os sensores ultrassônicos ainda não foram conclusivos, não foi possível compreender se os erros são devido a um problema de lógica no código ou se é alguma limitação dos próprios sensores.

IV. CONCLUSÃO

Sabendo que a falta de higienização das mãos está diretamente relacionada com a transmissão de agentes infecciosos no ambiente hospitalar, vê-se a necessidade de criar mecanismos para incentivar a higienização das mãos dentro do hospital. O sistema de controle de higienização de mãos na entrada de leitos hospitalares pode apresentar um grande benefício para as unidades de saúde, podendo diminuir os problemas causados pelas IRAS, como, elevação do tempo de internação, morbimortalidade e custos da assistência.

Todas as partes que foram inicialmente pensadas para o protótipo foram executadas, porém, melhorias ainda precisam ser feitas. Como próxima etapa, espera-se solucionar a parte do protótipo que faz a verificação da entrada e saída de pessoas do ambiente, realizando ajustes necessários no *software* do sistema ou até mesmo realizando a troca dos sensores ultrassônicos HC-SR04 por outros mais precisos. Ao final, espera-se também desenvolver uma *case* em impressão 3D de modo a proteger o *hardware* do sistema, evitando danos físicos ao conjunto eletrônico. Após a finalização do protótipo, o sistema deverá ser testado em ambiente hospitalar, com participação da equipe local, de modo a verificar a eficácia do protótipo.

REFERÊNCIAS

- [1] S. Oscar e G. Luiz Antônio. “Importancia de la higiene de manos para prevenir la sepsis en la atención de la salud”. Em: (2018). URL: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-89092018000500295#:~:text=Resumen%20A,organismo%20%20mejor%20conocida%20como%20sepsis..
- [2] S. Ester, B. Renata, C. Claudia, Y. Tiemi, A. Galdino, P. Marcia, P. Flavia, D. Elma e K. Gilselena. “Mortalidade e riscos associados a Infecção Relacionada à Assistência em Saúde”. Em: (). URL: <https://www.scielo.br/j/tce/a/xhXRXMJScgYxBt6dF7SfGKc/?format=pdf&lang=pt>.
- [3] N. Lilia, F. Renata, P. Vanessa, G. Rita, H. Silva, B. Ricardo, O. Elaine, A. Rafaela e P. Kátia. “Carga de trabalho de enfermagem: preditor de infecção relacionada à assistência à saúde na terapia intensiva?”. Em: (). URL: <https://www.scielo.br/j/reusp/a/W4HxrBRs9nTMGCNcRg7JCGf/?format=pdf&lang=pt>.

- [4] N. Zilla, T. Ana Clara, S. Audenícia, P. Milca, M. Dulcelene e F. Lucimar. “Higienização das mãos: o impacto de estratégias de incentivo à adesão entre profissionais de saúde de uma unidade de terapia intensiva neonatal”. Em: (). URL: <https://www.scielo.br/j/rlae/a/mzZCC5jPbCTMp9DpNspxpG/?format=pdf&lang=pt>.
- [5] Agência Brasil. *Higienizar as mãos é medida eficiente para diminuir risco da covid-19*. URL: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2020-05/higienizar-maos-e-medida-eficiente-para-diminuir-risco-da-covid-19> (acesso em 18/01/2022).
- [6] Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). “Medidas de Prevenção de Infecção Relacionada à Assistência à Saúde”. Em: (2017). URL: <http://www.riocomsaude.rj.gov.br/Publico/MostrarArquivo.aspx?C=pCiWUy84%2BR0%3D>.

AUTORES



Ana Clara Santos Graduada em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), técnica em informática pelo Instituto Federal do Sul de Minas (IFSULDEMINAS), pesquisadora de Iniciação Científica no e-Health Innovation Center no Inatel.



Filipe Bueno Vilela Engenheiro Biomédico graduado pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel), com mestrado em Engenharia de Materiais, com foco na área de Biomateriais, pela Universidade Federal de Itajubá (Unifei). Professor do Inatel e da Escola Técnica de Eletrônica “FMC”. Coordenador de projetos do centro

de pesquisas em Engenharia Biomédica eHealth Innovation Center. Voluntário no Hospital Antônio Moreira da Costa.



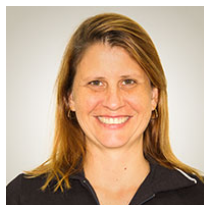
Luma Rissatti Borges do Prado Formada em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações e mestranda em Engenharia Biomédica na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Atualmente é especialista em sistemas no Inatel, atuando no desenvolvimento de projetos para saúde

no Inatel Competence Center e na orientação de projetos no eHealth Innovation Center. Foi monitória das disciplinas de Equipamentos Médicos, Química e Processamento Digital de Sinais no Inatel. Já atuou na área de Engenharia Clínica nos hospitais Samuel Libânio e Antônio Moreira da Costa.



Fabiano Valias de Carvalho Possui graduação em Engenharia Elétrica Ênfase em Telecomunicações e Eletrônica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel (1995) e mestrado em Engenharia Elétrica pela

Universidade Federal de Itajubá - Unifei (2002). Atualmente é coordenador do curso de Graduação em Engenharia Biomédica do Inatel, desde 2010, tendo participado da criação e da implantação desse curso. Coordena o eHealth Innovation Center e a Pós-Graduação lato Sensu em Engenharia Clínica e Engenharia Biomédica. Atua nas áreas de eletrônica digital e analógica, sistemas microcontrolados, redes de dados, processamento digital de sinais biomédicos e tecnologia assistiva.



Elisa Rennó Carneiro Dester Fisioterapeuta formada pela Universidade Gama Filho (RJ) em 1999; Mestre em Ciências da Motricidade Humana pela Universidade Castelo Branco (RJ) em 2003; Professora do curso de pós-graduação em Engenharia Clínica e Biomédica do Inatel; Professora do curso de Engenharia Biomédica do Inatel; Fisioterapeuta res-

pensável pelo serviço de saúde da mulher do Hospital das Clínicas Samuel Libânio.

Monitoramento e Armazenamento de Sinais Vitais em Aplicações de Telemedicina

Davi Hugo Marques Pontes, Paulo Cesar Salgado Vidal
Instituto Militar de Engenharia - IME, Seção de Ensino em Engenharia de Computação
davi.pontes@ime.eb.br, vidal@ime.eb.br

Abstract—Given the current context of high preoccupation with health from part of the population and with the growing demand of data to computing analyses, this article has as purpose present an IoT solution that aims the acquisition and sharing of health data from individuals. Through this work it is presented a proposal for application and architecture that can be used to help part of the population to take better care of health, in addition to facilitating future studies based on the acquired data.

Index Terms—Telemedicine, Internet of Things, Cloud Computing, Wireless Sensor Network.

Resumo—Dado o atual contexto de grande preocupação com saúde por parte da população e da crescente demanda de dados para análises computacionais, esse trabalho tem como propósito apresentar uma solução de IoT (*Internet of Things*) buscando a aquisição e compartilhamento de dados de saúde de indivíduos. Por meio deste trabalho é apresentada uma proposta de aplicação e arquitetura que podem ser utilizadas para ajudar parte da população a cuidar melhor da saúde, além de facilitar futuros estudos baseados nos dados adquiridos.

Palavras chave—Telemedicina, Internet das Coisas, Computação em Nuvem, Redes de Sensores Sem Fio.

I. INTRODUÇÃO

Em alguns grupos de pessoas, como cardíacos por exemplo, o acompanhamento médico regular é imprescindível mas muitas vezes não é possível por conta da dificuldade de alguns pacientes buscarem ajuda médica. Além desse grupo de pessoas, os hospitais estão buscando formas de melhor acompanhar e monitorar seus pacientes.

Visando a solução desses problemas, alguns pesquisadores, além de empresas e hospitais, estão buscando melhorar o processo de aquisição e acompanhamento de dados dos pacientes de forma que certas doenças possam ser tratadas e prevenidas com maior eficácia [1].

Para atender tais especificações e garantir um quadro de saúde estável do paciente, é necessário um acompanhamento em tempo real das taxas a serem supervisionadas, com fácil visualização e acesso tanto para o paciente quanto para a equipe médica, daí a importância de utilizar sistemas de monitoramento em um ambiente hospitalar ou nas residências dos pacientes.

Somado a isso, em 2020, o mundo foi impactado pela pandemia do novo coronavírus, um vírus altamente contagioso que levou vários governos a decidirem pelo isolamento social da população. Esse fato foi outro propulsor para a busca de soluções tecnológicas que possam ajudar no tratamento e monitoramento dos pacientes.

O acompanhamento de sinais vitais é um tema bastante atual e se encontra presente cada vez mais no dia a dia das pessoas, com o surgimento e barateamento de *wearables* o

monitoramento de sinais vitais já é uma realidade [2]. Os dados captados por esses equipamentos são os mais variados e vão desde frequência cardíaca à frequência respiratória, passando por ECG e oximetria. Um aspecto pouco trabalhado na abordagem dos *wearables* atualmente é a utilização desses dados para *insights* médicos por meio do compartilhamento desses dados históricos dos usuários.

Todas essas áreas acabam gerando uma grande quantidade de informações relevantes para grupos de pesquisa, principalmente na área de saúde [3, 2], com isso vem a necessidade de desenvolver um método para unificar e disponibilizar tais dados para estudo. Por conta da já citada falta de compartilhamento dos dados, essas informações acabam sendo retidas pelos sistemas dos usuários, o que acaba por subutilizar dados que poderiam ser empregados em pesquisas para prevenção de doenças e afins.

Com o objetivo de mostrar a possibilidade de aquisição de dados de saúde e disponibilização de tais dados para estudos posteriores [4, 5], este artigo apresenta o desenvolvimento de um dispositivo de baixo custo com a utilização do microcontrolador ESP32 e de sensores para o monitoramento de sinais vitais do paciente e transmissão de tais sinais para um banco de dados em um servidor com acesso remoto via web.

II. METODOLOGIA DO PROJETO

O projeto descrito nesse artigo faz parte do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (PIBITI) do CNPq no período de 2020/2021.

O desenvolvimento do projeto é constituído das seguintes fases: 1) Levantamento bibliográfico; 2) Modelagem conceitual da solução proposta; 3) Seleção do hardware e software para a especificação e construção do projeto; 4) Construção e programação do módulo de sensoriamento; 5) Estruturação do sistema na plataforma de computação em nuvem; 6) Modelagem do banco de dados. 7) Desenvolvimento da interface de programação da aplicação; e 8) Desenvolvimento da interface do usuário.

III. MODELAGEM CONCEITUAL

Para uma melhor representação do projeto e com a motivação de seguir as boas práticas de desenvolvimento de software, foi desenvolvido um diagrama de casos de uso para representar a solução idealizada pelo projeto. A Figura 1 representa o diagrama utilizando o padrão UML (*Unified Modeling Language*).

Nessa modelagem é importante destacar os atores envolvidos com o sistema: Usuário, Médico, Administrador e Sensor.

Como pode ser observado no diagrama, Médico e Administrador são derivados de Usuário e gozam de alguns casos de uso a mais que tal entidade. O Sensor é um dos elementos mais importantes do sistema, apesar de interagir com o sistema apenas por meio de um caso de uso, visto que ele é o responsável por inserir os dados de saúde do usuário. Vale notar também, que o Sensor é o agente mais abundante no sistema em questão, por tanto o desenvolvimento da estrutura computacional que servirá como base do caso de uso utilizado pelo Sensor deve levar em consideração tal peculiaridade.

O diagrama foi elaborado para uma solução robusta de telemonitoramento envolvendo diversos atores e casos de uso visando a completude do sistema. Podem se observar casos de uso que versam sobre a interação do sensor com o sistema, até interações entre médicos e pacientes. A implementação do projeto foi focada no desenvolvimento das funcionalidades básicas do usuário e de funcionalidades basilares (modelagem do banco de dados e desenvolvimento da API - *Application Programming Interface*) para o funcionamento de outros casos de uso .

IV. MÓDULO ELETRÔNICO

O módulo de sensores é a parte física do projeto responsável por capturar os dados obtidos através dos sensores conectados a ele. O projeto do módulo inclui o desenvolvimento do *hardware* e de sua integração com os sensores, além do desenvolvimento do *software* responsável por ler os dados e formatá-los de forma a fazer o envio dos mesmos para a API.

Para atender os requisitos de transmissão de dados e minimizar a solução foi utilizado o microcontrolador ESP32 por este possuir grande capacidade de comunicação sem fio embutidas. Para o propósito do protótipo, o sensor utilizado foi o MAX30100, o qual coleta dados de oxigenação sanguínea e batimentos cardíacos.

A. Sensor

Na Figura 2 pode-se observar o sensor utilizado no protótipo desenvolvido. O sensor MAX30100 é um dispositivo de baixo custo para detecção de batimentos cardíacos e oximetria. O sensor funciona baseado nos dois LEDs embutidos em conjunto com o fotodetector, durante os testes conduzidos no desenvolvimento do projeto ele se mostrou bastante responsivo e seu baixo custo está alinhado com a proposta do projeto.

B. Microcontrolador

A Figura 3 ilustra o microcontrolador utilizado no protótipo. Esse microcontrolador foi escolhido para o projeto pela capacidade de comunicação sem fios utilizando tanto o *Bluetooth Low Energy* (BLE) quanto o *Wifi*. Além da grande capacidade sem fio embutida, tal controlador ainda possui um processador dual core que pode ser utilizado para paralelizar o processamento das atividades de aquisição de dados e envio de pacotes para os servidores.

C. Protótipo

Na Figura 4 pode-se observar o protótipo de módulo local implementado. Neste protótipo foram adicionados além do sensor MAX30100 alguns componentes eletrônicos como o

monitor e botões para uma melhor visualização local dos sinais vitais.

Durante o projeto foi utilizada a plataforma de desenvolvimento IDE PlataformIO, ao invés da plataforma IDE Arduino. A PlataformIO possui funções mais avançadas e utiliza a linguagem C++ padrão. A ideia foi de se utilizar de padrões de projeto orientados a objetos para facilitar reuso e manutenção do projeto em trabalhos futuros.

V. COMPUTAÇÃO EM NUVEM

Para armazenar os dados adquiridos dos sensores é necessário a utilização de bancos de dados acessíveis através da Internet, além disso é necessário uma interface para que os dispositivos interajam com tal banco de dados.

Para prover tais serviços para o projeto foi utilizado uma plataforma de computação em nuvem através dos serviços do Microsoft Azure. Optou-se por utilizar a solução da Microsoft por conta do baixo custo de utilização da plataforma (para ensino) e pelo fato do serviço ser reconhecido no mercado pela sua alta qualidade e disponibilidade. A estrutura de nuvem utilizada é ilustrada na Figura 5.

A estrutura da Figura 5 apresenta os serviços utilizados e as interações que ocorrem entre os elementos e usuários do sistema. Para um melhor entendimento do esquema são necessárias as seguintes definições:

- **Web App:** Aplicativo web (*Frontend* e *Backend*) voltado para o interfaceamento do usuário com o sistema. É um sistema web onde o usuário poderá registrar seus dispositivos, registrar informações pessoais e visualizar seus dados.
- **REST API:** API no padrão REST para interfaceamento dos dispositivos de aquisição de dados com o sistema. É uma API web que faz a interface entre os ESP32 e o banco de dados.
- **SQL DB:** Banco de dados relacional utilizado para armazenar os dados de sensores e usuários.

A estrutura foi pensada para o escalonamento da solução, por conta disso o Web App e a API foram desacoplados, apesar de compartilharem os mesmos recursos do serviço de aplicativo da Azure. Com essa solução fica mais fácil ampliar os recursos para a API especificamente pois espera-se que o número de dispositivos conectados na API seja muito superior ao número de conexões com o Web App.

A utilização de um mesmo banco de dados para o sistema é justificada com a ideia de compartilhamento de dados dos sensores através da API e da aplicação web através do Web App. O banco de dados se encontra isolado dos recursos do serviço de aplicativos e possui um hardware específico para lidar apenas com as funções inerentes ao Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD). Com tal isolamento é possível, caso necessário, escalar os recursos do banco de dados de forma específica para a situação, o que pode gerar uma economia e melhora no desempenho do sistema.

VI. MODELAGEM DO BANCO DE DADOS

Durante o desenvolvimento do projeto foi necessário elaborar a modelagem do banco de dados para armazenar os

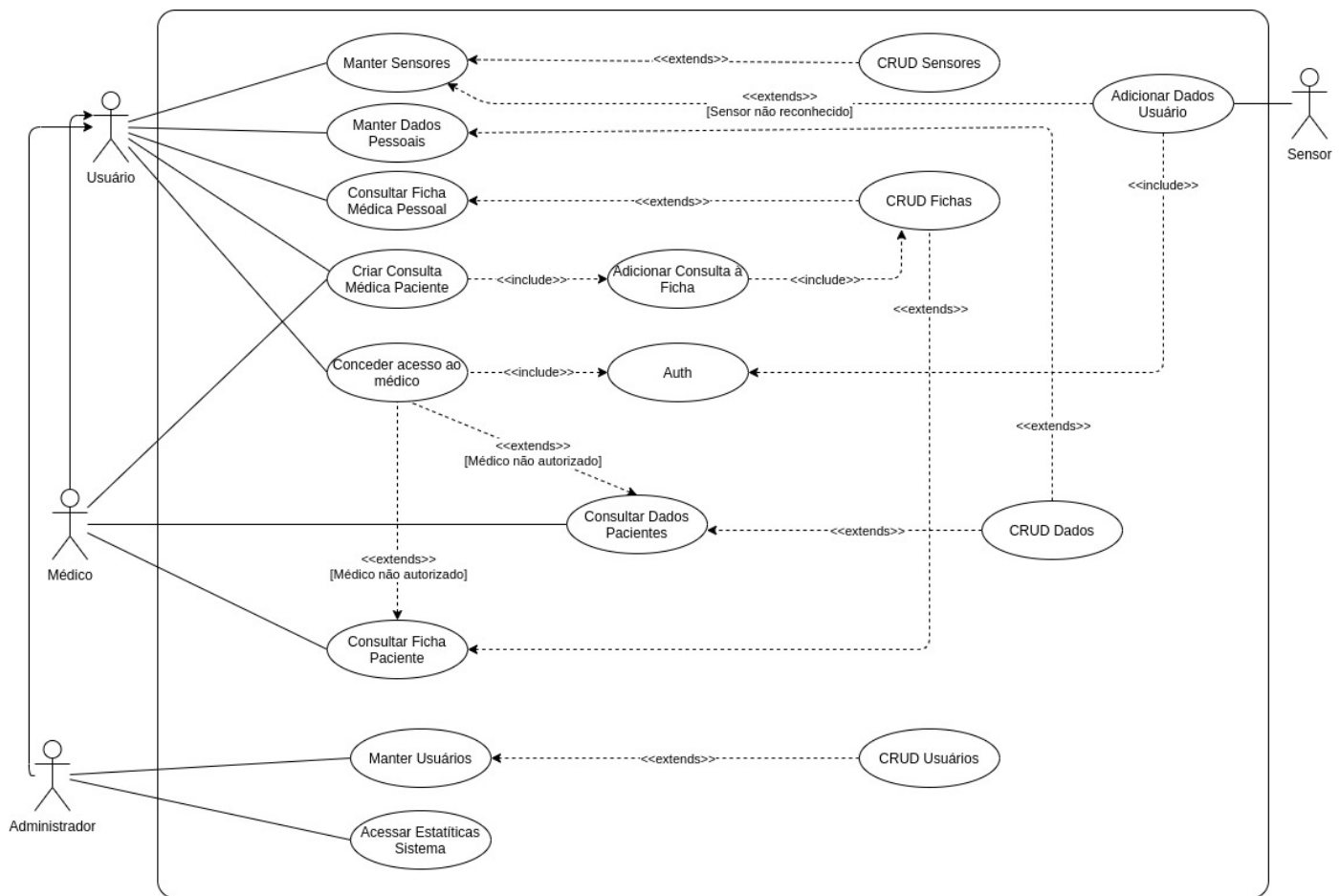


Fig. 1. Diagrama de casos de uso da solução.



Fig. 2. Sensor MAX30100

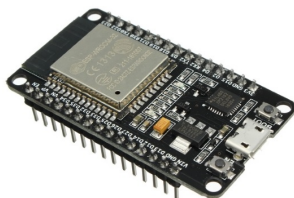


Fig. 3. Microcontrolador ESP32

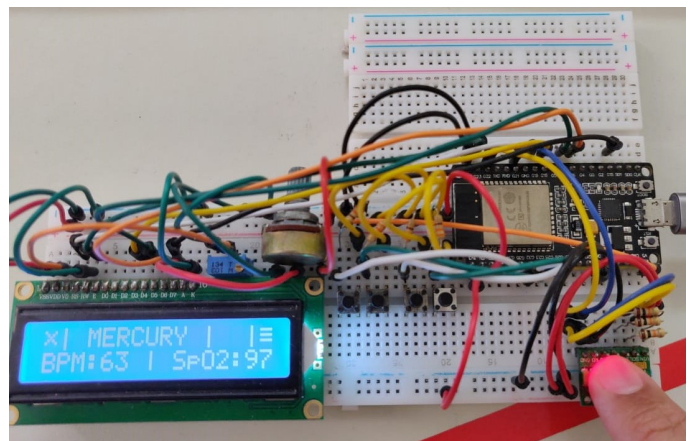


Fig. 4. Protótipo de módulo local

dados de usuários e dados dos sensores acoplados no módulo eletrônico.

O banco de dados montado seguiu o padrão relacional e

utilizou-se do Sistema Gerenciador de Banco de Dados *SQL Server* disponível na plataforma de nuvem *Azure*.

Durante a modelagem do banco alguns fatores como facilidade de adição de novos sensores, facilidade de busca dos dados e associação entre sensores, dispositivos e usuários foram considerados para chegar ao modelo representado abaixo na Figura 6.

O banco de dados supracitado é utilizado tanto por parte do módulo eletrônico para fazer a inserção dos dados, como pela API, a qual consome os dados previamente inseridos no

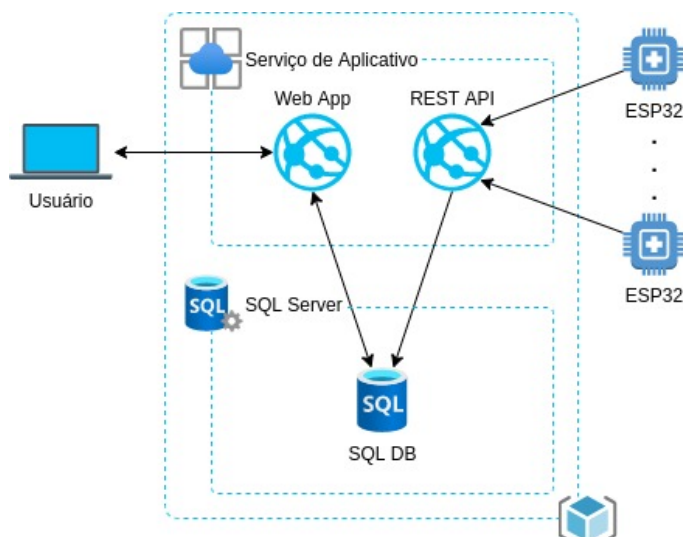


Fig. 5. Estrutura computação na nuvem

sistema.

VII. DESENVOLVIMENTO DA API

Na modelagem do projeto foi previsto o desenvolvimento de uma API que tem como objetivo servir como uma ponte de acesso dos dados contidos no banco de dados do projeto. Inserir uma API para fazer o acesso com o banco de dados permite um maior controle sobre as ações do usuário e o reflexo disso no banco, desde controles de acesso até verificação de formato de *inputs*.

A linguagem de programação escolhida para o desenvolvimento da API foi o Python, esta escolha se deu por conta do Python ser uma linguagem de melhor entendimento do que linguagens tradicionais como a linguagem C++, possui uma curva de aprendizagem menor que outras linguagens, além de possuir uma grande base de usuários ativos que ajudam a desenvolver a comunidade. Para complementar a linguagem e evitar um tempo de desenvolvimento maior optou-se por utilizar um framework de Python chamado Flask. Flask é um microframework escrito em python e voltado para o desenvolvimento de interfaces e aplicações web.

A arquitetura utilizada na API foi a REST (*Representational State Transfer*), a qual é largamente utilizada no desenvolvimento da web. A API possui o princípio de ser sem estado, ou seja, com o mesmo *input* o *output* sempre será o mesmo. Além disso, é importante ressaltar que a API é baseada no protocolo HTTP e por tanto toda comunicação com a API é efetuada através deste padrão de comunicação.

Já na parte de segurança da aplicação o modelo adotado para autenticar usuários e fazer o controle de acesso foi o JWT (*JSON Web Token*) o qual faz a autenticação do usuário através de um JSON encriptado que é enviado para o usuário como um *token*. O fluxo de autenticação é o seguinte: o usuário efetua o login e recebe um *token*, o qual é um JSON encriptado, nas requisições subsequentes para fazer acesso de dados não públicos o usuário precisa enviar o *token* para ser verificado se o acesso é permitido ou não, o *token* é enviado no cabeçalho da requisição HTTP.

VIII. DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE DO USUÁRIO

Para o usuário final fazer o acesso dos dados foi previsto uma interface gráfica de forma que as informações mais relevantes ficassem expostas de forma mais acessível.

O desenvolvimento da interface do usuário foi feita utilizando-se de um *framework* chamado Angular, o qual abstrai vários passos necessários para o desenvolvimento e torna o trabalho um pouco mais simples e fácil de ser executado.

Para a interface do usuário estavam previstas várias funcionalidades como login, cadastro, visualização de dados dos sensores, cadastro de sensores, dentre outros que podem ser deduzidos a partir do diagrama de casos de uso apresentado na Figura 1.

A Figura 7 apresenta a tela de cadastro do usuário que pode ser um médico ou paciente que será monitorado. Depois do cadastro o usuário está autorizado a usar a plataforma.

A Figura 8 exibe os dados de batimento cardíaco coletados durante um período.

IX. CONCLUSÃO

O artigo apresenta o projeto de um sistema de monitoramento de sinais vitais que permite ao usuário solicitar uma medição de seus sinais vitais através da interface disponível no dispositivo sensor, após isso e com o dedo posicionado no sensor os dados são medidos, tratados localmente no dispositivo e transmitidos através de um *endpoint* da API. Por fim o usuário pode acessar em sua conta no sistema Web e verificar que os dados que foram lidos e que estão armazenados na nuvem.

O projeto realizado é capaz de fazer medições de batimentos cardíacos e oxigenação sanguínea do usuário de forma não contínua, ou seja, o usuário deve selecionar que deseja executar uma medição explicitamente no dispositivo. O dispositivo final está ilustrado na Figura 4.

No que tange a computação na nuvem, o banco de dados foi estruturado e configurado para funcionar na plataforma Azure. O mesmo foi feito com a API que recebe as requisições do protocolo HTTP diretamente em um endereço apontando para os servidores da Azure. Porém, não foi possível configurar o Web App para funcionar no serviço da plataforma, foram encontrados alguns problemas não previstos no momento do *deploy* (processo de instalação da aplicação no servidor remoto) e por conta disso esta parte do trabalho atualmente funciona apenas localmente, isto é, a aplicação está hospedada na estação cliente (e não na plataforma Azure). Entretanto, o Web App faz o acesso online aos dados que estão disponíveis no banco de dados do *SQL Server*.

Este projeto tem três importantes contribuições. A primeira contribuição é a integração do dispositivo sensor utilizando o microcontrolador ESP32 com a plataforma Azure, possibilitando o usuário ter acesso remoto aos seus dados.

A segunda contribuição é utilização do sistema em aulas práticas nas aulas de graduação, pois agrega conhecimentos em diversas áreas da computação e eletrônica.

A terceira contribuição é a implementação de um sistema que servirá de base para futuros trabalhos de pesquisa como: aperfeiçoamento do dispositivo sensor, projetos de análise de

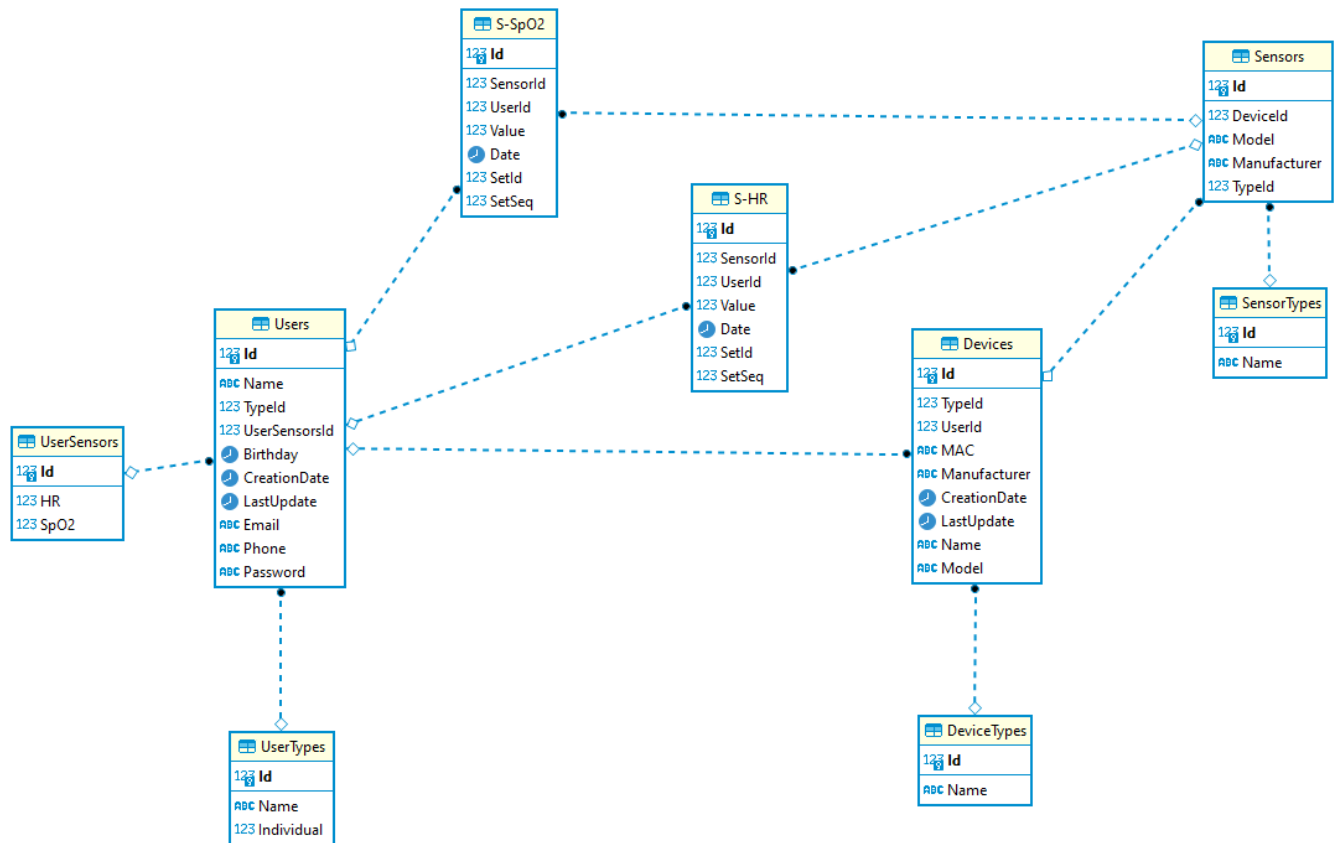


Fig. 6. Estrutura do banco de dados

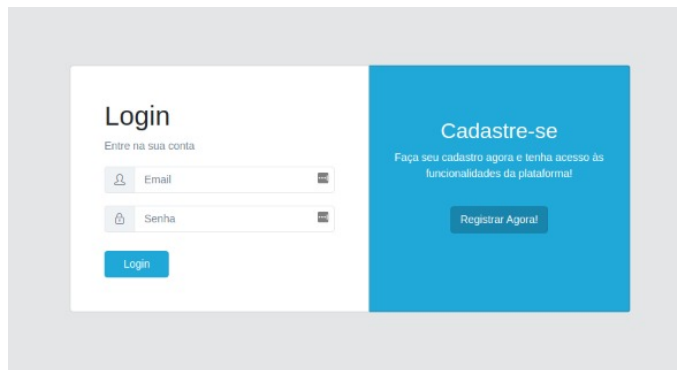


Fig. 7. Página de login da interface do usuário.

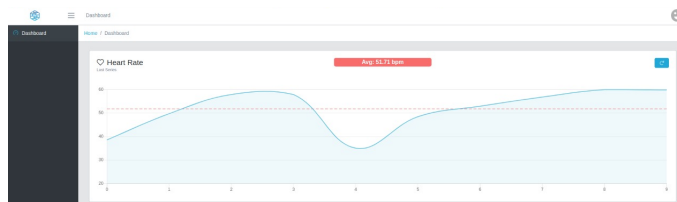


Fig. 8. Visualização de dados na interface do usuário.

dados, desenvolvimento de algoritmos de inteligência artificial para prevenção de doenças e desenvolvimento de mais casos de uso do sistema apresentado no artigo.

Toda a parte de software do projeto está disponibilizada no GitHub [6] para consulta posterior e possíveis correções.

REFERÊNCIAS

- [1] José Aldair Morsch. *IoT na medicina: 9 exemplos de como a internet das coisas avança na saúde*. URL: <https://telemedicinamorsch.com.br/blog/iot-na-medicina> (acesso em 27/11/2020).
- [2] Nathan Vieira. *Wearables podem ser aliados na luta contra a Covid-19*. URL: <https://canaltech.com.br/wearable/wearables-podem-aliados-na-luta-contra-a-covid-19-166005/> (acesso em 15/06/2020).
- [3] V. Hahanov e V. Miz. "Big data driven healthcare services and wearables". Em: *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics*. 2015, pp. 310–312. DOI: 10.1109/CADSM.2015.7230864.
- [4] Michael Goldacre, Lianne Kurina, D Yeates, Valerie Seagroatt e Lovepreet Gill. "Use of large medical databases to study associations between diseases". Em: *QJM : monthly journal of the Association of Physicians* 93 (nov. de 2000), pp. 669–75.
- [5] Thiago Martins, Thomaz Martins e Ana Costa. "Big Data use in medical research". Em: *Einstein (São Paulo)* 16 (set. de 2018), pp. 1–2. DOI: 10.1590/S1679-45082018ED4087.
- [6] *Repositório do projeto de pesquisa*. URL: <https://github.com/Lab-IoT-IME/> (acesso em 04/02/2022).

AUTORES

Davi Hugo Marques Pontes



Graduando em Engenharia da Computação pelo Instituto Militar de Engenharia (IME), bolsista de iniciação científica pelo IME. Tem experiência na área de desenvolvimento web em Frontend e Backend além de conhecimento na área de administração de Bancos de Dados.

Paulo Cesar Salgado Vidal



Pos-sui graduação (1990) em Engenharia da Computação e Mestrado (1995) em Sistemas e Computação, ambos pelo IME (Instituto Militar de Engenharia), e Doutorado (2003) em Engenharia Elétrica pela COPPE/UFRJ. Atualmente é professor na Seção de Ensino em Engenharia de Computação do IME. Na área de Computação tem atuação nas seguintes subáreas: Redes de Computadores, Internet das Coisas e Telemedicina.