



ISSN 2359-0386



8^a EDIÇÃO

ERI · GO

ESCOLA REGIONAL DE INFORMÁTICA

ANAIIS



8^a EDIÇÃO

ERI • **GO**

ESCOLA REGIONAL DE INFORMÁTICA

ANAIIS

2020

Goiânia - GO

Organização do Material

Vinicius da Cunha M. Borges (UFG/Goiânia)
Luciana de Oliveira Berretta (UFG/Goiânia)
Valdemar Vicente Graciano Neto (UFG/Goiânia)

Editoração

Vinicius da Cunha M. Borges (UFG/Goiânia)
Luciana de Oliveira Berretta (UFG/Goiânia)
Valdemar Vicente Graciano Neto (UFG/Goiânia)
Bruno Gabriel Araujo Lebttag (UFG/Goiânia)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) GPT/BC/UFG

E74 Escola Regional de Informática de Goiás (08. : 2020 : Goiânia, GO).
Anais da VIII Escola Regional de Informática de Goiás [recurso eletrônico] / organizadores, Luciana de Oliveira Berretta, Valdemar Vicente Graciano, e Vinicius Cunha Martins Borges. – Dados eletrônicos. – Goiânia : Instituto de Informática, UFG, 2020.
294 p. : il.

ISSN: 2359-0386

Disponível também em World Wide Web:

< <http://erigo.sbc.org.br/p/152-anais-eri-go>>

1. Informática - Congressos e convenções - Goiás (Estado). 2. Escolas de informática - Goiás (Estado) 3. Inteligência artificial. arirtual. I. Berretta, Luciana de Oliveira. II. Graciano, Valdemar Vicente. III. Título.

CDU: 004

COMITÊ

ORGANIZAÇÃO GERAL LOCAL

Luciana de Oliveira Berretta (UFG/Goiânia) – Coordenadora
Sérgio Teixeira de Carvalho (UFG/Goiânia) – Vice-coordenador

COORDENAÇÃO DO COMITÊ CIENTÍFICO

Luciana de Oliveira Berretta (UFG/Goiânia) – Coordenadora
Vinicius da Cunha Martins Borges (UFG/Goiânia) – Vice-Coordenador

COMITÊ DE AVALIAÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICO

Adriano Braga (IFGoiano/Ceres)
Alan Keller Gomes (IFG/Inhumas)
Alessandro Silva (IFG/Anápolis)
Alisson Cardoso (EMC/UFG)
Ana Claudia Loureiro Monção (UFG/Goiânia)
Antônio Oliveira Jr (UFG/Goiânia)
Bruno Silvestre (UFG/Goiânia)
Carlos Eduardo de Barros Paes (PUC/São Paulo)
Christiane Borges Santos (IFG/Luziânia)
Cleon Pereira Júnior (IFGoiano/Posse)
Cristiane Bastos Rocha Ferreira (UFG/Goiânia)
Daniel Stefany Duarte Caetano (UFU)
Deborah Fernandes (UFG/Goiânia)
Edison Morais (UFG/Goiânia)
Edmar Yokome (UEG/Santa Helena)
Eliomar Lima (UFG/Goiânia)
Fabian Cardoso (UniRV/Rio Verde)
Fernando Federson (UFG/Goiânia)
Flávia Fernandes (UFCAT/Catalão)
Flávio Vieira (EMC/UFG)
Flavio Horita (UFABC/São Paulo)
Flávio Geraldo Coelho Rocha (EMC/UFG)
Gilmar Arantes (UFG/Goiânia)
Hebert da Silva Coelho (UFG/Goiânia)
Heitor Costa (UFLA/Lavras)
Iwens Sene Jr (UFG/Goiânia)
José Maria David (UFJF/Juiz de Fora)
Juliano Lopes de Oliveira (UFG/Goiânia)
Junio Lima (IFGoiano/Urutaí)
Lenice Miranda Alves (UFG/Goiânia)
Leonardo Andrade Ribeiro (UFG/Goiânia)
Luanna Lopes Lobato (UFCAT/Catalão)
Luciana Berretta (UFG/Goiânia)
Marcelo Akira Inuzuka (UFG/Goiânia)
Marcos Alves Vieira (IFGoiano/Iporá)
Márcio Dias (UFCat/Catalão)
Marcus Vieira (UFG/Goiânia)
Marcos Wagner de Souza Ribeiro (UFJ/Jataí)
Marcus Vinícius Gonzaga Ferreira (UFG/Goiânia)
Nádia Silva (UFG/Goiânia)
Núbia Silva (UFG/Goiânia)
Ricardo Franco (UFG/Goiânia)
Rogério Silva (IFG/Inhumas)
Rodrigo Pinto Lemos (UFG/Goiânia)
Rogério Salvini (UFG/Goiânia)

Roney Lima (IFG/Jataí)
Rubens Pereira (UFG/Goiânia)
Scheila de Avila e Silva (UCS/Caxias do Sul)
Sérgio Teixeira de Carvalho (UFG/Goiânia)
Sofia Paiva (UFSJ/São João del-Rei)
Thiago Bittar (UFCAT/Catalão)
Valdemar Vicente Graciano Neto (UFG/Goiânia)
Vinicius da Cunha M. Borges (UFG/Goiânia)
Vinícius Sebba Patto (UFG/Goiânia)
Vinícius Garcia (UFPR/Curitiba)
Wendell Bento Geraldes (IFG/Luziânia)
William Ferreira (UFG/Goiânia)

REVISORES EXTERNOS

Bruno Soares (UFG/Goiânia)
Felipe Corniani de Genaro (UFABC/São Paulo)
Gustavo Gonzales (UFABC/São Paulo)
Renato Manzan (PUC/São Paulo)

E-mail de Contato: erigo@inf.ufg.br

DIRETOR DO INSTITUTO DE INFORMÁTICA – UFG
Sérgio Teixeira de Carvalho

Apresentação

A 8ª Edição da Escola Regional de Informática de Goiás (ERI-GO 2020) é um evento promovido pela UFG (Instituto de Informática). A ERI-GO 2020 foi realizada em consórcio com a 4ª Edição da Escola Regional de Sistemas de Informação de Goiás (ERSI-GO), contribuindo assim para uma maior integração entre a comunidade goiana de pesquisadores e discussão de temas relevantes nas áreas de Informática em geral, aproximando estudantes, pesquisadores, profissionais e empresários. Esta edição do ERI-GO tem como objetivos: (a) estimular ações de pesquisa, mercado de trabalho, ensino e extensão sobre informática em geral nas instituições de ensino superior e técnico, como também centros de pesquisa no Estado de Goiás, baseado em trilhas dos principais cursos de Informática em Goiás, no Brasil e no mundo de acordo com ACM (Association for Computing Machinery), por exemplo, Sistemas de Informação, Engenharia de Software, Ciência da Computação e Engenharia e afins; (b) tornar público os projetos de informática desenvolvidos regionalmente; e (c) promover a cooperação entre produtores e usuários de tecnologia da informação e comunicação visando ampliar o desenvolvimento tecnológico e a inovação em soluções de informática no Estado.

A ERI-GO 2020 ocorreu nos dias 11, 12 e 13 de novembro de 2020, em Goiânia (Goiás). 13 (treze) artigos completos, 1 (um) resumo expandido e 9 (nove) artigos curtos foram incluídos nos anais selecionados pelo comitê de avaliação técnica e científica para a ERI-GO 2020 para apresentação oral em sessões técnico-científicas virtuais (remotamente), os quais tratam de vários temas de pesquisa e desenvolvimento científico e tecnológico em Informática de forma geral. Além disso, os 3 (três) melhores artigos do evento foram selecionados e premiados, 1º Lugar com artigo intitulado "Aplicação de Algoritmos Bioinspirados à Otimização da Estimção da Direção de Chegada", 2º Lugar com artigo intitulado "Algoritmo de Alocação de Blocos de Recurso em Redes CP-OFDM com Características 5G Baseado em Estimção de Retardo" e 3º Lugar com artigo intitulado "Localização em Ambientes Internos Baseada em Aprendizado Supervisionado Utilizando Estações de Rádio FM", a classificação levou em conta a avaliação da apresentação e a avaliação dos revisores. Os anais também estão disponibilizados eletronicamente nos sites: <http://www.inf.ufg.br/erigo/4/o/anais-viii-erigo-2020.pdf> e <http://erigo.sbc.org.br/p/152-anais-eri-go>.

SUMÁRIO

Artigos Completos

9

- 9 Desenvolvimento de um Sistema de Computação para Análise de Estruturas Planas
Luanna Lopes Lobato
Thiago Bittar
Ivo Mendes
Wanderlei Júnior
- 23 Cinemática Inversa Aplicada a Manipulador Robótico a Partir de Coordenadas Capturadas pelo Microsoft Kinect
Flavio Zacca
Luma Oliveira
Gabriel Carvalho
Rogério Pereira
Wanderson Rainer
- 39 REM-CNC Router – CNC multifuncional Fresa e Laser de baixo custo construída reutilizando equipamentos de informática e lixo eletrônico
Edinaldo Cardoso Júnior
Fernando Obana
Max Robert Marinho
Lucas Sperotto
Sara da Silva
- 53 Aplicação de Algoritmos Bioinspirados à Otimização da Estimção da Direção de Chegadas
Adílio Alves da Silva Neto
Katia Cilene Costa Fernandes
Daniel Xavier de Sousa
Jonas Augusto Kunzler
Rodrigo Lemos
Hugo Vinícius Leão e Silva
- 67 Propostas de Técnicas de Coexistência entre LTE-U e Wi-Fi em 5GHz em Diferentes Modulações Candidatas ao 5G
Pedro Manoel Ribeiro Rosa
Maykon Renan Pereira da Silva
Flávio Geraldo Coelho Rocha
Vinícius da Cunha M. Borges
- 81 Aplicação do Algoritmo de Levenberg Marquardt para Modelagem na Alocação de Potência para Usuários LTE na Faixa de 3.5 GHz com Diferentes CQI
Hudson Lopes
Flávio Geraldo Coelho Rocha
- 95 Algoritmo de Alocação de Blocos de Recurso em Redes CP-OFDM com Características 5G Baseado em Estimção de Retardo
Marcus Vinícius Gonzaga Ferreira
Flávio Henrique Teles Vieira

- 109 Localização em Ambientes Internos Baseada em Aprendizado Supervisionado Utilizando Estações de Rádio FM
David Ferreira
Waldir Silva
Celso Barbosa Carvalho
- 123 Conceitualização e Medida do quanto a Experiência do usuário pode ser Cool: Uma revisão sistemática da literatura
Rosângela Santana
Deller Ferreira
Luciana Berretta
- 137 Alocação de salas usando fluxo máximo de custo mínimo em grafos bipartidos
João Batista de Oliveira Netto
Hebert da Silva Coelho

Resumos Expandidos

149

- 149 Um estudo dos impactos da Inclusão Digital em alunos Indígenas e Quilombolas
Jerlianni Oliveira
Luciana Berretta
Raimunda Delfino dos Santos

Artigos Curtos

161

- 161 Redução de Dimensionalidade para Reconhecimento de Padrões Eletromiográficos de Movimentos dos Dedos da Mão
Ana Cláudia Rezende
Henrique Pires Corrêa
Flávio Henrique Teles Vieira
- 171 A Influência da Tensão Elétrica na Qualidade da Solda a Arco Submerso em Chapas Finas
Gustavo de Castro Lopes
Matheus Abdala
Júlio Silva
- 181 Aplicação de Simulação Monte Carlo na Análise dos Impactos da Geração Distribuída Sobre um Alimentador Radial
Henrique Pires Corrêa
Flávio Henrique Teles Vieira
Marcelo Stehling de Castro
- 191 Implantação do Zabbix na UFAL Campus Arapiraca
José Calú
Felipe da Silva Leite
Rômulo de Oliveira
Cárlisson Galdino
- 201 Sistema para Detecção da Trajetória do Movimento de Golf Swing a Partir de Vídeos Gravados de um Smartphone
Jordan de Oliveira Kau Lyrio
Karin Komati
Daniel Trindade
- 211 Recomendação de Vídeos para o Processo de Aprendizagem: uma Revisão Sistemática da Literatura
João Pedro Ferreira
Lívia Campos
Antonio Marinho Neto
Cleon Pereira Júnior

- 221 Palavrinhas do Folclore: Um Objeto de Aprendizagem para Crianças em Fase de Alfabetização
Vanessa Formiga
Jaline Mombach

IV Escola Regional de Sistemas de Informação de Goiás (ERSI-GO)

231

- 231 Aplicação da Metodologia Ativa de Aprendizagem na disciplina de Fundamentos de Eletrônica do curso de Bacharelado em Ciência da Computação para se Evitar a Evasão
Sara da Silva
Fernando Obana
Edinaldo Cardoso Júnior
Thalita Rocha Oliveira
Lucas Sperotto

- 245 Cubo LED 3D 4x4x4
Thalita Rocha Oliveira
Sara da Silva
Edinaldo Cardoso Júnior
Fernando Obana

- 257 Uso de contêineres para desenvolvimento de infraestrutura multi-nuvem para aplicações de Smart Farming
Diogo Ribeiro
Junio Lima
Gabriel da Silva Vieira
Julio Cesar Ferreira

- 267 Uma Pesquisa Qualitativa sobre Características de Produtividade em Equipes de Desenvolvimento de Software
Adriana Silveira de Souza
Daniel Moraes
Juliano Lopes de Oliveira

- 281 Percepção dos Desenvolvedores sobre Comunicação em Desenvolvimento de Software
Jessica Garcia
Joyce Oliveira
Vanice Cunha
Christiane Nobre
Giulla Araújo
Eunice Nunes
Cristiano Araújo

Index of Authors

291

Desenvolvimento de um Sistema de Computação para Análise de Estruturas Planas

Luanna Lopes Lobato¹, Thiago Jabur Bittar¹, Ivo Palheta Mendes¹, Wanderlei Malaquias Pereira Junior²

¹Departamento de Ciência da Computação – Universidade Federal de Catalão (UFCAT) – Catalão, GO – Brasil

²Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de Catalão (UFCAT) – Catalão, GO – Brasil

{luannalobato, thiagojabur, wanderlei_junior}@ufg.br

Abstract. *Software Engineering has been present in different researches on the computer systems development is required to optimize, bring quality and safety to tasks. This paper presents the study on CAD systems and reports the software implementation to perform analysis of flat structures such as beams, trusses and gantries, providing the education on Civil Engineering course. For this, the recommendations imposed in Software Engineering were considered, together with the Civil Engineering peculiarities, presenting an interface for routines implementation. A Case Study was applied to collect data, which resulted in improvements to apply in the system.*

Resumo. *A Engenharia de Software tem estado presente em diferentes pesquisas em que é requerido o desenvolvimento de sistemas computacionais para otimizar, trazer qualidade e segurança nas tarefas. Neste artigo é apresentado o estudo sobre os aspectos dos sistemas CAD e a implementação de um sistema para realizar análise de estruturas planas como vigas, treliças e pórticos, voltado para o ensino no curso de Engenharia Civil. Para tanto, foram consideradas as recomendações impostas na Engenharia de Software, juntamente com as peculiaridades da Engenharia Civil, disponibilizando uma interface para a implantação de rotinas. Um estudo de caso foi aplicado para a coleta de dados, o que resultou no levantamento de melhorias do sistema.*

1. Introdução

Uma categoria de software muito utilizada nas grandes áreas como engenharia, geologia e design é de sistemas de *Computer-Aided Design* (CAD) ou Desenho Assistido por Computador [Sarcar, Rao e Narayan, 2008]. O sistema CAD tem se tornado uma potente ferramenta para a indústria moderna, permitindo a modelagem de produtos com formas complexas, realização de análises de formas geométricas planas (linhas, curvas, polígonos), tridimensionais (cubos, esferas), para auxiliar a manufatura e análises de interferências entre peças e conjuntos. É possível utilizar-se dos objetos construídos para a representação de entidades, como representar elementos de engenharia estrutural referentes a barras, vigas, treliças e pórticos [Korpyljov e Tkachenko, 2013].

Seguindo essa vertente, neste trabalho é descrito o desenvolvimento e avaliação de um sistema computacional, com ambiente CAD bidimensional, nomeado *EngPack*

Analysis, para apoiar a modelagem e a análise de estruturas planas, de maneira gratuita aos usuários. Esta pesquisa tem a colaboração de pesquisadores da Universidade Federal de Catalão (UFCAT), dos Departamentos de Ciência da Computação (CC), área de Engenharia de Software (ES), e Engenharia Civil (EC).

Ao final da implementação do sistema foi aplicado um estudo de caso para coletar as impressões dos usuários, para análise de verificação e validação do sistema. Assim, buscou-se por meio da análise dos resultados, verificar a qualidade do sistema referente aos requisitos imprescindíveis para sistemas desta categoria, confirmar a possibilidade de otimização de tarefas e segurança sobre os dados processados, uma vez que cálculos estruturais devem ser considerados. Adicionalmente, tentou-se com esta pesquisa, contribuir também para os alunos do curso de CC que estudaram os conceitos nas disciplinas de ES1, ES2 e Fábrica de Software (FS), referente aos aspectos técnicos acerca do uso das metodologias e técnicas de desenvolvimento de software, mais especificamente utilizando-se de algumas lições encorajadas pelas metodologias ágeis. Assim, os alunos puderam aplicar os conceitos de forma prática durante o desenvolvimento do sistema computacional, a ser utilizado por diferentes usuários.

O restante deste artigo está organizado do seguinte modo: na Seção 1.1 são apresentados aspectos de motivação e objetivos da pesquisa. Na Seção 1.2 tem-se as contribuições do trabalho. Na Seção 2 são apresentados os passos da metodologia de pesquisa adotada juntamente com os trabalhos relacionados. Na Seção 3 tem-se a área de estudo apresentada incluindo a revisão bibliográfica da base conceitual do trabalho. Já na Seção 4 tem-se a apresentação de itens arquiteturais e de algoritmos do desenvolvimento do sistema. Por fim, na Seção 5 tem-se as discussões e resultados obtidos.

1.1. Motivação e Objetivos

Muitos dos sistemas que proveem suporte às disciplinas da EC, mais especificamente àqueles que envolvem análise estrutural, tem alto valor para aquisição de licença e quando disponibilizam versões gratuitas essas são limitadas [Bizello e Ruschel, 2011]. Ainda, alguns softwares de análise estrutural possuem limitações de compatibilidade com diferentes Sistemas Operacionais (SO), o que restringe o usuário a específicas plataformas na qual pode ser executado, o que torna necessária a aquisição das licenças caras para uso completo das funcionalidades.

Dada essas restrições, justifica-se essa pesquisa pelo desenvolvimento de um sistema multiplataforma que, por meio do uso de recursos computacionais, pode ser utilizado para o ensino na área de engenharia estrutural, modelagem e análise de estruturas planas. Este foi implementado de forma modularizada, o que possibilita sua evolução para análise de outros tipos de estruturas, possibilitando contribuições futuras às áreas envolvidas.

Ainda, a motivação foi calcada na necessidade de se ter um software gratuito, que atenda à demanda do departamento de EC da UFCAT, nas disciplinas da área de engenharia estrutural, na modelagem e análise de estruturas planas. Por se tratar de um sistema gratuito, espera-se também que o mesmo possa ser utilizado em diferentes Instituições, como suporte ao ensino e aprendizado.

Assim, teve-se como objetivo principal a pesquisa e construção do sistema computacional de análise de estruturas a ser aplicado na engenharia. Para atingir esse

objetivo, definiu-se alguns específicos, que foram seguidos nesta pesquisa: 1) Revisão bibliográfica acerca das metodologias de desenvolvimento de software, com foco nas ágeis XP e framework de gerência SCRUM [Sommerville, 2011]; 2) Revisão bibliográfica sobre sistemas CAD; 3) Pesquisa e inspeção dos sistemas CAD para análise de estruturas; 4) Implementação de interface gráfica condizente com os padrões firmados no mercado, para esse tipo de sistema; 5) Implantação das rotinas de cálculo e análise em estruturas planas; 6) Realização de testes e avaliações de usabilidade com os usuários finais.

1.2. Contribuições do Trabalho

Uma vez que o *EngPack Analysis* seguiu padrões de sistemas CAD consolidados, acredita-se que a curva de aprendizado para sua utilização, no meio acadêmico, seja reduzida. Assim, deseja-se que os usuários, inicialmente os alunos da EC, possam ter boa familiaridade com o mesmo, tendo agilidade na realização das atividades oferecidas por meio das funcionalidades. É importante ressaltar a funcionalidade que possibilita que os usuários implementem rotinas de cálculos em análise estrutural, utilizando as interfaces de implementação desenvolvidas.

No que tange os aspectos da ES foram utilizadas, para o desenvolvimento do *EngPack Analysis*, metodologias de desenvolvimento de software e padrões de arquitetura, bem como ferramentas para codificação de sistema e testes. Assim, alguns conceitos são brevemente apresentados. Ainda, são abordados conceitos e fundamentos básicos da engenharia estrutural e análise de estruturas, os quais são essenciais para o entendimento da modelagem do sistema desenvolvido. Por fim, é mostrado o sistema computacional desenvolvido, seguido de sua avaliação e resultados.

2. Metodologia de Pesquisa

A metodologia de pesquisa utilizada é composta por duas fases: a fase de concepção e a de desenvolvimento e avaliação, adaptada de Lobato [2012]. Na primeira fase, os conceitos são estudados, as necessidades pontuadas e as restrições identificadas, para obtenção de informações e constituição da base de dados de conhecimento. A segunda fase refere-se à construção do sistema, para conseqüente avaliação do mesmo.

Assim, a fase de Concepção foi dividida em: Revisão da Literatura, Análise de Trabalhos Relacionados, Análise de Software Existentes, Base de conhecimento e Definição do Escopo do Sistema. Estas foram necessárias para formar a base de conhecimento para proposta e desenvolvimento do sistema, fortalecer o conhecimento sobre sistemas CAD, relacionando os métodos e técnicas aplicáveis.

A Revisão da Literatura foi *ad-hoc*, com foco em desenvolvimento de sistemas e análise de estruturas, buscando identificar *gaps* nas áreas e quais métodos e técnicas são comumente utilizados, bem como aprender sobre os conceitos da engenharia estrutural, a fim de abstrair os principais elementos estruturais, os quais foram necessários para a modelagem das estruturas analisadas pelo sistema desenvolvido.

Seguindo, fez-se a revisão dos trabalhos relacionados, que abordou estudos sobre o desenvolvimento de sistemas que apoiem disciplinas de engenharia estrutural e análise de estruturas. Nesta fase da pesquisa foram pontuados padrões de funcionamento e comportamento de ferramentas de edição em ambientes CAD. Por fim, foram feitos estudos detalhados sobre os sistemas de análise estrutural disponíveis, verificando suas

características essenciais. Os padrões observados foram seguidos para que o *EngPack Analysis* fosse facilmente aceito por usuários que tiveram algum contato com os sistemas disponíveis no mercado e no meio acadêmico.

Por meio das etapas descritas teve-se a base de conhecimento acerca das características e padrões de sistemas CAD para análise de estruturas, o que validou os requisitos iniciais e possibilitou delimitar o escopo para o sistema desenvolvido.

A segunda fase, Desenvolvimento e Avaliação, é referente à construção e validação do *EngPack Analysis*. Nesta foi empregada a metodologia ágil para desenvolvimento de software. Inicialmente, teve-se a etapa de Engenharia de Requisitos, que denotou em estudos essenciais para a elicitação, validação e especificação de requisitos funcionais (RF) e não funcionais (RNF) acerca das características e funcionalidades do *EngPack Analysis*.

Em seguida, teve-se o Projeto e Implementação do sistema, utilizando-se de práticas de desenvolvimento ágil aprendidas na disciplina de ES. A próxima etapa refere-se à Avaliação do Sistema, onde foi verificado se os requisitos especificados são atendidos, sendo realizada junto aos colaboradores do projeto, se verificado mudanças essenciais estas eram feitas. Uma vez que o sistema cumpre corretamente o que foi especificado, foi executada a etapa de Testes. Após o sistema validado e verificado que não há mais modificações essenciais, ele foi considerado estável, sendo finalizada a etapa de entrega.

Assim, buscou-se com a execução desta metodologia de pesquisa garantir qualidade do sistema, segurança sobre os resultados gerados, precisão e acurácia sobre as operações realizadas.

2.1. Trabalhos Relacionados

Esta pesquisa é parte de um projeto da UFCAT, entre os departamentos de CC e EC, sendo assim, em que alguns trabalhos envolvendo a EC foram parceiros a esta pesquisa.

Neste sentido, pode-se ressaltar o trabalho de Dutra [2018] que tem por objetivo o desenvolvimento das rotinas que efetuam os cálculos para a análise de vigas através dos métodos das forças e dos deslocamentos, onde usa-se da análise matricial para obtenção de esforços em estruturas de vigas planas. Neste estudo foi observada a necessidade de uma ferramenta computacional para o cálculo de esforço em vigas, sendo que os resultados obtidos por meio dos cálculos de esforços foram transferidos para o protótipo da interface gráfica do *EngPack Analysis*, que ainda estava em estágio inicial. Atualmente, o sistema fornece uma interface gráfica estável para o uso da análise matricial, considerando o uso de uma das rotinas implantadas em Dutra [2018]. Assim, pode-se obter alguns resultados por meio de análise estrutural de vigas isostática e hiperestáticas utilizando o método de rigidez direta.

Adicionalmente, Dutra [2018] utiliza protótipos iniciais do sistema *EngPack Analysis* para o desenvolvimento e aplicação de rotinas para cálculos de análise de treliças planas. Neste é ressaltada a necessidade por um sistema de análise estrutural, mas o trabalho mantém o foco no desenvolvimento das rotinas, evitando a abordagem sobre desenvolvimento de software. Este também é um projeto parceiro, colaborando para composição do módulo de análise estrutural definido no sistema *EngPack Analysis*.

O FTOOL [Martha, 2012] é um software conhecido no mercado e no meio acadêmico, que possui interface gráfica interativa para o ensino de comportamentos estruturais. Entretanto, ele não aborda conceitos sobre o sistema computacional, diferentemente desta pesquisa, que foca no processo de desenvolvimento do software.

Mais próximo ao desenvolvimento de software, tem-se o trabalho de Longo [2015], que descreve o desenvolvimento de um sistema portátil para plataforma Android e disponibiliza ferramentas para a análise de estruturas. O aplicativo é uma alternativa de programa de análise estrutural para estudo simplificado de estruturas em sala de aula. A validação dos resultados feita de forma comparativa com os resultados do FTOOL.

Já Viegas e Vargas [2015] desenvolveram um software que apresenta, em tempo real, as ações dos carregamentos em uma viga, tendo como resultado as reações nos apoios, esforço cortante e momento fletor, assim como os diagramas. Este foi desenvolvido para ajudar em aulas que envolvam apenas a análise de vigas e possui interface limitada no processo de modelagem e edição das vigas, que só podem ser manipuladas por meio das janelas de inserção e edição.

Em contrapartida, Kaefler [2000] apresenta uma ferramenta gráfica interativa para a modelagem e dimensionamento de pórticos de planos de concreto armado. Os resultados são validados com os cálculos de análise de Soler, utilizando uma formulação que permite que as vigas sejam submetidas a grandes deslocamentos, rotações de deformações.

Os sistemas CAD fornecem soluções também em outras áreas e alguns trabalhos, mesmo que de forma limitada, contribuíram para a condução deste, mas não foram especificados por não envolver as áreas de estudo. Na maioria dos trabalhos relacionados o foco está na implementação das rotinas de cálculo para a execução da análise das estruturas, o que difere deste que foca no processo de desenvolvimento do sistema computacional para produzir uma ferramenta para análise de estruturas.

3. Área de Estudo

Dada a interdisciplinaridade entre a ES e EC para a implementação de um sistema de computação aplicados a engenharia, nas seções que seguem são descritos, brevemente, os conceitos utilizados para desenvolvimento desta pesquisa.

3.1. Aspectos da Engenharia de Software

Sommerville [2019] descreve o projeto de arquitetura como uma etapa importante do processo de software, que antecede a implementação, gerando como resultado um modelo de arquitetura que descreve como o sistema está organizado em um conjunto de componentes de comunicação e sua estrutura geral.

A abordagem de desenvolvimento empregada nesta pesquisa foi a ágil, assim o estágio inicial do processo de desenvolvimento focou no estabelecimento de uma arquitetura global do sistema. É importante salientar que as noções de separação e independência são fundamentais para o projeto de arquitetura, porque permitem que alterações sejam facilmente localizadas. Para o levantamento dos requisitos foram realizadas entrevistas com clientes e desenvolvedores, definindo a descrição de cenários e executando casos de uso – os quais não são detalhados devido à limitação de páginas.

O padrão de arquitetura utilizado no projeto do *EngPack Analysis* foi o Modelo-Visão-Controlador (MVC), que separa a apresentação e a interação dos dados do sistema, estruturado em três componentes lógicos que interagem entre si. O padrão MVC permite que os dados sejam alterados de forma independente de sua representação e vice-versa [Luciano e Alves, 2011].

Para a implementação do sistema utilizou-se alguns padrões de projeto, tais como o *Singleton* (Criacional), o *Composite* (Estrutural), o *Observer* e o *Command* (Comportamentais). O padrão *Singleton* garante a existência de apenas uma instância de uma classe, mantendo um ponto global de acesso ao seu objeto [Gamma *et al.*, 1995].

3.2. Aspectos da Engenharia Estrutural

Além dos conceitos de ES, fez-se necessário abordar conceitos acerca da aplicação do sistema, ou seja, sobre a sua finalidade para análise de estruturas planas, uma vez que envolvidos no projeto não detinham desse conhecimento.

A engenharia estrutural é onde são criadas as estruturas fundamentais que dão forma às construções edificadas, assim, é preciso entender e calcular a estabilidade, força e rigidez de estruturas construídas e estruturas não construídas [Soriano, 2013]. A teoria da engenharia estrutural é baseada em leis físicas.

A análise estrutural emprega os campos da mecânica aplicada, ciência dos materiais e matemática para calcular as deformações de uma estrutura, forças internas, tensões, reações de apoio, acelerações e estabilidade [Soriano, 2013]. Os resultados da análise são usados para verificar a adequação de uma estrutura ao uso, frequentemente evitando testes físicos. Assim, a análise estrutural é a determinação dos efeitos das cargas nas estruturas físicas e seus componentes.

Sobre os elementos estruturais é preciso ter conhecimento, por exemplo, do material do qual ele é composto, como madeira, concreto, aço, ferro, dentre outros. A engenharia estrutural depende de conhecer esses materiais e suas propriedades, a fim de entender como diferentes materiais suportam e resistem às cargas [Soriano, 2013].

Os materiais foram modelados no *EngPack Analysis* em suas classes do componente Modelo. Uma vez que o requisito dimensional para uma estrutura tenha sido definido, torna-se necessário determinar as cargas que a estrutura deve suportar. O projeto estrutural, começa com a especificação de cargas que atuam na estrutura. Para tanto, o sistema foi desenvolvido para modelar os elementos estruturais desenhados no ambiente CAD em classes bem definidas (Material, Seção, Elemento, Nó, Carregamento, etc.), de forma que essas possam ser convertidas em matrizes, com o intuito da utilização dessas matrizes para a realização do cálculo de análise, em forma de rotina computacional. Essas análises resultam, dentro do *EngPack Analysis*, em diagramas de cisalhamento (força cortante) e momento fletor em um determinado ponto de um elemento estrutural.

4. Desenvolvimento do Sistema

O *EngPack Analysis* provê um conjunto de ferramentas que possibilita a modelagem de estruturas planas, do tipo vigas, pórticos e treliças, que funcionam no ambiente CAD do sistema, onde é possível desenhar os elementos que compõem a estrutura. Essa modelagem consiste na inserção, remoção e edição de elementos de barra na área de

desenho CAD e a aplicação de informações de materiais, seções, condições de apoio, forças e carregamentos aos componentes da estrutura. Além disso, é possível adicionar novos componentes, como rotinas de análise, de modo que estas possam ser executadas sobre uma determinada estrutura.

É possível a criação de múltiplas estruturas em um único arquivo de projeto, possibilitando a criação, abertura e salvamento desses arquivos, além da exportação de relatórios sobre os cálculos realizados pelas rotinas implantadas. Ainda provê suporte aos recursos fundamentais em um sistema de edição, como a cópia, recorte e colagem de elementos por meio da área de transferência, sendo possível desfazer e refazer ações.

Com uma estrutura modelada no sistema, é possível efetuar a análise das reações e esforços resultantes das forças e carregamentos aplicados sobre os elementos da estrutura. Essa análise gera diagramas que são exibidos no próprio ambiente CAD. Soriano [2013] destaca que os diagramas podem ser usados para determinar facilmente o tipo, tamanho e material de um elemento em uma estrutura, de modo que um determinado conjunto de cargas possa ser suportado sem falha estrutural.

O componente Modelo lida com os dados do sistema, mais especificamente os das estruturas e projetos manipulados, além de armazenar e encapsular informações das matrizes necessárias para análise e dos sistemas de arquivos. Como trata-se de um sistema feito em uma linguagem orientada à objetos, o componente Modelo contém as classes que representam as estruturas com as quais o sistema lida, sendo elas: Node, Member, Material, Section, NodeForce, MemberLoad, Structure, Project, entre outras.

Na implementação foi considerado que um projeto pode possuir diversas Estruturas, que são compostas por Nós e Elementos. Os Nós da estrutura podem ter uma Força, significando que a Força está aplicada sobre ele, assim como um Elemento pode ter um Carregamento aplicado a ele. Material e Seção podem ser definidos também.

As classes do componente Modelo são manipuladas pelas classes do componente Controlador, sendo essas classes responsáveis pela comunicação da interface gráfica com o modelo de negócio. O componente Controlador é responsável pela manipulação dos arquivos de projetos modelados no componente Modelo e pela efetiva análise das estruturas modeladas, realizando os cálculos para obtenção dos esforços e reações na estrutura, estando nesse componente as rotinas de análise. Dentre as principais classes do componente Controlador, destacam-se: *Diagram*, responsável pela transformação dos resultados das análises em diagramas na interface gráfica do usuário; *BeamAnalysis*, faz a análise de esforço em vigas [Filho, 2018]; *TrussFrameAnalysis*, responsável pela análise de treliças e pórticos planos [Filho, 2018]. Nesse componente há ainda classes responsáveis pelo gerenciamento de arquivos de projeto, relatórios e classes que controlam cada painel de ferramentas do programa.

O componente Visão possui basicamente classes relacionadas à cada componente gráfico da interface, sendo responsáveis por obter as informações da interação com o usuário e enviá-las para as classes do componente controlador, que retornará algum tipo de informação a ser repassada graficamente para o usuário. Nesse componente estão as classes que representam o ambiente de desenho CAD do sistema.

Todas as classes são organizadas em pacotes de acordo com suas finalidades, se comunicando por meio do componente central da interface gráfica, o *AnalysisUI*. O padrão *Composite* é utilizado nas classes que compõem o pacote que permite a

implementação de novos componentes e módulos, como no funcionamento da hierarquia dos componentes de interface gráfica. Algumas das classes controladoras da interface gráfica especificam a classe *Controller* por meio de herança e são ainda constituídas por objetos dessa classe.

Outro padrão de projeto utilizado na implementação é o *Observer* que é usado em quase todas as informações das classes do componente Modelo do sistema. Um exemplo é nos atributos da classe *Section*, que ao serem alterados notificam os observadores da interface. As informações contidas na classe *Section*, ao serem alteradas, devem notificar os observadores presentes em diferentes partes da interface, como no painel de manipulação de seções e no de estrutura de projeto. Um padrão também amplamente aplicado na implementação do sistema, principalmente para o controle das ações na interface gráfica, foi o padrão *Command*, sendo que parte das operações possíveis de serem executadas pelo usuário estão encapsuladas por meio desse padrão, como desfazer ações, adição e remoção de elementos no ambiente CAD. No pacote *Command* estão as classes abstratas *Command* e *CommandGroup*. Qualquer comando que possa ser manipulado pelo usuário deve especificar essas classes, como os comandos de adição, remoção e movimentação de componentes na classe *StructureGraphic* ou os comandos de manipulação da área de transferência na classe *Clipboard*. Esses comandos podem ser agrupados, através da classe *CommandGroup*.

4.1. Interfaces para Desenvolvimento de Componentes

Além dos componentes descritos, o sistema possui funcionalidades que possibilitam a criação de novos módulos e componentes. Essa possibilidade se dá por meio de classes e interfaces que permitem a fácil implementação de diferentes itens de interface gráfica para serem acoplados à módulos existentes ou ainda a novos módulos criados. Assim, é possível expandir o sistema para suportar futuras implementações de rotinas, bastando comunicar essas rotinas com os novos componentes, como exemplo o dimensionamento de estruturas, que vem sendo desenvolvida no projeto que esta pesquisa está inserida.

No pacote *Module* desse componente, a classe abstrata *Module* descreve o modelo básico para criação de um módulo (o *EngPack* é um projeto maior, dessa forma o *EngPack Analysis* é um módulo desse sistema). A classe abstrata *ModuleController* descreve as operações básicas para o componente que deve controlar a interface gráfica do módulo, como adicionar e remover componentes da interface. Na Figura 1 é apresentada a tela do *EngPack Analysis*, em um projeto aberto com algumas informações.

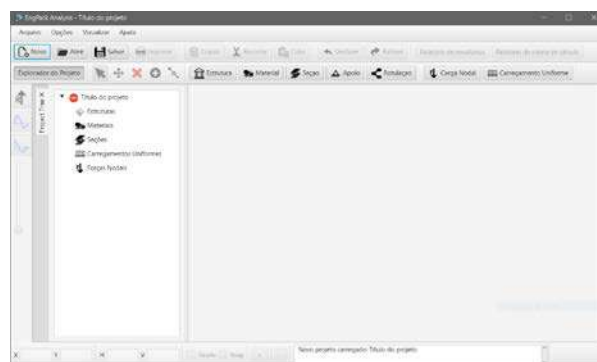


Figura 1. Tela principal com projeto aberto

Modelo de Dados: O EngPack Analysis possui um tipo de arquivo padrão que é manipulado por ele, esse arquivo representa um projeto de estruturas. Um projeto no sistema pode ser visto como um conjunto de listas de objetos e cada objeto pode estar relacionado a outros da mesma lista ou de listas diferentes. Os arquivos de projetos gerenciados pelo sistema armazenam todas as informações do projeto, como a lista de estruturas com suas informações, que incluem listas de nós, elementos, materiais, seções, forças e carregamentos.

Interface Gráfica do Usuário: A organização da interface segue um padrão de barras e painéis, como mostrado na Figura 1, comum em muitos programas de análise ou mesmo em sistemas CAD. No topo da tela há uma barra de menu com acesso às principais ferramentas/funcionalidades do sistema. Na parte de baixo têm-se as barras de ferramentas do sistema, uma barra para ferramentas gerais de edição e uma barra com ferramentas específicas de modelagem e análise de estruturas. Ainda há uma barra de ferramentas de diagramas do lado esquerdo da tela, a qual permite a exibição dos diagramas gerados, há também um painel que contém a estrutura do projeto, composto pelas listas de componentes do mesmo. Ao centro há o ambiente de desenho CAD para cada estrutura aberta e por fim, no rodapé há uma barra de status com informações de coordenadas do ambiente CAD aberto. O restante das ferramentas está distribuído em painéis flutuantes. Por exemplo, há painéis para gerenciamento de materiais, seções, carregamentos, entre outras funcionalidades do sistema. Além disso, esses painéis podem ser ancorados em algum dos lados na janela, possibilitando personalizar o ambiente de edição. Cada componente da interface possui uma classe controladora. Esses componentes são modularizados, de modo que cada um é uma parte separada do componente Visão do sistema.

5. Discussões e Resultados

Uma etapa fundamental no processo de desenvolvimento de software é a avaliação do sistema, que pode ser feita utilizando diferentes métodos conhecidos na literatura. Uma das formas de se verificar a usabilidade é a aplicação de Estudos de Caso, onde diferentes situações de uso do sistema são testadas por usuários afim de obter informações, como o tempo para efetuar uma operação, a quantidade de cliques do mouse para executá-la ou, ainda, questões sobre a agradabilidade do sistema.

Seguindo orientações definidas em YIN [2008], desenvolver um estudo com a qualidade desejada requer utilizar usuários reais do sistema, para coletar dados, problemas e futuras melhorias. Assim, para avaliação do presente sistema utilizou-se um Estudo de Caso para coletar as impressões sobre a utilização do mesmo, por meio da aplicação de um questionário. Para tanto, teve-se como público-alvo os alunos e professores do curso de EC, da UFCAT, sendo os potenciais usuários finais do sistema. Após a realização do estudo, os resultados foram documentados e analisados, com o intuito dos dados refletirem em melhorias ao *EngPack Analysis*.

5.1. Aplicação do Estudo de Caso

O Estudo de Caso foi feito em duas etapas. A primeira envolveu a utilização do *EngPack Analysis* para análise de vigas, através de um passo-a-passo guiado por 3 professores de disciplinas do curso de EC, que envolvam a utilização de sistemas de análise de estruturas. O sistema foi apresentado aos participantes sem treinamento prévio, apenas com orientações dadas pelo aplicador do estudo. A finalidade foi

observar como o participante, sendo usuário experiente, se comporta frente a um ambiente de sistema CAD, evidenciando as ações mais comuns tomadas.

Por meio da exposição da opinião dos participantes, os resultados foram coletados e anotados para análise. Esses revelaram a ausência de itens na interface gráfica que proporcionassem uma melhor percepção pelo usuário a respeito, por exemplo, das medidas dos elementos que eram inseridos no ambiente. Além disso, mostrou-se a necessidade da simplificação de certos processos de modelagem, como o de criação e aplicação de componentes como materiais, seções e carregamentos.

A segunda etapa foi mais abrangente e formal, com o sistema tendo sofrido alterações para a correção dos erros (evidenciadas na primeira etapa). Como apoio foram disponibilizados o sistema e um manual básico de sua utilização, com explicações a respeito do funcionamento da interface gráfica. Foi entregue uma rotina de testes a ser realizada, onde estavam descritas as tarefas padronizadas, como a inserção de estruturas do tipo viga e um questionário de usabilidade foi respondido. Esta etapa foi realizada em sala de aula e contou com a participação de 12 (doze) voluntários (alunos da disciplina de análise estrutural), sendo estes observados pelo aplicador do estudo enquanto realizavam tarefas simples orientadas.

A interação do usuário foi medida pelo próprio sistema, com o objetivo de observar possíveis erros cometidos pelos usuários na execução de tarefas. Os mapas de calor são apresentados na Figura 2. Com essas informações foi possível perceber a preferência do usuário pelo posicionamento de elementos na interface.



Figura 2. Exemplo de Mapa de Calor

Associados aos mapas de calor, foram coletados os logs de execução das tarefas, que trazem informações como o horário de execução da tarefa, quantidade de cliques e tempo gasto para a execução. Esses dados ajudam a rastrear possíveis erros na interação do participante com o sistema, bem como suas dificuldades na utilização do mesmo. Todas as informações coletadas foram enviadas de forma anônima para um sistema de arquivos, onde foram analisados os resultados concretos para se ter conhecimento sobre o uso do sistema pelos participantes. Apenas informações do próprio sistema foram capturadas.

No final da execução do Estudo de Caso, após a realização dos testes, foi solicitado aos participantes responderem um questionário, afim de coletar dados sobre a utilização do sistema. De acordo com Sharp, Rogers e Preece [2007] os questionários são uma técnica bem estabelecida de coleta de dados e de opiniões, podendo conter perguntas abertas ou fechadas, afim de aprofundar entendimentos.

5.2. Respostas às Questões

Nesta seção são apresentadas as perguntas e as respostas dos participantes que participaram do Estudo de caso.

Q1. Quais dos programas abaixo você já utilizou para realizar análises em estruturas? O intuito aqui foi verificar quais sistemas de análise estrutural os participantes já haviam utilizado, para então identificar qual tipo de ambiente de análise eles estavam familiarizados. Todos os participantes responderam que já utilizaram o FTOOL para análise de estruturas, 2 (16,7%) também usaram Ansys e 1 (8,3%) respondeu SAP e ATRAP. Esse resultado indica que eles, possivelmente, utilizaram o sistema de forma parecida como utilizariam o FTOOL, sendo que a diferença entre os sistemas poderia indicar certa resistência na utilização do *EngPack Analysis*.

Q2. Há quanto tempo você utiliza os programas marcados na questão anterior? A maioria dos participantes já utilizam o sistema FTOOL há mais de 1 ano, sendo 75% destes, possuindo um nível relevante de conhecimento sobre a utilização desse sistema. Tal informação torna o processo de aprendizado do *EngPack Analysis* mais simples. 16,7% usam entre 6 meses e abaixo de 1 ano e 8,3% há menos de 6 meses.

Q3. Como você considera seu nível de experiência em relação à utilização dos programas mencionados anteriormente? (peso 1 pouco experiente ao peso 5 muito experiente)? É possível observar que a maioria se considera experiente na utilização de sistemas de análise de estruturas como o FTOOL, tendo 6 (50%) participantes respondido com peso 4, 4 (33,3%) com peso 3 e 2 (16,7%) peso 2. Esse resultado é relevante para validação deste Estudo de Caso, visto que os participantes têm o conhecimento para avaliar um sistema como o *EngPack Analysis*, uma vez que metade possui habilidades com outro sistema do mesmo tipo.

Após a seção de perguntas sobre a experiência dos usuários, seguiu-se com perguntas sobre a facilidade de utilização dos diversos recursos do *EngPack Analysis*. Essas questões utilizam-se da escala *likert* para medição da usabilidade, com escala numérica de 1 a 5 (onde 1 significa muito fácil e 5 muito difícil).

Q4. Qual o nível de facilidade na criação de um novo projeto? A maioria, 8 participantes (66,7%), responderam 1, 2 (16,7%) escolherem 2 na escala e 1 (8,3%) nota 3 e nota 5, revelando que o processo de criação de um novo projeto é considerado simples e fácil de ser executado.

Q5. Qual o nível de facilidade na criação de uma nova estrutura? A maioria dos participantes, 8 participantes (66,7%), consideram que esse processo é relativamente fácil, deram nota 1, 2 (16,7%) nota 2 e 1 (8,3) nota 3 e nota 5.

Q6. Qual o nível de facilidade na inserção, remoção e edição de elementos? O processo de modelagem de uma estrutura foi considerado com um baixo grau de dificuldade por 6 participantes, sendo que 5 (41,7%) deram nota 2 e 1 deu nota 4. Esse resultado confirma a necessidade da simplificação, que foi alterado por meio de ferramentas mais fáceis e claras de serem utilizadas.

Q7. Qual o nível de facilidade de navegação no ambiente CAD do *EngPack Analysis* (mover visualização, aplicar zoom, selecionar componentes)? Um dos requisitos mais críticos do sistema desenvolvido foi o ambiente CAD, levando em

consideração a necessidade de torná-lo o mais fluído possível, uma vez que essa característica deveria transparecer na forma como o usuário poderia navegar na área de desenho desse ambiente. As respostas revelam que esse requisito foi cumprido parcialmente, visto que 7 participantes (58,3%) consideraram muito fácil. 2 (16,7%) deram nota 3 e 4, sendo uma boa média e 1 deu nota 5, considerando muito difícil.

As questões das funcionalidades permitiam sugestões de modificações ou relatos de problemas identificados, que foram analisados e solucionados. Como exemplo tem-se a sugestão de alteração da cor do componente gráfico que indica a origem do plano cartesiano do ambiente CAD, de modo que não atrapalhasse na inserção dos elementos. Assim, para melhoria fez-se a alteração desse componente tornando sua cor desbotada, reduzindo o contraste para os demais elementos gráficos, conforme o princípio de Kimball [2013]: Constraste, Repetição, Alinhamento e Proximidade (CRAP).

Ainda, alguns usuários relataram problemas na utilização do sistema em laptops sem mouse, ou seja, usuários que tinham disponível apenas o touchpad do seu computador. Esses problemas estão relacionados às ferramentas de *pan* (mover a visualização) e *zoom* (aproximar ou afastar a visualização) do ambiente CAD que são utilizadas por meio do botão de rolagem do mouse. A implementação da correção está como trabalhos futuros.

A parte final do questionário está relacionada às questões gerais em relação a usabilidade e agradabilidade da interface gráfica do sistema, com uma escala numérica de 1 a 5 (onde 1 representa total discordância e 5 total concordância).

Q8. Os botões, na interface gráfica, eram claros e precisos sobre sua funcionalidade? A análise das respostas foi satisfatória, uma vez que 3 (25%) dos participantes deram valor 5 e outros 3 valor 4, indicando que os botões conseguem representar sua funcionalidade. Em contrapartida, a outra metade demonstrou insatisfação, onde 1 participante deu nota 3, 2 deram nota 2 e 3 (25%) nota 1. Isso demonstra a necessidade de organizar os ícones e botões de forma que esses possam expressar melhor sua funcionalidade. Ações foram tomadas para minimizar o problema identificado, alterando os símbolos dos botões para que estes se tornassem mais claros e objetivos. Além disso, houve acréscimo de texto nos botões que possuíam apenas símbolos, de modo que o usuário tenha mais informações acerca da funcionalidade.

Q9. O tamanho dos textos estava adequado para visualização/leitura? Para a maioria dos participantes, 7 (58,3%), o tamanho da fonte dos textos estava adequado para visualização, uma vez que esses deram nota 5, referindo-se a total concordância. Entretanto, 3 (25%) deram nota 4 e 2 (16,7%) nota 1. Para tanto, uma nova funcionalidade para opção de ajuste de tamanho de texto foi implementada e disponibilizada. É importante ressaltar que essa estratégia contempla aspectos de acessibilidade, além da usabilidade.

Q10. Prefiro cores mais escuras a cores mais claras? 4 (33,3%) dos participantes deram nota 5, referindo-se a total concordância, 3 (25%) nota 4 e 4 participantes deram nota 3. Apenas 1 (8,3%) deu nota 1, sugerindo total discordância. Assim, foi implementada uma funcionalidade que possibilite trocar as cores do ambiente CAD do sistema e, posteriormente, a implementação dessa possibilidade para todo o sistema pode ser efetuada em trabalhos futuros.

Q11. Tive maior facilidade ao trabalhar com o *EngPack Analysis* em comparação ao FTOOL? Esta questão teve por intuito comparar a utilização entre os sistemas, sendo o FTOOL uma das ferramentas mais utilizadas no meio acadêmico para análise de estruturas. As respostas evidenciaram equilíbrio na opinião dos participantes, uma vez que parte das respostas consideraram que o *EngPack Analysis* tem utilização mais fácil e a outra parte respondeu de forma neutra. Onde 4 (33,3%) dos participantes deram nota 5, 3 (25%) nota 4 e nota 3 e 2 (16,7%) nota 2.

Os resultados coletados pelo questionário, realizado nesta segunda etapa do Estudo de Caso, foram fundamentais para validar os componentes da interface gráfica do sistema desenvolvido, mostrando que este possui interface gráfica de fácil utilização e aprendizado. Entretanto, alguns desses componentes necessitaram de pequenas alterações para correta validação, como mencionado anteriormente. Ainda, observou-se que o *EngPack Analysis* consegue realizar a análise das estruturas conforme proposto neste trabalho.

6. Conclusões

Neste artigo está descrita uma pesquisa que ressalta a empregabilidade da interdisciplinaridade entre as áreas de ES com a EC, uma vez que os sistemas computacionais são de grande aceitação e necessidade em várias áreas de conhecimento.

Como previamente discutido, esta pesquisa teve como motivação a demanda pela utilização de um sistema de análise de estruturas pelos estudantes e professores do departamento de EC da UFCAT de modo gratuito, que contemple as reais necessidades das disciplinas empregadas no curso.

Técnicas da ES foram utilizadas para estruturar o desenvolvimento desse sistema, fundamentadas em suas metodologias de desenvolvimento de software, bem como, fazendo uso de ferramentas para codificação e testes. Ainda, para desenvolvimento do *EngPack Analysis* foi estabelecido que ele seguisse padrões utilizados por sistemas no mesmo domínio, com vistas a reduzir a curva de aprendizado dos usuários. Assim, o tempo no processo de adaptação do *EngPack Analysis* foi reduzido, trazendo maior aceitabilidade, além dos benefícios apresentados.

Com a aplicação do Estudo de Caso observou-se que o sistema é capaz de realizar as análises propostas, porém verificou-se também a necessidade de melhorias, como o aprimoramento da interface, relacionado a usabilidade e acessibilidade.

Durante o processo de desenvolvimento do *EngPack Analysis*, iniciou-se também o desenvolvimento de sua versão Web, sendo este trabalho futuro. Ainda, tem-se como meta finalizar a implementação da transição para um ambiente de desenho tridimensional e avaliar o mesmo para uma população maior de usuários, com foco no mercado de trabalho.

Por fim, espera-se que este trabalho sirva como base de conhecimento para novas pesquisas envolvendo as áreas de estudo contempladas, e que inspire projetos interdisciplinares para que possam ser desenvolvidos com vistas a contemplar problemas relacionados ao mercado e à comunidade acadêmica.

Referências

- Sarcar, M. M. M, Rao, K. M. e Narayan, K. L. Computer aided design and manufacturing. second. PHI Learning Pvt. Ltd., 2008.
- Korpyljov, D. e Tkachenko, S. Development and research of distributed web-oriented architectures cad design engineering. 12th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM). 2013. p. 453–454.
- Bizello, S. e Ruschel, R. Estudo de CAD livre para implementação de ferramenta de projeto. Em: Gestão & Tecnologia de Projetos, v. 6, n. 1, p. 32–52, 2011.
- Sommerville, I. Software Engineering. 10th. ed. USA: Addison-Wesley Publishing Company, 2019. ISBN 978-8543024974, 768 páginas.
- Lobato, L. L. An approach for Risk Management in Software Product Lines. Tese (Ph.D. Thesis) — Federal University of Pernambuco, Recife - Brazil, 2012.
- Dutra, R. V. Software para análise matricial de esforços em estruturas de vigas planas. 2018. TCC (Graduação), Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Catalão, Catalão.
- Martha, L. F. FTOOL: Um Programa Gráfico-Interativo para Ensino de Comportamento de Estruturas. 2012.
- Filho, J. M. da S. Software para análise estrutural de treliças planas. 2018. TCC (Graduação), Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Catalão, Catalão.
- Longo, L. F. Desenvolvimento de um aplicativo de análise de estruturas reticuladas planas em plataforma Android. 2015. TCC (Graduação), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Viegas, M. A. e Vargas, A. Desenvolvimento de software para simulação e solução de esforços em vigas como ferramenta educacional. Engenharia Civil da UNESC, 2015.
- Kaefer, L. F. Desenvolvimento de uma ferramenta gráfica para análise de pórticos de concreto armado. Dissertação. Escola Politécnica, USP, São Paulo, 2000.
- Luciano, J. e Alves, W. J. B. Padrão de arquitetura MVC: Model-view-controller. EPeQ Fafibe, v. 01, n. 3a. Ed., p. 102–107, 2011.
- Gamma, E., Helm, R., Johnson, R. e Vlissides, J. Design Patterns: Elements of Reusable Object-oriented Software. USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co. 1995.
- Soriano, H. L. Estática das Estruturas. Third edition: Ciência Moderna, 2013.
- Yin, R. K. Case Study Research: Design and Methods (Applied Social Research Methods). Fourth edition. [S.l.]: Sage Publications, 2008. ISBN 1412960991.
- Sharp, H., Rogers, Y. e Preece, J. Interaction Design: Beyond Human Computer Interaction. USA: John Wiley & Sons, Inc., 2007. ISBN 0470018666.
- Kimball, M. A. Visual design principles: An empirical study of design lore. Journal of Technical Writing and Communication, v. 43, n. 1, p. 3–41, 2013.

Cinemática Inversa Aplicada a Manipulador Robótico a Partir de Coordenadas Capturadas pelo Microsoft Kinect

Flavio Augusto Glapinski Zacca¹, Luma Wanderley de Oliveira²,
Gabriel Macedo de Carvalho¹, Rogério Pereira², Wanderson Rainer Hilário de Araújo¹

¹Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC-GO)
Caixa Postal 86 – 74.605-010 – Goiânia – GO – Brasil

²Universidade Federal de Goiás (UFG)
Caixa Postal 131 – 74.001-970 – Goiânia – GO – Brasil

{flaviosye,luma.lwo,gabrielmcea,rogertecnic,wandersonrainer}@gmail.com

Abstract. *Some industrial production processes, operators of industrial plants are normally exposed to risks that can compromise health and safety at work. This article presents a proposal for a system to mitigate these risks, using a robotic manipulator associated with the Microsoft Kinect, which is used in order to obtain the operator's arm joints Cartesian coordinates and, remotely, applying inverse kinematics, to act in a robotic manipulator that performs the work of the operator and minimize potential risks. It was observed that the robotic arm presented a satisfactory result in terms of response time and positioning, however improvements are needed in the stability.*

Keywords: *Robotic manipulator, inverse kinematics, servomotors, Microsoft Kinect.*

Resumo. *Em muitos processos produtivos industriais, os operadores das plantas industriais normalmente são expostos a riscos que podem comprometer a saúde e a segurança no trabalho. Este artigo apresenta uma proposta de sistema para mitigação desses riscos, utilizando manipulador robótico associado ao Microsoft Kinect, que é empregado de forma a obter as coordenadas cartesianas das articulações do braço do operador e, remotamente, aplicando cinemática inversa, atuar em um manipulador robótico que realiza o trabalho do operador e, minimizar potenciais riscos. Observou-se que o braço robótico apresentou resultado satisfatório nos quesitos de tempo de resposta e posicionamento, entretanto melhorias são necessárias na estabilidade.*

Palavras-chave: *Manipulador robótico, cinemática inversa, servomotores, Microsoft Kinect.*

1. Introdução

Seja na indústria de processos contínuos ou na automação da manufatura, os operadores das plantas industriais normalmente são expostos a riscos que podem comprometer a saúde e a segurança no trabalho. Observa-se que a indústria é responsável por 37,2% dos acidentes de trabalho registrados com CAT (Comunicado de Acidente de Trabalho) e que, nas regiões mais industrializadas do Brasil, Sudeste e Sul, são responsáveis por 53,3% e 22,7% respectivamente dos acidentes de trabalho totais (AEAT, 2017) [da Fazenda (EAT) 2017].

No Brasil, a legislação vigente garante direitos e deveres aos trabalhadores e aos empregadores, para que se possa estabelecer um ambiente com riscos minimizados. Essa legislação é representada pelas normas regulamentadoras NR-10 [Regulamentadora 2016a] à NR-35 [Regulamentadora 2016b]. Nacionalmente, é recomendado que as áreas de uma instalação sejam classificadas pelo seu grau de risco, gerando um documento chamado mapa de riscos.

Essas regulamentações demonstram preocupações quanto aos riscos pelos quais operadores humanos são expostos, especialmente em ambientes industriais, onde essa exposição é frequente.

Diante desse cenário, os manipuladores robóticos têm participação substancial nas indústrias de alimentos e bebidas, com crescimento acentuado a partir do ano 2000, com o lançamento do robô *Flex Pick* [Iqbal et al. 2017], demonstrando que o uso de manipuladores robóticos além de estarem associados a atividades de embalagem, paletização, coleta e produção, dentre outras funções; também, podem minimizar os riscos que humanos são expostos em trabalho.

Além disso, a associação da robótica com visão computacional, como a utilização de Microsoft Kinect [Amatya and Petchartee 2015] para movimentar um dispositivo à distância, oferece ainda mais segurança no exercício de atividades perigosas. O Kinect é capaz de reconhecer o corpo e os movimentos do operador, transmitindo por meio de um software, esses movimentos com um grau confiável de precisão ao braço robótico. A tradução dos pontos cartesianos, obtidos através do Kinect, é realizada através da cinemática inversa, que será detalhada no decorrer do trabalho.

Desta forma, considerando a crescente participação dos robôs nos processos produtivos industriais e sua flexibilidade de atuação, este artigo utiliza manipuladores robóticos como agente para a realização de tarefas consideradas perigosas para seres humanos e, associa um Kinect para que o operador possa realizar o trabalho remotamente de forma a potencializar a segurança do operador, minimizando os riscos nos ambientes industriais.

2. Fundamentação Teórica

Esta seção irá apresentar os principais conceitos que regem o desenvolvimento deste artigo. Iniciando com o contexto de ambientes insalubres em processos produtivos industriais, o funcionamento de um manipulador robótico articulado, e por fim, apresentando os conceitos de cinemática.

2.1. Ambientes Insalubres em Processos Produtivos Industriais

Ambientes industriais em sua maioria oferecem riscos aos operadores, seja em atividades de produção ou manutenção. Com o objetivo de minimizar esses riscos, há trabalhos que desenvolvem soluções robóticas para substituir o ser humano na realização de tarefas [Lee et al. 2015]; outros, apresentam técnicas de projeto para minimizar riscos em ambientes com alta periculosidade [Parikh et al. 2011, Srinivasan et al. 2018, Leon-Rodriguez et al. 2013].

Além das atividades realizadas em ambientes insalubres, outras atividades poderiam ser beneficiadas com a utilização de robôs, atendendo assim diretamente às necessidades impostas pelas normas regulamentadoras:

- Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade - NR10 [Regulamentadora 2016a]:
 - Esta norma estabelece os requisitos e condições mínimas objetivando a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores que, direta ou indiretamente, interajam em instalações elétricas e serviços com eletricidade.
- Atividades e Operações Insalubres - NR15 [Regulamentadora 2007]:
 - Esta norma estabelece que são consideradas atividades insalubres aquelas que se desenvolvem acima dos limites de tolerância previstos na norma.
- Atividades e Operações Perigosas - NR16 [Regulamentadora 2015]:
 - Esta norma estabelece que são consideradas atividades perigosas aquelas que estão presentes nos anexos da norma.
- Atividades em Espaços Confinados - NR33 [Regulamentadora 2012]:
 - Esta norma tem como objetivo estabelecer requisitos mínimos para identificação de espaços confinados, para monitorar e controlar os riscos existentes.

2.2. Manipulador Robótico Articulado

No estudo da robótica, há o interesse na localização de elementos do robô e objetos no espaço tridimensional. Esses elementos são os elos do manipulador e ferramentas com as quais lidam com os objetos em seu ambiente. Os manipuladores consistem em elos rígidos que são conectados por juntas, as quais permitem o movimento relativo dos elos vizinhos. Essas juntas são geralmente equipadas com sensores de posição, os quais permitem que a posição relativa dos elos vizinhos seja medida. No caso das juntas rotacionais (ou de revolução), tais deslocamentos são chamados ângulos de junta. Alguns manipuladores contêm juntas deslizantes (ou prismáticas), nas quais o deslocamento relativo entre os elos é uma translação, às vezes chamada de deslocamento da junta [Mikell 2011]. Neste artigo, os conceitos serão aplicados a um manipulador como o ilustrado na Figura 1.

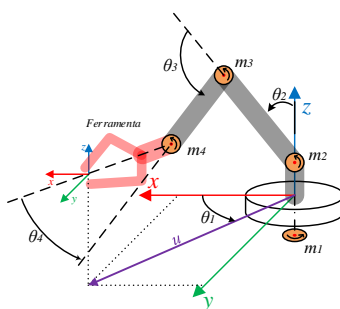


Figura 1. Ilustração do Manipulador Robótico Articulado.

Fonte. Autoria própria.

Os robôs por juntas articuladas, Figura 1, se assemelham muito ao braço humano, uma vez que eles podem possuir várias juntas e graus de liberdade para se movimentar, podendo alcançar locais de difícil acesso para realização de atividades complexas, o que é algo versátil numa indústria.

O manipulador mecânico ilustrado possui quatro elos e quatro juntas. Ao último elo normalmente é conectado um dispositivo denominado efetuador, ilustrado em vermelho como ferramenta na Figura 1. O efetuador é o dispositivo empregado pelo robô para executar determinada tarefa, podendo ser uma máquina para solda, uma garra, uma máquina de pintura, entre outras ferramentas.

2.3. Cinemática Direta e Inversa

Utilizando a cinemática direta, é possível determinar a localização do manipulador robótico em um plano cartesiano, uma vez que as coordenadas articulares do robô são conhecidas. De modo semelhante, utilizando a cinemática inversa, é possível determinar as coordenadas articulares de um braço robótico, uma vez que a localização do manipulador em um plano cartesiano é conhecida. As equações de cinemática inversa em duas dimensões são:

$$X = L_1 \cdot \cos\Theta_1 + L_2 \cdot \cos(\Theta_1 + \Theta_2) + L_3 \cdot \cos(\Theta_1 + \Theta_2 + \Theta_3)$$

$$Y = L_1 \cdot \sin\Theta_1 + L_2 \cdot \sin(\Theta_1 + \Theta_2) + L_3 \cdot \sin(\Theta_1 + \Theta_2 + \Theta_3)$$

$$\phi = (\Theta_1 + \Theta_2 + \Theta_3)$$

Onde as variáveis são:

- Variáveis de entrada:
 - θ_1 : ângulo da junta 1.
 - θ_2 : ângulo da junta 2.
 - θ_3 : ângulo da junta 3.
- Variáveis de saída:
 - X : Deslocamento do ponto no eixo das abcissas.
 - Y : Deslocamento do ponto no eixo das ordenadas.
 - ϕ : Soma dos ângulos dos elos em relação ao eixo das abcissas.
- Constantes utilizadas nas equações descritas na cinemática:
 - L_1 = Comprimento do elo 1.
 - L_2 = Comprimento do elo 2.
 - L_3 = Comprimento do elo 3.

Utilizando essas equações é possível encontrar os ângulos que levam o manipulador robótico até o ponto desejado.

A fim de descrever a posição e a orientação de um corpo no espaço, é comum empregar um sistema de coordenadas (ou sistema de referência). Na Figura 1, são apresentadas as coordenadas x , y e z da junta da base e do efetuador. Definidas as coordenadas, é necessário descrever a posição e orientação desse sistema de referência em relação a algum sistema de coordenadas de referência. Qualquer referencial pode servir como sistema de referência de base pelo qual expressa a posição e a orientação do corpo, de forma que quase sempre é necessário transformar ou mudar a descrição desses atributos do corpo, e um sistema para outro.

Na ciência da cinemática estudam-se grandezas como posição, velocidade, aceleração e todas as derivadas de ordem superior das variáveis de posição (com relação ao tempo ou quaisquer outras variáveis). Portanto, o estudo da cinemática dos manipuladores refere-se a todas as propriedades do movimento, tanto geométricas quanto baseadas no tempo.

Para a representação de um sistema mecânico articulado, utiliza-se cadeias cinemáticas, nas quais para cada elo é atribuído um sistema de coordenadas denominado frame, sendo o primeiro frame atribuído a base fixa do sistema, denominado frame 0, pois a base sendo conectada ao primeiro elo através da primeira junta, exerce o papel do elo de número zero, ou seja, quando a i -ésima junta se movimenta, o elo $i+1$ que se move, não o elo i , juntamente com ele o frame $i+1$ se movimenta, a representação de um ponto no espaço com relação a um frame é obtida através de matrizes de transformações homogêneas. O posicionamento dos frames é fundamental para a modelagem da cinemática.

A existência ou a inexistência de uma solução cinemática define o espaço de trabalho do manipulador. A ausência de uma solução significa que o manipulador não poderá chegar à posição, nem à orientação desejadas, porque está fora do espaço de trabalho do manipulador [Craig 2005].

Um problema comum no estudo da manipulação mecânica é a cinemática direta. Trata-se do problema de geometria estática de computar a posição e a orientação do efetuador do manipulador. Em termos específicos, dado um conjunto de ângulos de junta, o problema da cinemática direta é computar a posição e a orientação do sistema de referência da ferramenta, com relação ao sistema da base. Para o manipulador da Figura 1, a cinemática direta é a obtenção das coordenadas x , y e z do efetuador a partir dos valores dos ângulos θ_1 , θ_2 , θ_3 e θ_4 , dos motores m_1 , m_2 , m_3 e m_4 respectivamente [Spong et al. 2004].

Por outro lado, a cinemática inversa tem como objetivo realizar o cálculo inverso a partir das coordenadas x , y e z do efetuador, obtendo os valores dos ângulos das juntas (θ_1 , θ_2 , θ_3 e θ_4) que levem o efetuador para a posição desejada. O que torna a cinemática inversa complexa é o fato de sua solução não ser unívoca, ou seja, vários conjuntos de ângulos que levam o efetuador para a mesma posição e orientação no espaço.

3. Metodologia

Considerando a base teórica exposta na seção anterior, os conceitos apresentados são aplicados a um sistema, no qual deseja-se desenvolver a cinemática inversa de um manipulador robótico, a partir das coordenadas cartesianas do elemento efetuador. Contudo, as coordenadas x , y e z do efetuador devem ser obtidas via Microsoft Kinect. A Figura ?? ilustra os elementos integrantes do sistema desenvolvido.

O operador do sistema tem sua imagem capturada pelo Microsoft Kinect. As coordenadas das mãos do operador são transferidas do Kinect para uma aplicação desenvolvida na plataforma .NET. Em seguida são aplicados processos para condicionamento dos valores obtidos, para acionamento do manipulador robótico conforme a gesticulação do operador, permitindo a operação do robô remotamente. A seguir são apresentados os procedimentos realizados para a integração de todo o sistema.

3.1. Ajustes no Manipulador Robótico

O manipulador empregado no desenvolvimento do sistema, é um braço robótico com cinco juntas e de característica DIY (*do it yourself*), com finalidade de aplicações entusiastas, apresentando características rudimentares se comparado com manipuladores industriais. Os servomotores utilizados na montagem possuem alcance de movimentação limitado (0° a 180°).

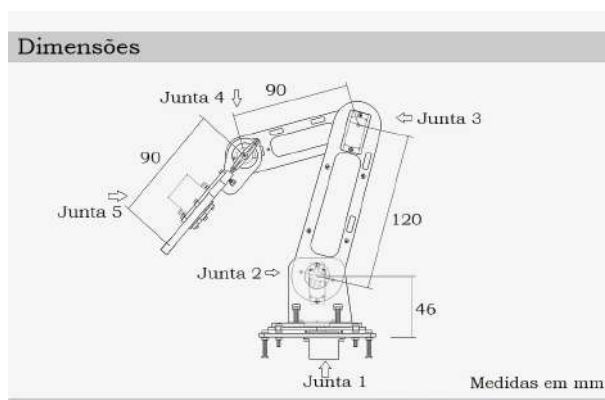


Figura 2. Diagrama do Manipulador Robótico empregado.

Fonte. Autoria própria.

Durante os testes, foi observado que a precisão do ângulo do motor varia em função da posição do servo, para tal foi desenvolvida equação polinomial que pode ser observada em (equação 15). A Figura 3 ilustra o diagrama do manipulador empregado no projeto, destacando as juntas e os elos da estrutura.

Pode-se observar que o manipulador robótico empregado neste estudo possui cinco juntas e quatro elos, sendo a junta 5 responsável pela operação do efetuador e não influenciando no posicionamento. Contudo, foram necessários alguns ajustes para o correto funcionamento do robô.

Para atender os requisitos do projeto, novos componentes foram modelados e, em seguida, foram fabricados por manufatura aditiva, com auxílio de impressora 3D, as medidas foram condizentes ao estipulado em desenho, tendo uma variação inferior a 1 mm.

3.2. Implementação do SDK Kinect

O software de controle foi desenvolvido na plataforma .NET utilizando a IDE (*Integrate Development Environment*) Visual Studio 2019 através da ferramenta *Windows Forms*, programado em linguagem C#, possui integração direta com o SDK do Microsoft Kinect e utilitários para o desenvolvimento da interface gráfica, bem como controle e gerenciamento de comunicação via porta serial, necessária para comunicação com o Arduino. Na Figura 3, pode ser visto o fluxograma do código desenvolvido para operação do Kinect.

3.3. Normalização dos Espaços de Trabalho

Na aplicação desenvolvida, é realizado um processo de normalização entre o espaço de trabalho definido pelo operador e o espaço de trabalho do manipulador robótico. Este processo é necessário devido ao fato de que o espaço de trabalho do manipulador robótico, é menor do que o espaço de trabalho definido pelo operador durante a etapa de sincronismo.

Este espaço de trabalho do manipulador é menor devido as suas dimensões, que serão apresentadas posteriormente. Pelo fato dos eixos coordenados capturados pelo Microsoft Kinect serem diferentes dos eixos do manipulador, é necessário uma transformação do sistema de coordenadas.

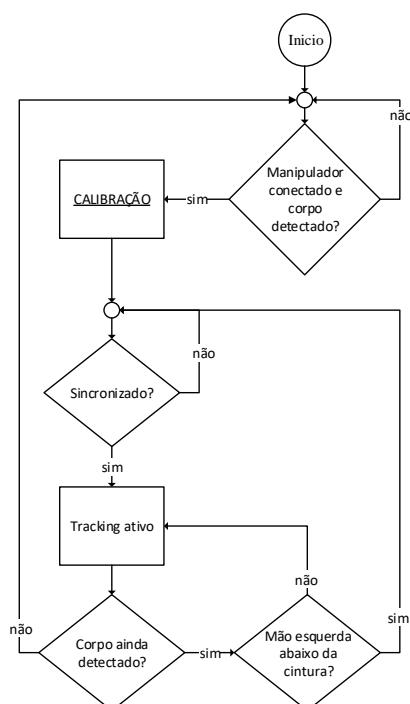


Figura 3. Fluxograma do funcionamento do código da aplicação .NET.

Fonte. Autoria própria.

Assim, dado um ponto no espaço do operador que indica a posição da mão, é feita a rotação dos eixos e logo em seguida a normalização descrita pela equação 1 é aplicada, esta equação é utilizada para cada uma das três coordenadas, assim a transformação de um espaço para outro é realizada. A equação 1 é referente a coordenada x . Para as coordenadas y e z é aplicada a mesma equação, com os limites referentes aos respectivos eixos.

$$x_m = \frac{(x_{1_m} - x_{0_m}) * (x_k - x_{0_k})}{(x_{1_k} - x_{0_k})} + x_{0_m} \quad (1)$$

Onde as variáveis são:

- x_m : coordenada x do manipulador no espaço do manipulador;
- x_k : coordenada x da mão direita do operador no espaço do manipulador;
- x_{1_m} : limite superior do eixo x do espaço do manipulador;
- x_{0_m} : limite inferior do eixo x do espaço do manipulador;
- x_{1_k} : limite superior do eixo x do espaço do operador (Microsoft Kinect);
- x_{0_k} : limite inferior do eixo x do espaço do operador (Microsoft Kinect).

Sendo assim, de posse das coordenadas já normalizadas para o espaço de trabalho do manipulador, o algoritmo de cinemática inversa que será apresentada posteriormente é aplicado, se o ponto indicado pelas coordenadas estiver dentro do alcance do manipulador, ou seja, dentro do espaço de trabalho, a cinemática inversa retorna os ângulos das juntas $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ e θ_4 responsáveis por fazer o efetuador do manipulador atingir o ponto desejado.

Se o ponto desejado não estiver no espaço de trabalho, a cinemática inversa retorna todos os quatro ângulos iguais a 0° , que correspondem a posição neutra, ou de referência, que será ilustrada posteriormente.

Logo após aos ângulos das juntas são adicionados os *offsets*, denominados como θ_i , para a obtenção dos ângulos dos servomotores θ_f . Contudo, os servomotores apresentam um erro de posicionamento. Para a correção deste erro, é aplicada uma equação resultada da regressão polinomial de um conjunto de posições coletados para cada servomotor, os ângulos corrigidos são denominados θ_{fm} . Estes ângulos por sua vez, são enviados para o Arduino através de comunicação serial. O Arduino ao receber os ângulos, realiza o envio para seus respectivos servomotores por sinais PWM *Pulse Width Modulation*. Nesta etapa, a velocidade de movimento dos servomotores é controlada através do envio de posições intermediárias, entre a posição atual do servomotor e a próxima posição desejada, melhorando a estabilidade e suavidade do movimento do manipulador como um todo.

3.4. Cinemática Inversa

O manipulador possuindo quatro graus de liberdade necessita, de no mínimo, quatro variáveis para descrever sua posição no espaço. Foram escolhidas as variáveis de posição linear (x, y, z) e a inclinação da garra em relação ao solo (denominada pela letra g), como pode ser visto na Figura 4. Para que a cinemática inversa possa apresentar apenas uma solução, foi considerado que o ângulo da junta três nunca será negativo, isso implica que o espaço de manipulação do manipulador será reduzido, não permitindo que o mesmo opere objetos atrás de sua base.

As variáveis envolvidas nos cálculos da cinemática direta são:

- Variáveis de entrada:
 - x : coordenada da garra em relação ao eixo x do frame base.
 - y : coordenada da garra em relação ao eixo y do frame base.
 - z : coordenada da garra em relação ao eixo z do frame base.
 - g : ângulo da garra com relação ao solo (*Figura 4*).
- Variáveis de saída:
 - θ_1 : ângulo da junta 1.
 - θ_2 : ângulo da junta 2.
 - θ_3 : ângulo da junta 3.
 - θ_4 : ângulo da junta 4.
- Constantes utilizadas nas equações descritas na cinemática:
 - $L_1 = 46$.
 - $L_2 = 120$.
 - $L_3 = 90$.
 - $L_4 = 90$.

O ângulo θ_1 , que pode ser observado na Figura 4, é dado pela equação 2:

$$\theta_1 = \arctan\left(\frac{y}{x}\right) \quad (2)$$

Para os demais cálculos, o manipulador é considerado planar e toda a sua estrutura no mesmo plano conforme Figura 4, logo a posição do manipulador pode ser descrita

apenas por duas coordenadas neste plano, estas coordenadas são u e z , o ângulo g também não sofre alteração, visto que este plano está perpendicular ao plano da base. O plano no qual o manipulador está localizado é denominado uz e as variáveis de posição são dadas pela coordenada sobre o eixo u , calculada de acordo com a equação 3, pela coordenada z e pela inclinação da garra g .

$$u = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (3)$$

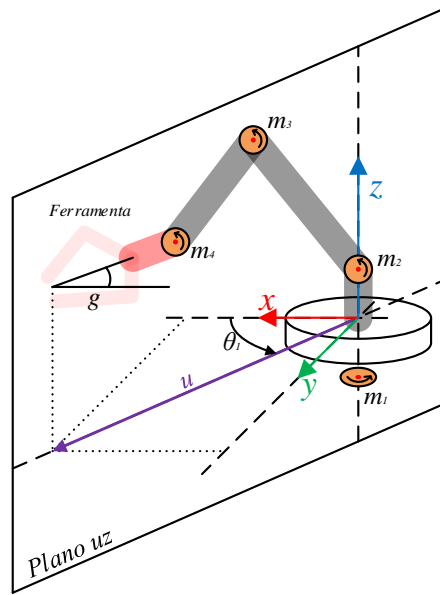


Figura 4. Detalhes de θ_1 , g e do plano uz .
Fonte. Autoria própria.

Através do ângulo g e do tamanho dos elos, as posições das juntas 2 e 4 são calculadas, sendo os vetores \vec{P}_2 e \vec{P}_4 , vistos na Figura 5, conforme as equações 4 e 5.

$$\vec{P}_2 = (0, 46) \quad (4)$$

$$\vec{P}_4 = (u - L_4 * \cos(g), z + L_4 * \sin(g)) \quad (5)$$

Os vetores \vec{P}_2 e \vec{P}_4 são utilizados para calcular o vetor \vec{h} , conforme equação 6.

$$\vec{h} = \vec{P}_2 - \vec{P}_4 \quad (6)$$

O vetor \vec{h} , juntamente com os elos L_2 e L_3 , formam um triângulo observado na Figura 5, com cor roxa, os ângulos internos deste triângulo são denominados θ_{hL_2} , $\theta_{L_2L_3}$ e θ_{hL_3} como pode ser visto na Figura 5. Estes ângulos são calculados utilizando a lei dos cossenos, conforme as equações 7, 8 e 9.

$$\theta_{hL_2} = \arccos \left(\frac{\|\vec{h}\|^2 + L_2^2 - L_3^2}{2 * \|\vec{h}\| * L_2} \right) \quad (7)$$

$$\theta_{L_2L_3} = \arccos \left(\frac{L_2^2 + L_3^2 - \|\vec{h}\|^2}{2 * L_2 * L_3} \right) \quad (8)$$

$$\theta_{hL_3} = \arccos \left(\frac{\|\vec{h}\|^2 + L_3^2 - L_2^2}{2 * \|\vec{h}\| * L_3} \right) \quad (9)$$

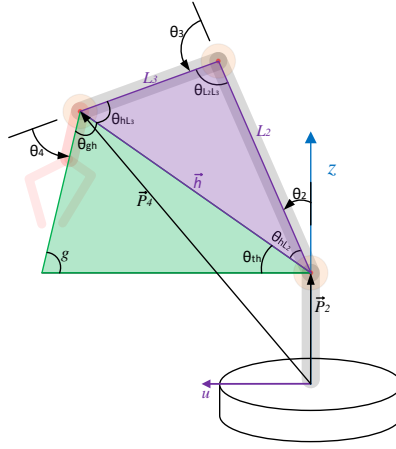


Figura 5. Vetores \vec{P}_2 , \vec{P}_4 e triângulo formado pelas juntas 2, 3 e 4.
Fonte. Autoria própria.

Também é calculado o ângulo θ_{th} que é o ângulo entre o vetor \vec{h} e o plano da base através da equação 10, utilizando a coordenada u do vetor \vec{h} h_u .

$$\theta_{th} = \arccos \left(\frac{h_u}{\|\vec{h}\|} \right) \quad (10)$$

É importante, no cálculo dos ângulos das juntas, observar que os parâmetros angulares calculados até o momento não possuem sentido, logo todos os valores são positivos. Já os ângulos das juntas possuem sentido de giro, portanto podem ser negativos, apenas o ângulo da junta 3 será sempre positivo.

Os ângulos θ_2 e θ_3 são calculados utilizando as equações 11 e 12.

$$\theta_2 = 90 - (\theta_{th} + \theta_{hL_2}) \quad (11)$$

$$\theta_3 = 180 - \theta_{L_2L_3} \quad (12)$$

Na Figura 5, desenhado em verde, está um triângulo formado pelo vetor \vec{h} e que dois de três ângulos internos são conhecidos, sendo g e θ_{th} . O terceiro ângulo denominado

θ_{gh} é facilmente obtido, sabendo-se que a soma dos ângulos internos de um triângulo é igual a 180° , conforme equação 13. Logo, o ângulo θ_4 pode ser obtido através da equação 14.

$$\theta_{gh} = 180 - \theta_{th} - g \quad (13)$$

$$\theta_4 = 180 - \theta_{gh} - \theta_{hL_3} = \theta_{th} + g - \theta_{hL_3} \quad (14)$$

Se a posição desejada da garra se encontrar fora do espaço de trabalho do manipulador, não é possível o cálculo das funções arccos. A verificação é feita através do módulo de \vec{h} , se este valor for maior que $L_2 + L_3$, então não é possível fechar o triângulo roxo, logo a posição é inválida e o algoritmo da cinemática inversa é interrompido.

4. Resultados

Nesta seção serão apresentados os resultados dos procedimentos realizados. Será apresentado o que foi obtido com a integração do Microsoft Kinect e o manipulador robótico quando submetido à cinemática inversa.

4.1. Ajustes no Manipulador Robótico

Os servomotores utilizados nas juntas, possuem um alcance de movimentação limitado (0° a 180°), porém cada junta possui um alcance específico, delimitado por impedimentos físicos, causando assim redução de amplitude de movimento. Essa limitação é contornada via código, feita através da verificação dos ângulos antes do envio deles ao Arduino.

Conforme exposto anteriormente, o manipulador empregado neste estudo possui ângulo de *offset* a serem considerados durante a aplicação da cinemática. Os ângulos iniciais θ_i foram observados para cada uma das juntas m_1 , m_2 e m_3 e m_4 . Desta forma, após a obtenção dos ângulos para alcançar as coordenadas desejadas através da cinemática, deve-se considerar os ângulos θ_i de cada servomotor das juntas.

Além disso, o ângulo final θ_f possui relação com o ângulo θ_{fm} a ser aplicado ao servomotor da respectiva junta. Neste caso, foram levantados pontos experimentais, de forma a identificar os valores a serem escritos em cada servomotor em função da posição final desejada. A Figura 6 ilustra os pontos levantados experimentalmente e a interpolação polinomial de terceiro grau para obtenção do valor de θ_{fm} .

O polinômio encontrado, para relacionar os pontos obtidos experimentalmente, retornam o valor corrigido a ser enviado ao servomotor da junta m_2 é:

$$\theta_{fm_2}(\theta_f) = 8,13^{-6} \cdot \theta_f^3 + 0,0018 \cdot \theta_f^2 + 0,9904 \cdot \theta_f - 7,9932 \quad (15)$$

O mesmo procedimento foi realizado para as juntas m_3 e m_4 , resultando nos gráficos das Figuras 7 e 8.

A fim de suavizar a movimentação do manipulador, a implementação do código no Arduino faz uso de uma biblioteca para controle de servomotores (VarSpeedServo.h) que, além de controlar as posições dos servomotores individualmente, também controla a

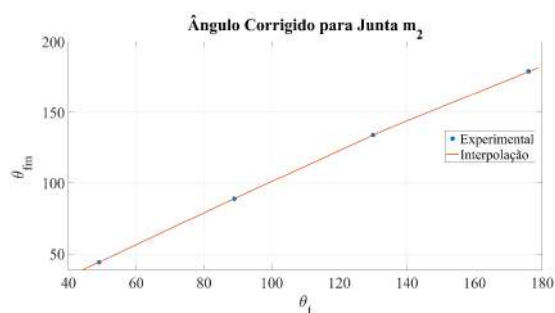


Figura 6. Relação entre o ângulo do servomotor θ_{fm} e a posição final θ_f para o servomotor da junta m_2 .

Fonte. Autoria própria.

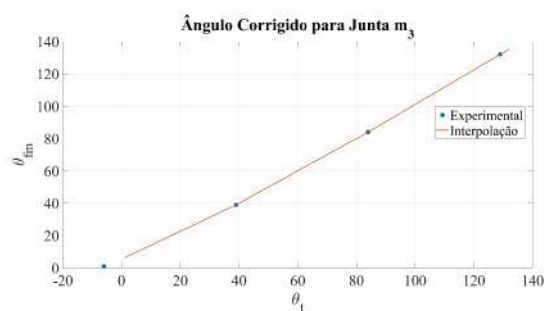


Figura 7. Relação entre o ângulo do servomotor θ_{fm} e a posição final θ_f para o servomotor da junta m_3 .

Fonte. Autoria própria.

velocidade. Desta forma, é possível determinar uma velocidade de movimentação diferente para cada servomotor e diferente da velocidade máxima, que é a única velocidade com que o servomotor se movimenta ao ser escrito nele o valor de posição, já que os servomotores em si não possuem controle de velocidade.

Quando a função de escrita no servomotor é chamada, o argumento a ser passado para ela é a posição final desejada de 0° a 180° e a velocidade de 0 a 255, que equivale de 0 a 100% da velocidade máxima do servo.

4.2. Implementação do SDK e do Microsoft Kinect

A aplicação desenvolvida em .NET utilizando a IDE Visual Studio como descrita anteriormente, foi desenhada e programada ao longo do desenvolvimento de todo o trabalho, as funcionalidades colocadas nela tiveram papel fundamental em todas as etapas do trabalho, principalmente nos testes de posicionamento individual das juntas.

A tela foi dividida em regiões, nas quais os controles e indicadores diversos estão organizados, as regiões, bem como seus controles e indicadores são descritos a seguir:

- Região "*mão direita*": indicadores das coordenadas x , y e z que o Microsoft Kinect coleta da mão direita.
- Região "*calibração*": campos que indicam os limites resultantes da calibração,

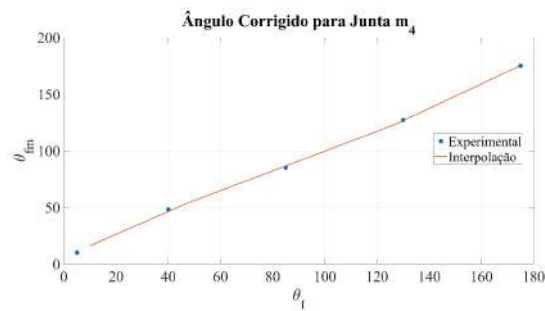


Figura 8. Relação entre o ângulo do servomotor θ_{fm} e a posição final θ_f para o servomotor da junta m_4 .

Fonte. Autoria própria.

estes campos são alterados apenas durante a calibração e mantêm os valores durante toda a operação.

- Região "*Serial*": controles referentes ao gerenciamento da conexão serial com o Arduino.
- Região "*flags de status*": se modificam de acordo com a execução do controle, como ilustrado na Figura 3.
- Região "*Controles individuais do braço em graus*": controles deslizantes que permitem o ajuste manual da posição angular de cada servomotor individualmente.
- Região "*Controles cartesianos*": controles deslizantes são similares aos controles descritos no item anterior, eles controlam diretamente a posição x , y e z do manipulador no espaço de trabalho e a inclinação da garra com relação ao plano da base.

4.3. Validação

Foram realizados testes de validação, para análise de desempenho do braço robótico em relação às coordenadas obtidas através do Kinect, referentes a:

- Tempo de resposta: o atraso entre o movimento do operador e a resposta do braço robótico foi inferior a 200ms, satisfazendo o requisito.
- Posicionamento: foi possível manipular objetos dentro do espaço de trabalho através do braço robótico, podendo alcançar, agarrar, suspender e levar até novo local, atendendo a expectativa.
- Estabilidade: o braço robótico apresentava vibração, devido a baixa precisão dos elos e a baixa estabilidade do robô.

5. Conclusões

O Microsoft Kinect pode ser utilizado para a operação de manipuladores robóticos com algumas restrições, devido a imprecisão de leitura quando os pontos de referência do corpo (mãos, cotovelos, ombros, cabeça, quadril e tronco) que se sobrepõem em frente ao campo de visão do Microsoft Kinect.

A estrutura do manipulador robótico, bem como os servomotores, são a maior fonte de imprecisão no posicionamento e movimentação, logo ela apresenta possibilidades de melhoria, desde remodelagem dos elos e juntas, até a substituição dos servomotores.

O método utilizado para a determinação dos limites dos eixos coordenados do espaço de trabalho do manipulador foi empírico, a sua precisão é satisfatória para a aplicação deste artigo no meio acadêmico, porém para aplicações nas quais o manipulador utilizado é de alta precisão, este método pode ser elaborado de tal forma a obter os limites cartesianos, utilizando o algoritmo da cinemática inversa e o alcance angular das juntas, através de métodos de maximização.

Como trabalho futuro, este projeto será implementado em braço robótico industrial, assim contornando as limitações mecânicas apresentadas durante o projeto.

Referências

- Amatya, S. and Petchartee, S. (2015). Real time kinect based robotic arm manipulation with five degree of freedom. In *2015 Asian Conference on Defence Technology (ACDT)*, pages 1–6. IEEE.
- Craig, J. J. (2005). Introduction to robotics.
- da Fazenda (EAT), M. (2017). Anuário estatístico de acidentes.
- Iqbal, J., Khan, Z. H., and Khalid, A. (2017). Prospects of robotics in food industry. *Food Science and Technology*, 37(2):159–165.
- Lee, W. C., Salam, A. S. A., Ibrahim, M. F., Rahni, A. A. A., and Mohamed, A. Z. (2015). Autonomous industrial tank floor inspection robot. In *2015 IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications (ICSIPA)*, pages 473–475. IEEE.
- Leon-Rodriguez, H., Sattar, T., and Park, J.-O. (2013). Wireless climbing robots for industrial inspection. In *IEEE ISR 2013*, pages 1–4. IEEE.
- Mikell, P. (2011). *Automação industrial e sistemas de manufatura*. Pearson Brasil.
- Parikh, S., Sustarich, M. J., Hulett, R. H., and Reitler, E. (2011). Considering process temperatures when designing electrical heat tracing for hazardous areas. In *2011 Record of Conference Papers Industry Applications Society 58th Annual IEEE Petroleum and Chemical Industry Conference (PCIC)*, pages 1–5. IEEE.
- Regulamentadora, N. (2007). Nr-15: Atividades e operações insalubres. *Brasília: MTE*.
- Regulamentadora, N. (2012). Nr-33: Segurança e saúde nos trabalhos em espaços confinados. *Brasília: MTE*.
- Regulamentadora, N. (2015). Nr-16: Atividades e operações perigosas. *Brasília: MTE*.
- Regulamentadora, N. (2016a). Nr-10: Segurança em instalações e serviços em eletricidade. *Brasília: MTE*.
- Regulamentadora, N. (2016b). Nr-35: Trabalho em altura. *Brasília: MTE*.
- Spong, M. W., Hutchinson, S., and Vidyasagar, M. (2004). Robot dynamics and control second edition.

Srinivasan, K., Harikrishnan, V., Venkatesh, R. V., and Gowtham, S. (2018). Smart monitoring and auto-neutralization of ph of alkaline liquids in process industries. In *2018 2nd International Conference on Smart Sensors and Application (ICSSA)*, pages 99–104. IEEE.

REM-CNC Router - CNC multifuncional Fresa e Laser de baixo custo construída reutilizando equipamentos de informática e lixo eletrônico

Edinaldo Serra Cardoso Júnior¹, Fernando Yoiti Obana², Max Robert Marinho², Lucas Kriesel Sperotto², Sara Moreira da Silva³

¹Bolsista de Iniciação Científica 2019 - Cooperação FAPEMAT/UNEMAT – Campus de Alto Araguaia, MT, Brasil.

²Departamento de Computação, Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT, Alto Araguaia, MT, Brasil.

³Bolsista de Iniciação Científica 2019 - UNEMAT – Campus de Alto Araguaia, MT, Brasil.

edinaldo.junior@unemat.br, obana@unemat.br, max.marinho@unemat.br, sperotto@unemat.br, sara.moreira@unemat.br

Abstract. *This paper describes the process of building a low cost multifunctional CNC machine by reusing recycled materials. Called REM-CNC Router, this CNC machine has the ability to operate two non-simultaneous machine tools, allowing the engraving of images on the surface of materials by means of a laser, and the machining of printed circuit boards, 2D and even 3D parts, depending on the complexity, using a cutter. Built with recycled material, it has a reduced cost becoming a CNC machine with a great cost benefit and production quality and besides cultivating the maker culture, it encourages the reuse of electronic waste and other recycled materials.*

Resumo. *Este trabalho descreve o processo de construção de uma máquina CNC multifuncional de baixo custo reutilizando materiais reciclados. Denominada de REM-CNC Router, essa máquina CNC possui a capacidade de operar duas máquinas-ferramentas não simultâneas, permitindo a gravação de imagens na superfície de materiais por meio de um laser, e a usinagem de placas de circuito impresso, peças em 2D e até mesmo 3D, dependendo da complexidade, utilizando uma fresa. Construída com material reciclado, possui custo reduzido tornando-se uma máquina CNC com um ótimo custo benefício e qualidade de produção e além de cultivar a cultura maker, incentiva a reutilização de lixo eletrônico e outros materiais reciclados.*

1. Introdução

Nas últimas décadas, tem ocorrido um avanço tecnológico crescente que teve como consequência a substituição de máquinas-ferramentas operadas manualmente por máquinas-ferramentas automatizadas. Esse processo acabou originando a tecnologia NC (*Numeric Comands*, ou Comandos Numéricos) por volta de 1949, que posteriormente, progrediu para CNC (*Computer Numerical Comands*, ou Comando Numérico Computadorizado).

A primeira máquina CNC foi desenvolvida no Instituto de Tecnologia Massachusetts (MIT), e somente por volta de 1982, uma década depois de expandir-se nos setores da indústria, popularizou-se entre as empresas de médio porte por conta da introdução de computadores de custo reduzido (LEITE *et al.*, 2017).

Posteriormente denominada de *Computer Numerical Control* ou Controle Numérico Computadorizado, esta tecnologia pode ser definida como um método avançado de automação, que por meio de instruções, permite o controle da movimentação e operação de máquinas-ferramentas, tendo como principais vantagens a eficiência, flexibilidade, redução de custo e tempo, e precisão (VERMA; GIANCHANDANI; SAROHA, 2018).

Com o constante avanço da tecnologia e da economia, surgiram novos requisitos industriais, como aumento da precisão, qualidade, altas taxas de produção e baixos custos que conseguem ser atendidos somente com o uso da tecnologia CNC, por não possuir as limitações humanas e ser capaz de fabricar produtos altamente precisos em escalas nanométricas de maneira muito mais ágil e rápida (JAYACHANDRAIAH *et al.*, 2014).

Atualmente a tecnologia CNC é amplamente utilizada nas indústrias, principalmente na aeronáutica e no automobilismo, aumentando a precisão e qualidade dos produtos e permitindo a fabricação de peças extremamente complexas. Entretanto, essa tecnologia possui um custo muito elevado tornando-se inacessível a maior parte das pessoas. Porém, com o avanço da internet na última década e a popularização da cultura *maker*, diversos projetos em escala menor puderam ser reproduzidos baseados na tecnologia CNC usada nas grandes indústrias, tornando-a acessível e permitindo que estudantes e simpatizantes da tecnologia desenvolvessem seus próprios projetos (DANTAS; JUNIOR, 2016).

Segundo Cardoso Júnior (2019), o problema mais comum no desenvolvimento de sistemas robóticos e de automação, é o alto custo na obtenção de materiais essenciais para a montagem desses sistemas. Uma solução para este problema é a reutilização de materiais eletroeletrônicos, esta prática reduz o custo de aquisição de alguns materiais para zero (CARDOSO JÚNIOR *et al.*, 2019). Além da redução dos custos, a reutilização e reciclagem de eletroeletrônicos, diminui a produção de resíduo eletrônico e reduz impactos no meio ambiente (OBANA *et al.*, 2018).

Com base nesses pontos e com a necessidade da produção de placas de circuito impresso de alta qualidade, usinagem e corte a laser de peças para uso em diversos projetos do LESE (Laboratório de Eletrônica e Sistemas Embarcados), surgiu a motivação para a construção de uma máquina CNC multifuncional de médio porte utilizando materiais reciclados, que recebeu o nome de REM-CNC Router (*Recycled Material-CNC Router*). Essa máquina CNC poderá ser usada tanto como uma *router* CNC quanto como uma *Laser* CNC, permitindo a fabricação de uma gama de produtos com qualidade profissional em menos tempo e com custo reduzido, além de diminuir os impactos ao meio ambiente pelo fato de ser construída reutilizando lixo eletrônico e outros materiais.

2. Metodologia

A principal referência para a montagem da REM-CNC Router, foi o projeto *CNC 2.1 Caseira com Arduino com Trilhos de Gavetas Telescópicas de Baixo Custo de Marlon Nardi Walendorff* sob a Licença *Creative Commons - Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional*, podendo ser acessado no endereço eletrônico <https://www.marlonnardi.com/p/construa-sua-propria-cnc-20-2.html>.

Analisando o projeto de Walendorff (2020) e levando em consideração que a proposta do projeto já era de baixo custo, percebeu-se que haveria uma redução de custos se fossem utilizados materiais reciclados para a construção da máquina CNC. Verma (2018) afirma em seu estudo, que o maior benefício na utilização de material residual de dispositivos eletroeletrônicos na construção de uma máquina CNC, é a relação custo-benefício e a diminuição de custo (VERMA; GIANCHANDANI; SAROHA, 2018).

3. Fundamentação Teórica

3.1. Tipos de máquinas CNC

De acordo com Polastrini (2016), uma máquina CNC é qualquer equipamento eletrônico que guia ferramentas ao longo de trilhos dispostos em um plano de coordenadas cartesianas. Essas máquinas utilizam informações geométricas inseridas em um sistema de coordenadas cartesianas para se movimentar nos eixos, podendo ter como referencial para percorrer as dimensões da peça de forma precisa, a coordenada inicial da peça ou a coordenada inicial de trabalho da máquina (GOBI, 2019).

Esses movimentos consistem na interpretação do arquivo *G-code* pela máquina que pode variar de acordo com a necessidade de uso, como por exemplo, máquina de corte a *laser*, fresadora, *router*, gravadora de circuitos eletrônicos, dentre outras inúmeras aplicações (POLASTRINI, 2016). Tendo em vista os problemas apresentados no Tópico 2, o diferencial da REM-CNC *Router* é a utilização de dois tipos de máquinas CNC integradas em uma única máquina, sendo elas a *router* CNC e a *laser* CNC, permitindo a troca das funções de uma forma simples e compacta.

3.1.1. Router CNC

Uma *router* CNC é projetada para usinar materiais de baixa densidade como madeiras, ligas de alumínio e polímeros, tendo como prioridade tanto a força de tração quanto a velocidade do deslocamento da ferramenta nos eixos do plano cartesiano, podendo variar de acordo com o material a ser trabalhado. Sua forma de trabalho consiste na fixação do material, a ser usinado, em uma mesa, que possui em suas laterais, trilhos fixos que garantem a mobilidade e estabilidade do conjunto de deslocamento do eixo X. Um segundo seguimento de trilhos fica posicionado perpendicular ao eixo X permitindo o deslocamento do eixo Y, onde ficam posicionados trilhos na vertical, garantindo a movimentação do conjunto de ferramentas acopladas ao eixo Z (POLASTRINI, 2016).

3.1.2. Laser CNC

Uma *Laser* CNC possui praticamente as mesmas características de uma *router* CNC, podendo ser diferenciado apenas por não possuir o eixo Z. No lugar de um motor ou micro retifica, é utilizado um módulo de raio *laser* com capacidade para fazer cortes de materiais ou gravações na superfície de contato, a espessura de corte ou profundidade da gravação é determinado pela potência do *laser* refletido sobre o material trabalhado. Normalmente as máquinas *laser* CNC possuem apenas dois eixos de deslocamento, e tem como prioridade a velocidade de deslocamento da ferramenta nos eixos x e y (POLASTRINI, 2016).

3.2. Hardware

O *hardware* é o responsável por fazer o controle do deslocamento dos eixos no plano cartesiano baseado em instruções recebidas por um *software*. Existem diversos tipos de *hardware* capazes de executar essas funções dependendo da necessidade de sua aplicação. Como exemplo, podemos citar os CLP's (Controladores Lógicos Programáveis) que são um sistema de microprocessadores que executam uma função de controle lógico, aritmético, de temporização e sequenciamento, baseado em informações de entrada que permite a manipulação de relés de saída. Amplamente utilizados nas indústrias, os CLP's possuem uma grande variedade de *hardware* que podem ser utilizados em diversas situações, porém por possuir um custo muito elevado, seu uso torna-se inviável em projetos de pequeno e médio porte.

Além dos CLP's existem os Microcontroladores, que são um circuito integrado programável que possuem CPU (*Central Process Unit* ou Unidade Central de Processamento), memória, portas de entrada e saída, dentre outros componentes, possibilitando sua aplicação desde um simples controle remoto a máquinas extremamente complexas.

Um dos microcontroladores mais utilizados na comunidade DIY (*do it yourself*) é o AVR® da Atmel®, que faz parte da composição da placa de prototipagem eletrônica Arduino, sendo muito popular pelo seu baixo custo e a facilidade de aplicação em projetos pequenos e até mesmo mais complexos (PALMIERE, 2016).

As vantagens citadas por Palmiere (2016) tornaram o Arduino a opção mais viável para ser utilizado na construção da REM-CNC Router, por possuir um custo relativamente baixo, *Hardware* e *Software* livre e uma variedade de placas com modelos diferentes que podem ser utilizadas de acordo com a necessidade de cada projeto (CARDOSO JÚNIOR; OBANA, 2018).

3.2.1. Arduino UNO REV3

A placa escolhida para o desenvolvimento do projeto foi a Arduino UNO REV3 com microcontrolador ATmega328P, que possui 14 pinos de entrada e saída digital dos quais 6 são PWN (*Pulse Width Modulation*), 6 entradas analógicas, conexão USB (*Universal Serial Bus*), um conector de alimentação que pode variar de 5V a 12V, um ressoador de cerâmica de 16 MHz (CSTCE16M0V53-R0), um botão de reinicialização e um conector ICSP (ARDUINO UNO REV3 | LOJA OFICIAL DO ARDUINO, 2020).

O Arduino recebe por meio da porta USB o *G-code*, que possui as instruções para realizar o processo de comando da máquina CNC, interpreta o *G-code* e aciona os atuadores que comandam a movimentação da ferramenta nos eixos de movimentação (POLASTRINI, 2016). Além disso, o Arduino possui uma vasta extensão de códigos e bibliotecas prontas que são disponibilizadas por comunidades ligadas a plataforma, podendo ser alteradas por usuários com conhecimento de programação em linguagem de alto nível (GOBI, 2019).

3.2.2. CNC Shield V3

De acordo com Polastrini (2016) uma forma de melhorar o funcionamento, manutenção e evitar erros e falhas em máquinas CNC é a utilização de uma CNC *Shield* em conjunto com o Arduino UNO. Estes *Shields* podem ser facilmente interligadas ao Arduino e expandem a capacidade de conexões, facilitando o uso de *displays* e outros módulos

compatíveis com a placa (POLASTRINI, 2016). O CNC *Shield V3* é um módulo compatível com o Arduino UNO REV3 e possui conexões de entrada e saída para o controle de componentes como, Motor de passo, módulos *Endstops*, *Spindle* e outros. Amplamente utilizado para máquinas CNC e impressoras 3D, o CNC *Shield* é controlado por um *firmware* que fica armazenado na memória do Arduino que é responsável por converter o *G-code* em movimentos mecânicos dos motores de passo conectados ao CNC *Shield* (ANIS; SANTOSA, 2019).

Um dos benefícios de se utilizar o CNC *Shield V3*, é a simplicidade da instalação eletrônica, ele possui encaixes para a conexão direta de até quatro *drivers* de potência e uma entrada de alimentação independente para esses *drivers*, que pode variar de 12V a 35V (POLASTRINI, 2016).

3.2.3. Drivers de potência A4988

Para fazer o controle dos motores de passo de forma que sejam garantidos a precisão, o torque e a velocidade de operação adequada, é de grande importância um bom circuito de acionamento que possua essencialmente uma dupla ponte H para controlar os motores em acionamento bipolar. Cada ponte H é responsável por uma bobina do motor. Esses circuitos são desenvolvidos utilizando transistores do tipo MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*), que são altamente indicados por possuírem frequência de acionamento acima de 500kHz e realizarem o controle, por tensão, da passagem de corrente pelo transistor. Este projeto utilizou o driver A4988, por ser de fácil operação, permitir o controle de motores de passo que possuem acionamento bipolar, e ser construído com MOSFET. É um dos drivers mais utilizados no desenvolvimento de máquinas CNC e impressoras 3D (MOREIRA, 2018).

O driver A4988 possui um sistema ajustável de corrente, permitindo o usuário controlar a saída máxima de corrente por meio de um potenciômetro presente no próprio driver. Com isso é possível ajustar a tensão adequada para o motor alcançar velocidades maiores sem o risco de dano, podendo operar em até cinco níveis de resolução sendo de passo completo, 1/2 passo, 1/4 de passo, 1/8 de passo e 1/16 de passo, além de operar em tensões que variam de 8V a 35V e chavear 1A por fase (MOREIRA, 2018).

3.3. Motor de Passo

Atuadores são dispositivos eletromecânicos que transformam cadeias de pulsos elétricos em energia mecânica, permitindo o movimento rotacional discreto de um eixo podendo ser pequenos incrementos angulares, denominados de passo (MOREIRA, 2018). O motor de passo é formado por um conjunto do qual fazem parte o rotor e o estator, que é composto por pares de bobinas de cobre conectadas e posicionadas em sentido contrário umas das outras, possuindo suas extremidades ligadas aos terminais do motor. Denominadas de fase, cada conjunto de bobinas quando energizadas provocam interações eletromagnéticas no interior do motor, fazendo com que o rotor gire. Para que o giro do rotor possa ser controlado, o motor é alimentado com sequências de pulsos elétricos ordenados em cada uma de suas fases, gerando o movimento angular do rotor que é denominado de passo e determinando o sentido de giro do rotor (POLASTRINI, 2016). Motores de passo possuem alto torque, sincronismo, ângulo de rotação e posicionamento preciso (MOREIRA, 2018).

3.4. Softwares

O *software* é responsável pela interface entre o usuário e a máquina, permitindo o controle e manipulação das ações da mesma por meio de uma interface gráfica intuitiva e de fácil operação (FACHIM, 2013). Além disso, é necessário que esse *software* envie os comandos que serão interpretados pelo *firmware* tornando possível o controle dos atuadores. Esses *softwares* são denominados de CAM (*Computer-Aided Manufacturing*) e são amplamente utilizados pelas máquinas CNC's, fornecendo as instruções que deverão ser seguidas pela máquina para iniciar e concluir o processo de fabricação de um determinado produto. Existem variados tipos de *softwares* CAM *open source* que possuem compatibilidade com Grbl (interpretador de G-code), que podem ser utilizados para fazer o controle e configuração do *G-code* (MOREIRA, 2018).

3.4.1. Firmware Grbl

O *firmware Grbl* é um interpretador de *G-code* criado por *Simen Svale Skogsrud* em 2009, e por ser de código aberto é muito utilizado pela comunidade DIY (FACHIM, 2013). Desenvolvido e otimizado para ser utilizado em conjunto com microcontroladores ATmega328p, é o responsável por controlar os movimentos da máquina. É um *software* livre desenvolvido em linguagem C, possui licença GPLv3, requer *hardware* simples e tem padrões industriais, tornando-se base para máquinas CNC, impressoras 3D e outras máquinas de três eixos (POLASTRINI, 2016).

O papel desempenhado pelo *Grbl* instalado em uma placa Arduino com microcontrolador ATmega328p, é receber, por meio da porta USB (*Universal Serial Bus*), um conjunto de instruções enviadas em *G-code* pelo computador, interpretá-las, e transmitir comandos para os *drivers* de potência e atuadores que transformarão os sinais elétricos em movimentos. O Grbl possui comandos de operação das máquinas-ferramentas como velocidade, liga/desliga e algumas interações durante o processo como pausa e interrupção (MOREIRA, 2018).

3.4.2. G-code

As máquinas CNC seguem uma padronização composta por linhas de instruções denominadas de blocos, que são formadas de palavras que possuem letras e números. Esse padrão denominado de Código G, é definido pela normativa da ISO 6983.1 e é composto por duas categorias básicas de funções, as funções preparatórias (G), cujo papel é indicar para a máquina-ferramenta como ela deve operar deixando-a pronta para executar movimentos, e as funções miscelâneas que são complementares às funções preparatórias e geralmente atuam como chaves programáveis de componentes da máquina, como fusos, motores e outros sistemas auxiliares (REZENDE *et al.*, 2019).

3.4.3. IDE do Arduino

O Arduino pode ser controlado através de um conjunto de instruções enviados para o microcontrolador da placa, por meio da linguagem de programação Arduino baseada em *Wiring* e utilizando o Software Arduino (IDE – *Integrated Development Environment* ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado) baseado em *Processing*. Além de possuir plataforma cruzada, o que permite a execução em diversos sistemas operacionais, a IDE do Arduino é fácil de ser operado permitindo o uso tanto de usuários iniciantes quanto de

usuários avançados, podendo ser expandida por meio de bibliotecas C++ (ARDUINO, 2020).

3.4.4. Universal GcodeSender

Para que o computador e a máquina se comuniquem, é fundamental o uso de um *software* que envie o conjunto de instruções que o *firmware* irá ler e executar. Compatíveis com o Grbl, existem diversos *softwares* que o usuário pode escolher para desempenhar esta função, tais como o *bCNC*, *Easel* e o *Universal GcodeSender*. Desenvolvido em Java sob a licença GPLv3, o *Universal GcodeSender* possui compatibilidade com vários sistemas operacionais como Windows®, Linux e Raspberry, é de fácil configuração e o mais utilizado. O *Universal GcodeSender* apenas faz a leitura do *G-code* e o envia para a máquina CNC, não possuindo suporte para criação ou edição de *G-code* (POLASTRINI, 2016).

3.4.5. LaserGRBL

O *LaserGRBL* é capaz de gerar e transmitir os comandos e trajetória do *G-code* para o Arduino diretamente, o que permite gravar imagens, fotos e logotipos por meio de uma ferramenta de conversão interna que o *software* possui. Sendo diferente de outras GUI (*Graphical User Interface* ou Interface Gráfica do Utilizador ou Usuário), o *LaserGRBL* foi desenvolvido para uso com cortador e gravador *hobbist* a laser, e para que sejam utilizados todos seus recursos, o seu gravador deve fornecer suporte à modulação de potência por meio do comando S. Possui compatibilidade com o *firmware* Grbl v0.9 e Grbl v1.1 e é uma ferramenta de fácil uso e gratuita (LASERGRBL, 2020).

4. Desenvolvimento

Para a construção da máquina CNC, foram utilizadas como base, instruções disponibilizadas por Walendorff (2020) com o título de “Construa sua própria CNC 2.1”, que disponibiliza todas as etapas de montagem desde a estrutura física até a mecânica e eletrônica. Inicialmente foi necessário um levantamento de peças e componentes viáveis que poderiam ser utilizados para execução deste projeto, tendo em vista que o objetivo deste trabalho é reduzir os custos na construção de máquinas CNC reutilizando material reciclado. A aquisição dos componentes mecânicos e eletrônicos necessários se deu por meio do Projeto de Reutilização e Reciclagem de Equipamentos de Informática (OBANA *et al.*, 2018), o que permitiu redução nos custos de construção da máquina CNC. Durante as análises do projeto de Walendorff (2020) e o projeto da REM-CNC *Router* foram realizadas a substituição de alguns materiais e a alteração de algumas estruturas físicas, para aumentar a estabilidade e a área de trabalho da máquina CNC (Figura 1).

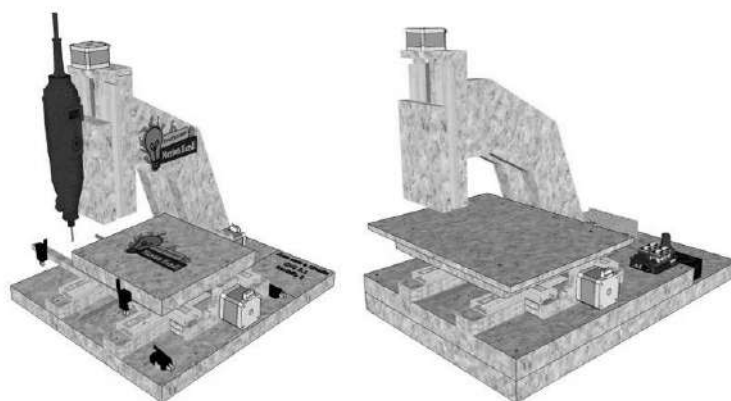


Figura 1. Modelo 3D do projeto original (esquerda), e Modelo 3D da REM-CNC Router (direita).

Fonte: Autor (2020)

Comparando as imagens da Figura 1, percebe-se que houve um aumento no porte da máquina, bem como um aumento da área de trabalho. Tomando como referência as medidas das peças disponíveis por Walendorff (2020), foi adicionada uma base com medidas de 35x55 cm, fabricadas em MDF com espessura de 30 mm para acoplar a Peça 1, também fabricada em MDF com espessura de 30 mm, o que permitiu maior estabilidade durante a operação da máquina. Para que houvesse o aumento da área de trabalho da máquina CNC, foram alteradas as medidas das peças 2, 3 e 4 gerando a necessidade de serem adicionadas novas peças que podem ser analisadas nas (Figura 2).

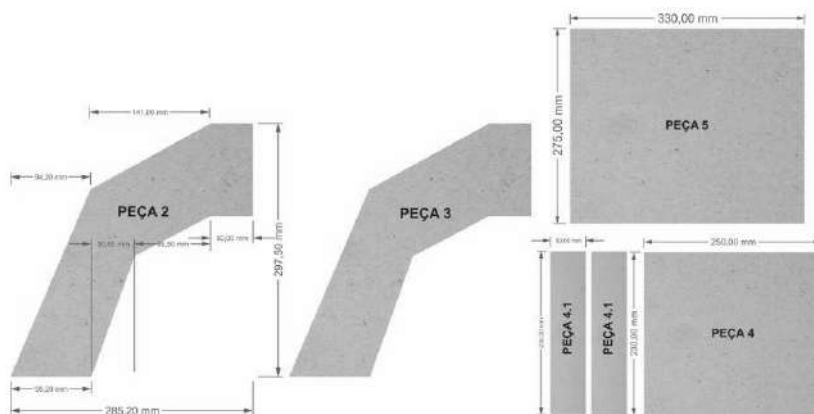


Figura 2. Peças 2, 3 e 4 com novas medidas e novas peças

Fonte: Autor (2020)

Essas alterações foram realizadas por conta da necessidade de uma máquina CNC com uma área de trabalho maior, sendo que o projeto original permitia uma área de trabalho de 200x200 mm e a REM-CNC Router possui uma área de trabalho de 250x250 mm. Além das alterações na parte da estrutura física, foram feitas alterações na parte mecânica visando maior durabilidade. Durante a preparação dos trilhos telescópicos baseado em Walendorff (2020), percebeu-se que haveria um descarte de material metálico proveniente do corte dos trilhos. Devido a este corte, pôde ser feita a substituição da placa de fenolite, utilizada para construir a base que serviria para a movimentação dos eixos X e Y, por essa sobra de material metálico proveniente do corte dos trilhos (Figura 3).

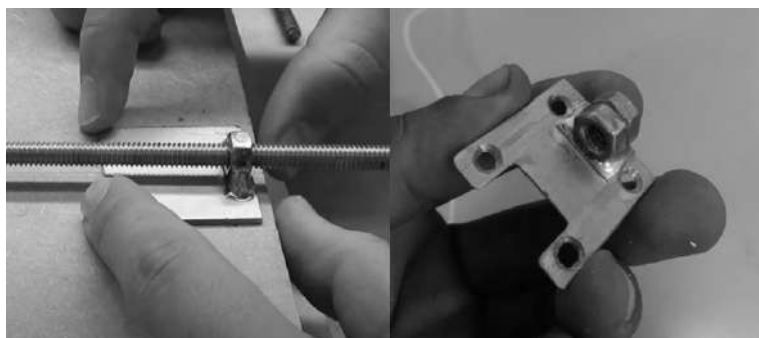


Figura 3. Peça do projeto original feita com placa de fenolite (esquerda), Peça adaptada feita com sobra de trilho telescópico (direita).

Fonte: Autor (2020)

Uma outra alteração feita no projeto original, foi a substituição do Espaguete Termo retrátil utilizado para a junção da barra roscada ao eixo do motor, por uma mangueira para gasolina em silicone, permitindo maior flexibilidade e durabilidade (Figura 4).

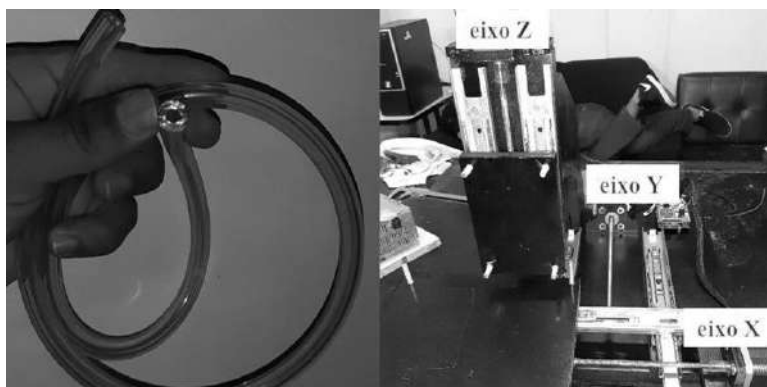


Figura 4. Mangueira para gasolina em silicone (esquerda), Eixos X, Y e Z conectados com a mangueira aos motores (direita).

Fonte: Autor (2020)

Além dessas alterações, foram adicionados em cada canto da peça 6, quatro parafusos sextavados de $\frac{1}{4}$ de polegada para a fixação da máquina-ferramenta a ser utilizada. Essa fixação se deu por meio de porcas borboletas permitindo a troca de tal ferramenta de forma simples e fácil, tendo em vista que a máquina CNC foi construída para ser utilizada com uma fresadora e um laser de forma não paralela. A Figura 5 mostra a forma de acoplamento dos “módulos” de máquinas-ferramentas utilizadas na máquina CNC.

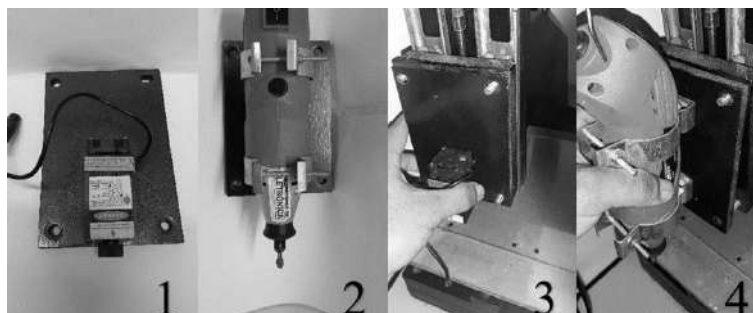


Figura 5. “Módulos” de máquinas-ferramentas (1 e 2), Suporte de encaixe dos módulos (3 e 4).

Fonte: Autor (2020)

4.1. Custos

Mesmo sendo construída reutilizando materiais reciclados, a construção da máquina CNC necessitou de itens que foram obtidos por meio de compras em lojas online e físicas, tendo em vista que antes de serem adquiridas, foi necessária uma pesquisa de mercado visando a escolha do menor custo possível de materiais. Com isso, para demonstrar e validar a viabilidade de redução de custos no uso de materiais reciclados, foi necessário uma análise dos custos empregados por este projeto comparado aos projetos de Walendorff (2020), Moreira (2018) e Dantas; Junior (2016) ilustrados nas Tabela 1, 2, 3 e 4.

Tabela 1. Tabela de custo da CNC de Walendorff (2020).

Itens	Quantidade	Subtotal
Motores de passo NEMA 17 com torque igual ou superior a 2.5kgf.cm.	3	R\$ 226,95
Fonte 12VDC x 5ª	1	R\$ 21,00
Retífica igual ou similar eccofer AR172	1	R\$ 130,00
Fio 0,25 mm de diâmetro. Vai depender de como você montar. (metro)	20	R\$ 4,00
Arduino uno + cabo.	1	R\$ 39,00
CNC Shield V3.0	1	R\$ 25,00
Drive motor de passo A4988	3	R\$ 45,66
Barra roscada 1/4 (metro)	1	R\$ 3,00
Espaguete termo retrátil 9.5 mm de diâmetro (metro)	0,5	R\$ 3,00
Porcas para barra roscada de 1/4	3	R\$ 1,00
Módulo relé para controlar a retífica	1	R\$ 7,65
Chave Fim de Curso (Limit Switch) KW11-7-1 16A 250VAC com Haste 60mm	6	R\$ 20,00
PCI 5 cm x 5 cm	1	R\$ 1,19
VALOR TOTAL DE CUSTO		R\$ 527,45

Tabela 2. Tabela de custo da CNC de Moreira (2018).

Itens	Quantidade	Subtotal
Estrutura Física	1	R\$ 249,00
Micro Retífica AWT Red	1	R\$ 249,00
Raspberry Pi3	1	R\$ 220,00
Fonte de Alimentação (24V 15A)	1	R\$ 80,00
Motores de passo (Usados)	3	R\$ 50,00
Driver A4988	3	R\$ 33,00
Arduino UNO	1	R\$ 25,00
Trilhos Telescópicos	6	R\$ 34,00
Polia Gt2 5mm	1	R\$ 14,90
Polia GT2 6.35mm	1	R\$ 14,90
Correia Gt2 400mm	1	R\$ 14,90
Abraçadeiras metálicas de 50mm de diâmetro	1	R\$ 8,00
Barra de rosca de 1/4	1	R\$ 4,00
Porcas de 1/4	6	R\$ 2,00
Parafusos 60mm x 4mm	2	R\$ 0,40
Parafusos 80mm x 4mm	2	R\$ 0,40
Parafusos 40mm x 4mm	4	R\$ 0,60
Parafusos 14mm x 4mm	25	R\$ 2,50
Acoplador flexível de motor	2	R\$ 29,80
Fresa 60º 0,1mm	1	R\$ 14,90
Placa de fenolite 20cm x 20cm	1	R\$ 12,00
VALOR TOTAL DE CUSTO		R\$ 1.059,30

Tabela 3. Tabela de custo da CNC de Dantas; Junior (2016).

Itens	Quantidade	Subtotal
CNC Shield	1	R\$ 5,23
Driver A4988	3	R\$ 13,26
Motor de Passo NEMA 17	3	R\$ 115,14
Arduino UNO	1	R\$ 12,81
Fonte Chaveada Industrial 60W 12V 5A	1	R\$ 48,30
Barra roscada de 1/4 (metro)	2	R\$ 12,60
Porcas de 1/4	3	R\$ 0,30
Trilho Telescópico Light (par)	3	R\$ 20,10
Micro Retífica	1	R\$ 229,00
Acoplador Sanfonado	3	R\$ 10,92

VALOR TOTAL DE CUSTO	R\$ 467,66
-----------------------------	-------------------

Tabela 4. Tabela de custo do projeto REM-CNC Router, descrito neste trabalho.

Itens	Quantidade	Subtotal
Estrutura Física	1	R\$ 165,00
Arduino UNO REV3	1	R\$ 35,70
CNC Shield	1	R\$ 17,90
Graxa Branca	1	R\$ 5,00
Trilho telescópico 25cm (par)	2	R\$ 60,00
Adesivo Instantâneo 793 TEKBOND	1	R\$ 10,00
Driver A4988	3	R\$ 26,10
Motor de Passo NEMA 17	3	Reciclado
Fonte Bematech Mp20 Fr20 Ft2997 - 24V	1	Reciclado
Módulo Relé	1	Reciclado
Barra Roscada 1/4 (metro)	1	R\$ 2,30
Parafuso madeira 3,5x30mm	8	R\$ 0,80
Parafuso madeira 3x30mm	4	R\$ 0,40
Parafuso madeira 3,5x25mm	2	R\$ 0,20
Parafuso madeira 6x65mm	12	R\$ 6,00
Parafuso madeira 4x20mm	4	R\$ 0,20
Parafuso madeira 3,5x20mm	14	R\$ 0,70
Parafuso madeira 3x16mm	10	R\$ 0,50
Parafuso madeira 4,5x25mm	4	R\$ 0,40
Parafuso Sextavado Zincado UNC 1/4"x1.1/4"	4	R\$ 1,20
Parafuso Sextavado 6x50mm	2	R\$ 0,80
Porca 6mm	2	R\$ 0,10
Porca 1/4	6	R\$ 0,60
Porca Borboleta 1/4	4	R\$ 2,80
Mangueira para gasolina (metro)	1	R\$ 5,00
Abraçadeira Inca Tipo D2	2	R\$ 10,00
VALOR TOTAL DE CUSTO		R\$ 351,70

Com base nos valores mostrados nas Tabelas de custo, podemos notar as diferenças entre os recursos gastos para a construção de um projeto baseado no projeto de Walendorff (2020), tendo em vista que esse valor pode variar conforme o tamanho da área de trabalho, a variação dos tipos de máquinas-ferramentas que serão utilizadas e a forma de uso da máquina CNC.

5. Resultados e Discussões

Após todo o processo de montagem e as alterações para melhoria da máquina CNC, pôde ser obtido uma máquina CNC de baixo custo com parte dos materiais usados provenientes de resíduo eletrônico. Isso permitiu a redução dos custos, em relação ao projeto original que já era de baixo custo, mostrando que há um grande potencial na reutilização de resíduos eletrônicos na construção de máquinas CNC com custo reduzido.

Assim que foi construída, a máquina CNC foi utilizada para fazer placas de circuito impresso e gravações a laser em superfícies de alguns materiais, ilustrados na Figura 6. A REM-CNC Router fez parte de uma exposição no MT Ciências no Sesc em Cuiabá-MT, demonstrando para a comunidade local a importância de reutilização de materiais reciclados para a construção de tais projetos e está sendo utilizada na produção de máscaras protetoras do tipo *Face Shield* para auxiliar no combate ao Covid-19.

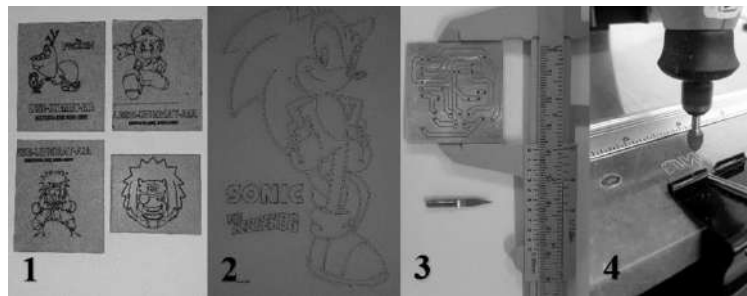


Figura 6. Resultado do uso da CNC (1 e 2 feita a laser) e (3 e 4 feita com fresa).

Fonte: Autor (2020).

Para analisar a precisão da máquina CNC, foram efetuados alguns testes utilizando a ferramenta *laser* e uma placa de MDF em espessura de 3mm. Sabendo que o raio laser acoplado na máquina possui 0,05mm de diâmetro, foram traçadas de 5 à 13 linhas paralelas por milímetro (mm) com 14 mm de comprimento (Figura 7).

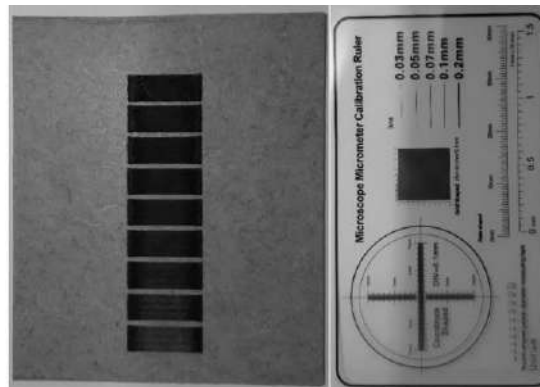


Figura 7. Placa de MDF com retângulos de 5mm x 14mm gravados a laser (esquerda) e régua de escala da câmera microscópica (direita).

Fonte: Autor (2020).

Utilizando uma câmera microscópica, foi possível analisar a resolução e a precisão alcançada pela máquina CNC, sendo que a maior precisão que pôde ser alcançada foi de 50 μm com uma resolução de 100 μm , que pode ser analisada na Figura 8 com a escala baseada na régua (500 μm) da Figura 7.

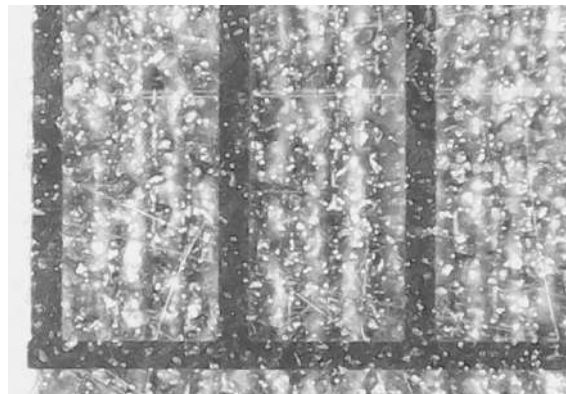


Figura 8. Imagem aumentada da Placa de MDF com retângulos de 5mm x 14mm gravados a laser.

Fonte: Autor (2020).

6. Conclusões

Com base nos custos aplicados neste projeto e os resultados obtidos, podemos afirmar que a REM-CNC *Router* é uma máquina CNC de baixo custo, quando comparada com outras máquinas CNC que desempenham as mesmas funcionalidades. A REM-CNC *Router* possui como principal vantagem a capacidade de operar dois tipos de ferramentas (não simultaneamente) um *Laser*, capaz de fazer gravações na superfície de materiais; e uma Micro retifica, permitindo além da gravação na superfície de materiais, a usinagem de peças 2D e até mesmo 3D. Outra vantagem é a área de trabalho maior quando comparada com as similares encontradas na literatura. A REM-CNC *Router* é uma máquina CNC multifuncional, construída com materiais reciclados, de um custo reduzido e precisão micrométrica, comprovando que o uso desses materiais reduz os custos de produção de máquinas CNC.

7. Referências

- ANIS, Adie; SANTOSA, Irfan. Instrumen Kendali Mesin CNC Portable Berbasis Microcontroller Arduino dan Modul CNC Shield. 2019. **1st Mechanical Engineering Conference** [...]. [S. l.: s. n.], 2019.
- ARDUINO. What is Arduino? 2020. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. Acesso em: 17 ago. 2020.
- ARDUINO UNO REV3 | LOJA OFICIAL DO ARDUINO. 2020. Disponível em: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>. Acesso em: 10 ago. 2020.
- CARDOSO JÚNIOR, Edinaldo Serra; OBANA, Fernando Yoiti; SOUZA, Felipe Carvalho Rodrigues de; NASCIMENTO, Leonardo Xavier do; SPEROTTO, Lucas Kriesel; MARINHO, Max Robert. Floppy Music V2 – um sistema robótico de DEC capaz de reproduzir músicas integrado a um módulo Mixer de Áudio com Pré-amplificação. 2019. **Anais do Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão**. Disponível em: <https://eventos.ifmt.edu.br/publicacao/569/>. Acesso em: 8 ago. 2020.
- DANTAS, Marcus Paulo Soares; JUNIOR, Orivaldo Vieira De Santana. Fresadora CNC de baixo custo-SUSY. **Trabalho apresentado na Mostra Nacional de Robótica (MNR)**, 2016.
- FACHIM, Alan. Projeto de fresadora CNC com plataforma livre Arduino. 2013.
- GOBI, Nathan. **Desenvolvimento de protótipo de máquina CNC de baixo custo para processos de corte e gravação em micro e pequenas empresas**. 2019. B.S. thesis – 2019.
- JAYACHANDRAIAH, B.; KRISHNA, O. Vamsi; KHAN, P. Abdullah; REDDY, R. Ananda. Fabrication of low cost 3-Axis CNC router. **International Journal of Engineering Science Invention**, v. 3, n. 6, p. 1–10, 2014. .

LASERGRBL. **LaserGRBL - Gravação a laser gratuita**. 2020. Disponível em: <http://lasergrbl.com/>. Acesso em: 19 ago. 2020.

LEITE, Josicleudo R.; LEITE, Josileudo R.; SANTOS¹, Josiel L.; MACÊDO, Christiane B.; BAIER, Pablo AS; DO NORTE, Limoeiro. **DESENVOLVIMENTO DE UM CNC DE PEQUENO PORTE. Reunião Regional da SBPC no Cariri - URCA - Cariri/CE, 2017.** .

MOREIRA, Divino Luiz Barbosa. **Construção de uma fresa de controle numérico computadorizado para placas de circuito impresso**. 2018. .

OBANA, Fernando Yoiti; SPEROTTO, Lucas Kriesel; MARINHO, Max Robert; DOS SANTOS, Raiane Talissa. **REUTILIZAÇÃO E RECICLAGEM DE EQUIPAMENTOS DE INFORMÁTICA EM UMA CIDADE DE PEQUENO PORTE. Revista Compartilhar-Reitoria**, v. 3, n. 1, p. 63–69, 2018. .

PALMIERE, Sérgio Eduardo. **CLP versus Microcontrolador - Embarcados**. 11 fev. 2016. **Embarcados - Sua fonte de informações sobre Sistemas Embarcados**. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/clp-versus-microcontrolador/>. Acesso em: 10 ago. 2020.

POLASTRINI, HF. **Desenvolvimento de uma Máquina Cnc de Baixo Custo com Software e Hardware Abertos. Relatório (Graduando em Engenharia Elétrica), Instituto Federal de Minas Gerais, 2016.** .

REZENDE, Henrique B; BASTOS, Maria Eduarda S; LANES, Matusalém M; PIRES, Anderson G. **FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA CONTROLE DE MÁQUINAS CNC.** , p. 8, 2019. .

VERMA, Kushal; GIANCHANDANI, Ishita; SAROHA, Sumit. **Efficient Use of Electronic Waste for CNC Machine. International Journal of Computer Applications**, v. 975, p. 8887, 2018. .

WALENDORFF, Marlon Nadi. **Construa sua própria CNC 2.1**. 2020. Disponível em: <https://www.marlonnardi.com/p/construa-sua-propria-cnc-20-2.html>. Acesso em: 7 ago. 2020.

Aplicação de Algoritmos Bioinspirados à Otimização da Estimação da Direção de Chegada

Adílio A. S. Neto¹, Kátia C. C. Fernandes¹, Daniel X. Sousa¹
Jonas A. Kunzler², Rodrigo P. Lemos², Hugo V. L. Silva¹

¹Instituto Federal de Goiás (IFG)
Anápolis/GO, Brazil

²Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação
Universidade Federal de Goiás (UFG)
Goiânia/GO, Brazil

adilio.alves13@gmail.com

{katia.fernandes, daniel.sousa, hugo.vinicius}@ifg.edu.br

{k_jonasaugusto, lemos}@ufg.br

Abstract. *This paper presents faster implementations of bioinspired algorithms for estimating the direction-of-arrival of impinging signals on a linear array of sensors. Experimental results show a significant reduction on their runtime, while they present a robust estimation performance even for low signal-to-noise ratios.*

Resumo. *Este trabalho apresenta implementações rápidas de algoritmos bioinspirados para a estimação da direção de chegada de sinais incidindo em um arranjo linear de sensores. Resultados experimentais mostram uma significativa redução no tempo de execução dispendido por eles, porém, ainda apresentando um robusto desempenho de estimação mesmo em baixas relações sinal-ruído.*

1. Introdução

Com o objetivo de utilizar o espectro eletromagnético da maneira mais eficiente possível, a telefonia celular utiliza diversas técnicas de múltiplo acesso, como tipos distintos de codificação, modulação e multiplexação nos domínios do tempo e da frequência [Chen et al. 2020]. Para aumentar ainda mais a eficiência espectral, é imprescindível o uso de tecnologias como o *Multiple-Input Multiple-Output* (MIMO), uma vez que as redes de quinta geração (5G) de telefonia celular são projetadas para atender a um grande número de usuários com alta vazão de dados, baixa latência e alta disponibilidade [National Instruments 2018].

Para que isso seja possível, é necessário utilizar técnicas de diversidade espacial, como a conformação de feixes (*beamforming*) utilizando um arranjo de sensores. Assim, as Estações Rádio Base (ERBs) são capazes de alterar dinamicamente a área de cobertura de forma a diminuir a incidência de ruído, interferência e outros aspectos relativos à transmissão sem fio [Liberti and Rappaport 1999]. Portanto, arranjos de sensores são capazes de transmitir/receber sinais de/para um ponto específico [Krishnaveni et al. 2013], permitindo aprimorar a qualidade do enlace entre a ERB e o dispositivo móvel.

Porém, é necessário conhecer *a priori* os ângulos das direções de chegada (*Direction-of-Arrival* ou DOA) das fontes de sinais para que o *beamforming* ocorra. A partir desse parâmetro, a ERB ajusta seu padrão de irradiação, direcionando-o para a posição indicada pelo ângulo DOA. Dessa forma, os sinais na direção do feixe de irradiação têm sua recepção favorecida, enquanto outros sinais são atenuados.

Um estimador DOA ideal deve possuir alta resolução, ou seja, ele deve ser capaz de distinguir os ângulos DOA de fontes de sinais espacialmente próximas, mas não desconsiderando a situação de fontes espacialmente afastadas. Ainda, é importante ter um baixo esforço computacional, uma vez que a ERB deve se reajustar continuamente às condições de propagação, demandando resultados em baixa latência. Como referência, uma ERB usada em rede WiMAX móvel com um arranjo linear uniforme (*Uniform Linear Array* ou ULA) contendo oito sensores é recalibrada a cada cinco milissegundos [Fujitsu and Cisco 2008].

Um estimador DOA tratado na literatura é o Estimador de Máxima-Verossimilhança (*Maximum Likelihood Estimator* ou MLE). Ele possui um robusto desempenho de estimação, atingindo o Limite de Cramér-Rao (*Cramér-Rao Bound* ou CRB) quando o número de sensores e/ou o valor de SNR (*Sinal-to-Noise Ratio* ou Relação Sinal-Ruído) são suficientemente grandes [Stoica and Nehorai 1990]. Porém, esse estimador produz o resultado através de um processo de minimização de uma função multidimensional e altamente não-linear, possuindo alto esforço computacional [Li and Lu 2007].

O MODE (*Method of Direction Estimation*) [Stoica and Sharman 1990] é um exemplo de estimador que evita a busca multidimensional, mas ele não oferece um bom desempenho de estimação quando a SNR ou a quantidade de amostras do sinal assumem valores menores. Adicionalmente, o MODEX (*MODE with Extra Roots*) [Gershman and Stoica 1999] e outros estimadores posteriormente propostos na literatura exigem um processo de minimização de ordem exponencial ou combinatorial, limitando-o à estimação DOA de um pequeno número de fontes de sinal.

Por outro lado, o uso de algoritmos bioinspirados como o Algoritmo Genético (AG), a Otimização por Enxame de Partículas (*Particle Swarm Optimization* ou PSO) e a Evolução Diferencial (ED) é comum em problemas de otimização. [Boccatto et al. 2012] mostra que o PSO e o ED podem chegar bem próximo das estimativas DOA desejadas quando há um número suficiente de avaliações da função objetivo, melhor do que o MODE e o MODEX na condição avaliada. Contudo, o esforço computacional deles é significativamente maior.

Assim, em [Boccatto et al. 2013], os autores utilizaram uma técnica de filtragem espacial dos sinais de entrada proposta em [Krummenauer et al. 2010] de duas maneiras. A primeira é a redução do ruído presente no sinal de entrada, proporcionando um desempenho mais robusto de estimação DOA no cenário avaliado, com uma significativa redução no erro de estimação em baixos valores de SNR. A segunda, mais inovadora, utiliza a informação presente na transformada de Fourier desse filtro espacial como a função densidade de probabilidade para gerar a população inicial de partículas do processo bioinspirado de otimização. Isso permite reduzir significativamente o número de avaliações da função objetivo quando comparado a um processo de geração de partículas utilizando uma distribuição uniforme.

Entretanto, os resultados apresentados em [Boccatto et al. 2013] consideraram apenas o CLONALG (*Clonal Selection Algorithm*) proposto em [de Castro and Von Zuben 2002]. Ainda, o filtro espacial proposto em [Krummenauer et al. 2010] foi analisado em [Lemos et al. 2016] e constatou-se que, embora favoreça a situação de fontes de sinal espacialmente próximas, ele pode *deteriorar* os sinais de fontes de sinal espacialmente afastadas, aumentando significativamente o erro de estimação nessa situação não abordada. Por fim, assim como esse filtro espacial, o espectro diferencial [Ferreira and Lemos 2005] indica regiões onde provavelmente existem fontes de sinal, mas com uma resolução sensivelmente maior.

Portanto, o objetivo deste trabalho é avaliar o AG, o PSO e o ED considerando fontes de sinal espacialmente próximas e afastadas, com a aplicação de um filtro espacial mais adequado à estimação DOA e independente do espaçamento entre as fontes de sinal. Durante a geração da população inicial de partículas, o espectro diferencial é aplicado como a função densidade de probabilidade para aprimorar os processos bioinspirados de otimização. Isso permite o seu bom funcionamento mesmo com uma quantidade bem reduzida de partículas, diminuindo o esforço computacional.

2. Fundamentação Teórica

Considere M sinais de campo distante e de faixa estreita incidindo nos ângulos DOA θ_m , $m = 1, \dots, M$, em uma ULA composta por K sensores espaçados em meio comprimento de onda, com $K > M$. O conjunto das N amostras (ou *snapshots*) do sinal ruidoso é modelado como [Gershman and Stoica 1999]:

$$\mathbf{y}(n) = \mathbf{A}\mathbf{s}(n) + \mathbf{n}(n), \quad (1)$$

para $n = 1, \dots, N$, onde $\mathbf{y}(n) \in \mathbb{C}^{K \times 1}$ é o vetor dos dados ruidosos; $\mathbf{s}(n)$ e $\mathbf{n}(n) \in \mathbb{C}^{K \times 1}$ são respectivamente os vetores de sinal e de ruído branco aditivo considerando o modelo de sinal incondicional [Stoica and Nehorai 1990]; $\mathbf{A} = [\mathbf{a}(\omega_1), \dots, \mathbf{a}(\omega_M)]$ é a matriz $K \times M$ dos vetores de direção $\mathbf{a}(\omega_m) = [1, e^{-j\omega_m}, \dots, e^{-j(K-1)\omega_m}]^T$ para cada uma das M frequências $\omega_m = \pi \sin \theta_m$.

A matriz de covariância espacial \mathbf{R} , calculada a partir dos dados ruidosos, é dada por $\mathbf{R} = \mathbf{A}\mathbf{C}\mathbf{A}^H + \sigma^2\mathbf{I}$, onde \mathbf{I} é a matriz identidade; $(\cdot)^H$ é o operador conjugado-transposto; σ^2 é a potência desconhecida de ruído. Como este trabalho considera fontes de sinais descorrelacionados, $\mathbf{C} = \mathbf{I}$. \mathbf{R} pode ser estimada e decomposta em autovalores e autovetores como [Lopes et al. 2003]:

$$\hat{\mathbf{R}} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \mathbf{y}(n)\mathbf{y}^H(n) \quad (2)$$

$$= \sum_{k=1}^K \hat{\lambda}_k \hat{\mathbf{e}}_k \hat{\mathbf{e}}_k^H, \quad (3)$$

onde $\hat{\lambda}_k$ é cada um dos K autovalores de $\hat{\mathbf{R}}$ em ordem decrescente de magnitude e $\hat{\mathbf{e}}_k$ são os autovetores correspondentes. Os primeiros $\bar{M} = \min[M, \text{posto}(\mathbf{C})]$ autovalores, em

conjunto com $\hat{e}_1, \dots, \hat{e}_{\bar{M}}$, abrangem o subespaço de sinal, enquanto os $(K - \bar{M})$ autovalores e autovetores remanescentes abrangem o subespaço de ruído [Li and Vaccaro 1991].

O MLE, por sua vez, estima o vetor de parâmetros $\hat{\omega}$ contendo o ângulo DOA de cada fonte de sinal ao minimizar a seguinte função objetivo:

$$\hat{\omega} = \arg \min_{\Omega} \text{tr}\{[\mathbf{I} - \hat{\mathbf{A}}(\hat{\mathbf{A}}^H \hat{\mathbf{A}})^{-1} \hat{\mathbf{A}}^H] \hat{\mathbf{R}}\}, \quad (4)$$

onde $\hat{\mathbf{A}}$ é a matriz de vetores de direção para cada M -tupla na matriz Ω de soluções candidatas.

O problema de otimização apresentado na Eq. (4) possui M dimensões, é altamente não-linear e multimodal [Li and Lu 2007], exigindo um processo de busca pelo ponto ótimo com esforço computacional de ordem exponencial. Por esse motivo, esse processo não é considerado um algoritmo eficiente [Carvalho et al. 2001]. A Figura 1 ilustra o espaço de soluções do MLE considerando uma ULA formada por $K = 10$ sensores amostrando $N = 100$ *snapshots* dos sinais de $M = 2$ fontes com ângulos DOA $\theta_1 = 10^\circ$ e $\theta_2 = 15^\circ$, uma situação onde as fontes de sinal estão espacialmente próximas.

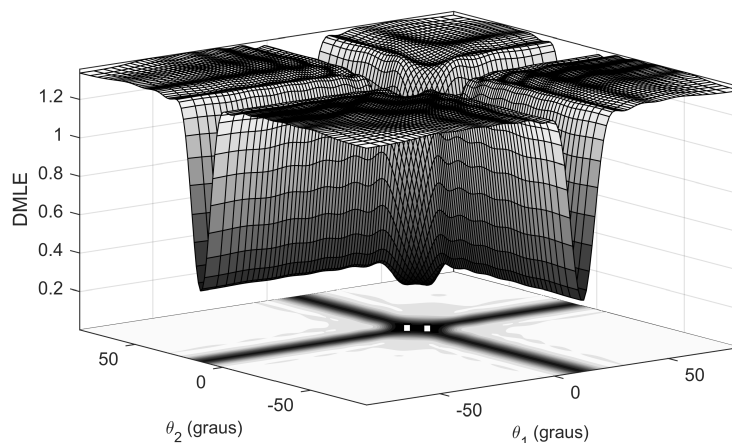


Figura 1. Espaço de soluções do estimador de máxima-verossimilhança apresentado na Eq. (4) para fontes de sinal com ângulos DOA 10° e 15° .

Na Figura 1, é possível observar que o problema de estimação DOA é um problema de minimização, uma vez que o ponto ótimo é um mínimo global cujas coordenadas são os ângulos DOA das fontes de sinal. É importante ressaltar que existe simetria no espaço de soluções e, por isso, a solução da Eq. (4) é qualquer um dos dois pontos ótimos indicados na parte inferior dessa figura.

Porém, o MLE divide o espaço de medida em subespaços de sinal e de ruído [Hawkes et al. 2001], causando uma descontinuidade nas estimativas dos parâmetros. Dessa forma, quando ou o número de *snapshots* ou o valor de SNR diminuem até atingir um valor crítico, o MLE apresenta o *efeito de limiar* [Gershman and Stoica 1999]. Esse efeito é caracterizado por um rápido aumento no erro de estimação causado pelo deslocamento do mínimo global [Krummenauer et al. 2010]. Quando isso ocorre, o estimador não fornece resultados confiáveis de maneira consistente, uma vez que o erro de estimação

pode ser muito alto. Este trabalho considera o número de *snapshots* fixo. Assim, a *SNR de limiar* é o ponto crítico que a partir do qual o efeito de limiar aparece.

Diante disso, [Krummenauer et al. 2010] propôs o uso do máximo autofiltro espacial para maximizar a SNR do sinal amostrado pelo arranjo de sensores [Haykin 2001, Forster and Vezzosi 1987]. O objetivo dessa alteração é reduzir a influência do ruído no processo de máxima-verossimilhança apresentado na Eq. (4), produzindo a seguinte equação:

$$\tilde{\omega} = \arg \min_{\Omega} \text{tr}\{\mathbf{I} - \tilde{\mathbf{A}}(\tilde{\mathbf{A}}^H \tilde{\mathbf{A}})^{-1} \tilde{\mathbf{A}}^H \tilde{\mathbf{R}}\}, \quad (5)$$

onde $\tilde{\mathbf{A}} = \mathbf{H}\hat{\mathbf{A}}$, $\tilde{\mathbf{R}} = \mathbf{H}\hat{\mathbf{R}}\mathbf{H}^H$ e $\mathbf{H} \in \mathbb{C}^{(K+L) \times K}$ é a seguinte matriz de convolução do filtro:

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_L & \cdots & h_1 & h_0 & & \mathbf{0} \\ & \ddots & & \ddots & \ddots & \\ \mathbf{0} & & h_L & \cdots & h_1 & h_0 \end{bmatrix}^H, \quad (6)$$

de tal forma que $\mathbf{h} = [h_0 \cdots h_L]$ corresponde aos coeficientes de um filtro espacial de ordem $0 < L < K$.

3. Aplicação de algoritmos bioinspirados na estimação DOA

O processo de minimização da Eq. (5) pode ser realizada de diversas maneiras. Uma delas é o *grid search*, mas ele é computacionalmente inviável, visto que o espaço de soluções tem crescimento exponencial em função do número de fontes de sinal. Assim, é desejável que se utilizem alternativas mais eficientes para a busca do mínimo global. Uma das alternativas são os algoritmos otimizadores globais bioinspirados [Pappa 2015], como o AG, o PSO e o ED.

Esses algoritmos podem ser usados para resolver problemas complexos [Pappa 2015] e multimodais mesmo que não haja um profundo conhecimento a respeito deles. Além disso, o AG foi primeiramente aplicado à estimação DOA [Starer 1990], enquanto o PSO [Kennedy and Eberhart 1995] e o ED [Storn and Price 1997], cada um com suas estratégias diferentes para varrer o espaço de soluções, foram avaliados nesse mesmo contexto em [Boccatto et al. 2012].

Esses algoritmos bioinspirados, diferentemente do *grid search*, escolhem aleatoriamente pontos de avaliação da função objetivo no espaço de soluções. Isso permite diminuir o esforço computacional dispendido. Contudo, os hiperparâmetros devem ser escolhidos apropriadamente para cobrir de maneira suficiente o espaço de soluções, uma vez que a convergência global desses algoritmos não é garantida. Ainda assim, mesmo que haja convergência global, eles não garantem a solução ótima e, sim, uma solução quase-ótima, já que a convergência local desses algoritmos normalmente é lenta [Starer 1990, Pappa 2015].

Adicionalmente, sem algum conhecimento *a priori* do problema, o processo de geração da população inicial de partículas comumente é um processo estocástico utilizando uma distribuição uniforme. Contudo, como pode-se observar na Figura 1, a solução do problema de estimação DOA está em uma pequena região no espaço de soluções.

Consequentemente, avaliar a função objetivo em uma quantidade suficiente de pontos aleatórios distribuídos uniformemente implica em um alto esforço computacional.

Assim, este trabalho avalia esses algoritmos bioinspirados no contexto da estimação DOA, adotando uma estratégia semelhante à utilizada em [Boccatto et al. 2013], mas aplicada ao AG, PSO e ED.

Com o intuito de reduzir a influência do ruído na estimação DOA, é utilizada a Eq. (5) como função objetivo, assim como foi realizado em [Boccatto et al. 2013], porém, utilizando outro filtro espacial. Isso se deve ao fato de que, embora o máximo autofiltro espacial utilizado naquele trabalho tenha reduzido significativamente a SNR de limiar em condições como fontes espacialmente próximas, ele se mostrou inadequado para a estimação DOA em outras circunstâncias [Lemos et al. 2016].

Um exemplo pode ser visto na Figura 2, que ilustra respostas em amplitude de 100 realizações independentes do máximo autofiltro espacial na ausência completa de ruído, apresentadas em preto, e no valor de SNR de -10 dB (decibéis), ilustradas em cinza. Consideram-se os mesmos parâmetros usados para a Figura 1, porém, com fontes de sinal espacialmente afastadas, com ângulos DOA $\theta_1 = 10^\circ$ e $\theta_2 = 45^\circ$.

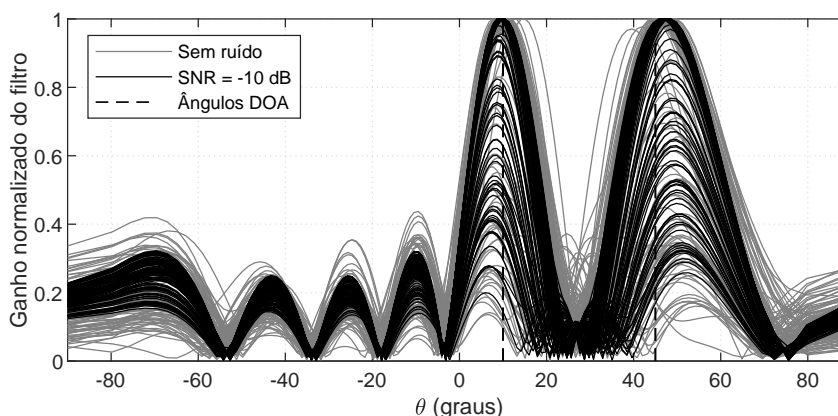


Figura 2. Respostas em amplitude de 100 realizações independentes do máximo autofiltro espacial na ausência de ruído (em preto) no valor de SNR de -10 dB (em cinza) para fontes de sinal com ângulos DOA 10° e 45° .

Na Figura 2 é possível observar que existe uma severa atenuação dos sinais dessas fontes, com os seus respectivos ângulos DOA indicados por duas linhas tracejadas verticalmente. Essa atenuação ocorre *mesmo* na ausência completa de ruído, produzindo um significativo aumento no erro de estimação e na SNR de limiar. Uma avaliação mais completa sobre a relação entre o erro da estimação DOA utilizando o máximo autofiltro espacial e o afastamento das fontes de sinal pode ser encontrada em [Lemos et al. 2016].

Em vez disso, o filtro espacial utilizado nas implementações propostas neste trabalho é calculado a partir do espectro diferencial [Ferreira and Lemos 2005]. Esse espectro apresenta picos significativamente maiores na vizinhança dos ângulos DOA das fontes de sinal mesmo para valores muito baixos de SNR, como mostrado na Figura 3.

Pode-se observar na Figura 3 que há picos proeminentes na vizinhança dos ângulos DOA das fontes de sinal mesmo no valor de SNR de -10 dB, diferentemente do máximo autofiltro espacial, que nem sempre produz bandas de passagem que envol-

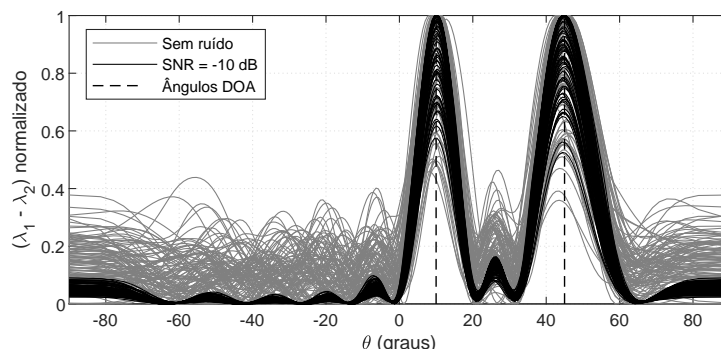


Figura 3. Realização de 100 cálculos independentes do espectro diferencial na ausência de ruído (em preto) e no valor de SNR de -10 dB (em cinza) para fontes de sinal com ângulos DOA 10° e 45°.

vem os ângulos DOA de todas as fontes de sinal espacialmente afastadas.

Dessa forma, o espectro diferencial pode ser tido como a resposta em amplitude de um filtro e, portanto, é amostrado como se estivesse no domínio da frequência. Assim, a sua resposta impulsiva, ou, em outras palavras, o vetor de coeficientes \mathbf{h} , é calculada a partir da transformada inversa de Fourier. Como esse filtro precisa apenas estimar as bandas de passagem que envolvem os ângulos DOA das fontes de sinal, ele tolera uma resolução menor [Lemos et al. 2016], permitindo adotar uma pequena quantidade de amostras do espectro diferencial. Neste trabalho foram consideradas 32 amostras, em vez das 181 amostras utilizadas na Figura 3, para calcular um filtro de ordem $L = 9$, a mesma para o máximo autofiltro espacial em [Boccatto et al. 2013].

Adicionalmente, [Boccatto et al. 2013] utiliza a resposta em amplitude do máximo autofiltro espacial também como a função densidade de probabilidade do processo aleatório de geração da população inicial de partículas. Isso permite reduzir significativamente o número de avaliações da função objetivo quando comparado a um processo de geração de partículas utilizando uma distribuição uniforme.

Porém, como já ilustrado na Figura 2, o máximo autofiltro não se mostrou adequado para a estimação DOA em situação de fontes espacialmente afastadas. Nesse contexto, este trabalho utiliza uma variação dessa estratégia. Em vez de calcular a resposta em amplitude do máximo autofiltro espacial utilizando a transformada de Fourier, usou-se o próprio espectro diferencial. Adicionalmente, como esse espectro pode ter a resolução de varredura ajustada, os picos são sensivelmente mais estreitos, trazendo vantagens no posicionamento das partículas, uma vez que elas podem estar mais próximas do mínimo global.

Por fim, este trabalho adotou uma estratégia de pré-seleção para a redução do número de partículas utilizadas pelos algoritmos bioinspirados. Isso foi feito ao considerar apenas o subconjunto das G melhores partículas dentre a população das J partículas iniciais, com $G < J$, para diminuir o esforço computacional. Efetivamente, o AG, PSO e ED utilizam apenas G partículas no processo iterativo de otimização.

Após todas essas alterações, o que se tem é um número muito reduzido de avaliações da função objetivo. Ainda, várias partículas estão próximas do mínimo glo-

bal, permitindo que os algoritmos bioinspirados converjam rapidamente. Esse resultado é ilustrado nas Figuras 4a e 4b, que apresentam as partículas criadas antes de se iniciar o processo iterativo de otimização do AG, PSO e ED e o espaço de soluções representado pela Eq. (5). Além disso, consideram-se, respectivamente, fontes de sinal espacialmente próximas e afastadas e o valor de SNR de -10 dB.

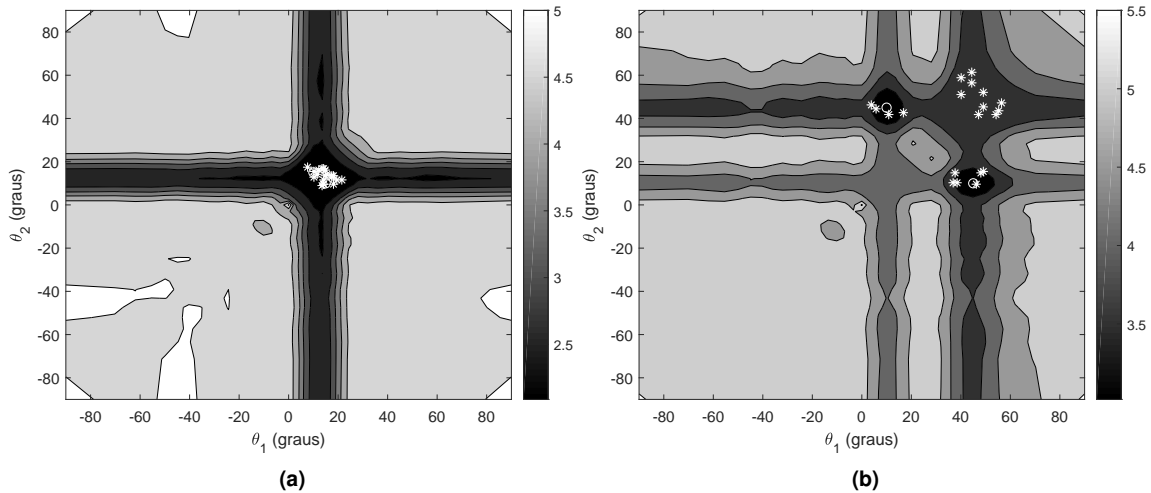


Figura 4. Posição do mínimo global (circunferência) e das partículas (asterisco) no espaço de soluções para o valor de SNR de -10 dB e fontes de sinal situadas em (a) 10° e 15° e (b) 10° e 45° .

Nessas figuras, o mínimo global está marcado por uma circunferência e cada partícula por um asterisco. Na Figura 4a, pode-se observar que existe um pequeno número de partículas e todas elas estão na vizinhança do mínimo global. A Figura 4b também ilustra partículas próximas do mínimo global, contudo, existem partículas na região próxima a $\theta_1 = \theta_2 = 45^\circ$, mas elas são rapidamente tidas como soluções ruins e têm menos chance de prosseguirem no processo de otimização.

4. Resultados e discussões

Nesta seção, avaliam-se os resultados do desempenho de estimação DOA do AG, PSO e ED implementados utilizando uma abordagem semelhante ao usado no CLONALG em [Bocato et al. 2013]. Eles são comparados com as implementações do PSO e ED de acordo com [Bocato et al. 2012], mas aplicando o máximo autofiltro espacial.

Para tanto, foi utilizado o método de Monte Carlo com $S = 1000$ simulações para cada valor de SNR, que varia no intervalo de -15 dB a 10 dB em passos de $1,25$ dB, totalizando 21 mil execuções de cada estimador. Considera-se uma ULA de $K = 10$ sensores espaçados em meio comprimento de onda amostrando $N = 100$ snapshots de $M = 2$ fontes de sinais descorrelacionados.

As implementações do AG, PSO e ED propostas neste trabalho utilizam um processo de pré-seleção, onde, inicialmente, são geradas $J = 100$ partículas em posições aleatórias tendo o espectro diferencial como função densidade de probabilidade. Adicionalmente, como citado na seção anterior, apenas um subconjunto dessas partículas é considerado no processo iterativo de otimização. Nesse caso, apenas as $G = 20$ melhores partículas são selecionadas para o processo de estimação DOA.

Ainda, o número máximo de iterações é $I = 50$, porém, caso seja observada a convergência do algoritmo, a estimação DOA é finalizada anteriormente. A tolerância utilizada é de $T = 10^{-6}$ rad (radianos) ou $1,8 \times 10^{-5}$ graus em termos das configurações da ULA utilizada. Observa-se também que a convergência é considerada através de um processo de janelamento. Ou seja, as 15 últimas melhores estimativas DOA são armazenadas na memória e o módulo da diferença máxima entre duas estimativas consecutivas deve ser menor ou igual à tolerância estabelecida. Quando essa condição é satisfeita, a melhor partícula é considerada a estimativa DOA final. Isso garante um mínimo de 15 iterações, ao mesmo tempo em que evita uma saída prematura do processo iterativo, principalmente quando a melhor estimativa não é alterada entre uma iteração e outra. Esse procedimento de detecção de convergência é especialmente importante, pois o elitismo (E) é adotado no AG.

Os hiperparâmetros utilizados para cada algoritmo bioinspirado proposto neste trabalho foram:

- **AG:** $E = 1$; $I = 50$; $T = 10^{-6}$ rad; $J = 100$; $G = 20$; tipo de seleção: método da roleta; a probabilidade de cruzamento é aleatória para cada par de partículas; probabilidade de mutação: 0%;
- **PSO:** $\chi = 0,333$; $\psi_p = 1,079$; $\psi_g = 3,021$; $I = 50$; $T = 10^{-6}$ rad; $J = 100$; $G = 20$, onde χ representa um fator de ponderação sobre a velocidade de movimentação das partículas; ψ_p diz qual o fator de importância da melhor posição de cada partícula na sua movimentação e ψ_g , o fator de importância da melhor posição global do enxame na movimentação das partículas;
- **ED:** $C_R = 0,8$; $F = 0,5$; $I = 50$; $T = 10^{-6}$ rad; $J = 100$; $G = 20$, onde C_R é a taxa de cruzamento e F define o tamanho do passo na direção do vetor gradiente.

A escolha dos hiperparâmetros utilizados nas implementações do PSO e do ED propostos neste trabalho não foi arbitrária. Para o PSO, χ foi avaliado no intervalo $[0, 1]$, enquanto ψ_p e ψ_g assumiam valores no intervalo $[0, 4, 1]$, respeitando a condição $\psi_p + \psi_g = 4,1$ [Kennedy and Eberhart 1995]. Para o ED, por sua vez, tanto C_R quanto F foram avaliados no intervalo $[0, 1]$.

Para evitar um número excessivamente alto de testes, todos os intervalos foram divididos em 20 partes e cada conjunto de hiperparâmetros foi avaliado através da Eq. (7). O conjunto dos hiperparâmetros escolhidos foi aquele que minimizou o erro de estimação utilizando uma implementação do método de Monte Carlo semelhante ao descrito nessa seção, porém, considerando apenas fontes espacialmente próximas, com $S = 100$.

Por sua vez, os hiperparâmetros utilizados nas implementações segundo [Boccatto et al. 2012] foram:

- **PSO*:** $\chi = 0,729$; $\psi_p = \psi_g = 2,05$; $I = 700$; $T = 10^{-6}$ rad; $J = 150$;
- **ED*:** $C_R = 0,9$; $F = 0,5$; $I = 700$; $T = 10^{-6}$ rad; $J = 150$.

Ainda, ressalta-se que as implementações segundo [Boccatto et al. 2012] não adotam o procedimento de pré-seleção para a redução da população inicial, que se mantém em $J = 150$ durante todo o processo iterativo de otimização. Além disso, a população inicial é gerada utilizando um processo estocástico com distribuição uniforme. Contudo, a função objetivo utilizada não foi a Eq. (4). Em vez disso, adotou-se a Eq. (5) em conjunto com o máximo autofiltro espacial, como utilizado pelo CLONALG em [Boccatto et al. 2013].

O desempenho de estimação de cada estimador DOA foi medido a partir da raiz do erro quadrático médio (REQM):

$$\text{REQM} = \sqrt{\frac{1}{MS} \sum_{s=1}^S \sum_{m=1}^M (\theta_m - \hat{\theta}_m)^2}, \quad (7)$$

onde $\hat{\theta}_m$ é a estimativa do ângulo DOA θ_m para a m -ésima fonte de sinal. O cálculo do REQM para uma faixa de valores de SNR produz a curva de desempenho, que é limitada inferiormente pelo CRB [Stoica and Nehorai 1990].

De maneira sucinta, um estimador DOA é avaliado por três parâmetros distintos:

1. Pela **eficiência assintótica**, ou quando sua curva de desempenho decresce até se aproximar do CRB quando o valor de SNR aumenta [Alves 2004];
2. Pela **SNR de limiar**, que deve ser a menor possível;
3. Pelo **esforço computacional**, que, também, deve ser o menor possível, visto que existem aplicações em que a estimação DOA deve ser realizada em tempo real.

A Figura 5a apresenta as curvas de desempenho para as implementações de algoritmos bioinspirados propostas em [Boccatto et al. 2012] e para o MODEX, ilustradas em cinza, e para as implementações propostas neste trabalho, ilustradas em preto. O MODEX utiliza o filtro espacial baseado no espectro diferencial e se consideram fontes de sinal espacialmente próximas.

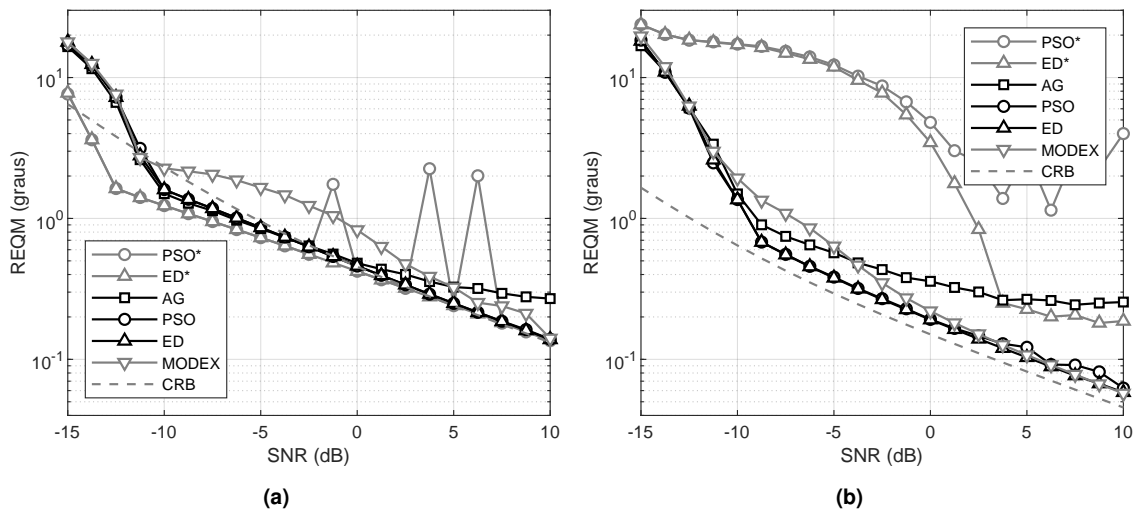


Figura 5. Raiz do Erro Quadrático Médio considerando fontes de sinal com ângulos DOA (a) 10° e 15° e (b) 10° e 45° .

Na Figura 5a, é possível observar que as implementações propostas neste trabalho possuem uma SNR de limiar de -10 dB, assim como o MODEX. Adicionalmente, as curvas de desempenho estão abaixo do CRB para valores de SNR menores que $-3,75$ dB devido ao uso de filtragem espacial. Para valores maiores de SNR, as curvas do PSO e do ED estão abaixo da curva do MODEX e estão próximas do CRB, indicando um baixo erro de estimação. Ainda, o AG não se mostrou assintoticamente eficiente e apresentou lenta convergência em direção ao mínimo global.

As implementações de [Boccatto et al. 2012] possuem uma SNR de limiar em $-12,5$ dB, o que é melhor, por causa do máximo autofiltro espacial, que impacta positivamente a situação de fontes espacialmente próximas em baixas SNRs. Elas possuem erro de estimação menor do que o CRB, mas, à medida em que a SNR aumenta, o PSO produz ocasionalmente um grande erro de estimação quando comparado aos outros estimadores, mostrando a importância da população inicial de partículas.

A Figura 5b apresenta as curvas de desempenho para a situação de fontes de sinal espacialmente afastadas. As implementações do PSO e ED propostas neste trabalho possuem uma SNR de limiar de $-8,75$ dB e são assintoticamente eficientes, com as curvas de desempenho próximas do CRB e abaixo da curva do MODEX, que tem SNR de limiar próximo de -5 dB. O AG, que também tem a mesma SNR de limiar, apresentou uma convergência mais lenta do que no caso anterior. Uma razão para isso é relacionado à aplicação de filtragem espacial, que achata a região próxima ao mínimo global.

A implementação do ED segundo [Boccatto et al. 2012] possui uma SNR de limiar muito acima, $3,75$ dB, além de não ser assintoticamente eficiente. O PSO [Boccatto et al. 2012] também apresentou um desempenho insatisfatório de estimação, não sendo possível determinar a sua SNR de limiar. A principal causa para esse mau desempenho é o máximo autofiltro espacial, que causou uma severa atenuação às fontes de sinal espacialmente afastadas.

As Figuras 6a e 6b ilustram respectivamente a convergência dos algoritmos bioinspirados avaliados neste trabalho considerando fontes espacialmente próximas e afastadas. Nessas figuras considerou-se um único experimento com o valor SNR de 10 dB. A Figura 6a mostra que o AG não diminuiu o erro de estimação em nenhuma iteração. O ED e o PSO propostos neste trabalho apresentaram desempenho de estimação semelhante, com vantagem para o ED ter atingido a convergência mais rapidamente. As implementações do ED e do PSO segundo [Boccatto et al. 2012] apresentaram erros de estimação um pouco maiores, com o PSO atingindo a convergência em 124 iterações.

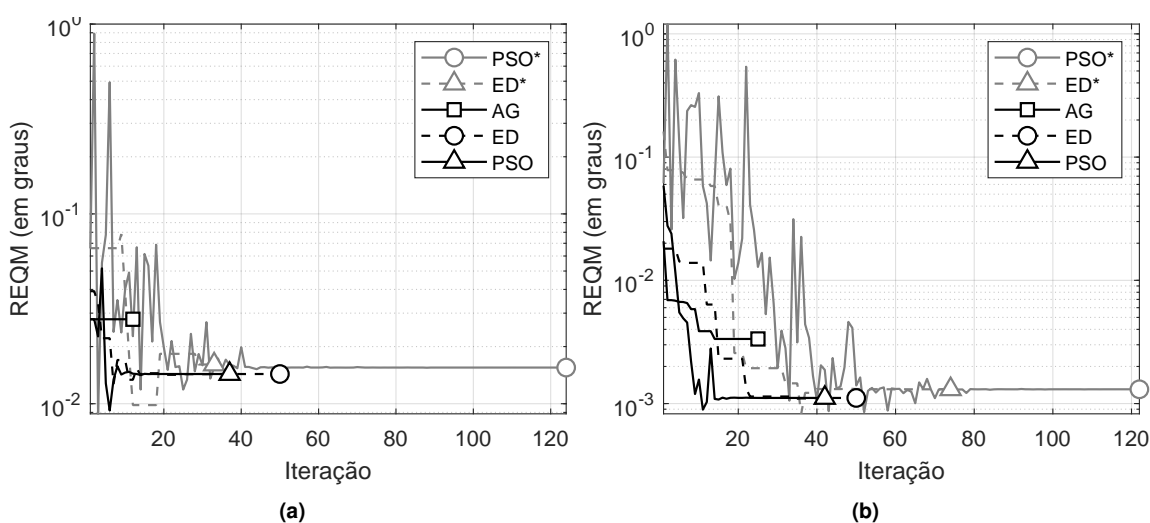


Figura 6. Convergência dos algoritmos bioinspirados considerando fontes de sinal com ângulos DOA (a) 10° e 15° e (b) 10° e 45° .

Na Figura 6b é possível observar que o AG diminuiu o erro de estimação durante o

processo de otimização. Porém, isso ainda foi insuficiente em relação às implementações propostas do ED e do PSO neste trabalho, que apresentaram os menores valores de REQM. O ED e o PSO segundo [Boccatto et al. 2012] apresentaram erros de estimação ligeiramente maiores e demandaram um maior número de iterações para atingir a convergência.

Contudo, tanto no caso de fontes espacialmente próximas quanto afastadas, é importante ressaltar que as duas implementações do ED e do PSO produziram melhores estimativas DOA no decorrer do processo de otimização, mas não foram mantidas até atingir a convergência.

Por fim, foram coletados os tempos de execução dos estimadores durante o processamento necessário para gerar a Figura 5a, com os resultados apresentados na Tabela 1. Observa-se a predominância de menores tempos de execução para os estimadores implementados neste trabalho do que os métodos implementados em [Boccatto et al. 2012]. Porém, o MODEX apresentou um tempo de execução cerca de duas ordens de magnitude menor.

Tabela 1. Tempos (em segundos) de 21 mil execuções para os estimadores considerando fontes de sinal com ângulos DOA 10° e 15°.

	PSO*	ED*	AG	PSO	ED	MODEX
Média	1,828	1,162	0,130	0,112	0,143	0,005
Mediana	1,827	1,271	0,117	0,109	0,145	0,004
Desvio-padrão	0,032	0,021	0,003	0,005	0,004	0,001
Variância	0,002	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000

5. Conclusão

Este trabalho avaliou os algoritmos bioinspirados AG, PSO e ED no contexto da estimação DOA. Contudo, existe um trabalho que avalia o algoritmo denominado CLONALG no contexto da estimação DOA usando o máximo autofiltro espacial para reduzir a influência do ruído. Esse filtro também é utilizado na geração da população inicial de partículas. Essas duas estratégias trouxeram uma considerável redução na SNR de limiar na situação de fontes de sinal espacialmente próximas e permite reduzir significativamente o número de avaliações da função objetivo.

Por outro lado, trabalhos relacionados ao máximo autofiltro espacial não consideraram a situação de fontes de sinal espacialmente afastadas, que, posteriormente, descobriu-se ser inadequado para tal situação. Então, foi proposto um novo filtro espacial calculado a partir do espectro diferencial, permitindo diminuir significativamente o erro de estimação DOA na situação de fontes afastadas, enquanto ainda mantém um erro de estimação competitivo para fontes próximas. Seguindo um outro caminho, o espectro diferencial também permite a localização *a priori* das fontes de sinal através dos picos proeminentes que ele apresenta mesmo quando a SNR assume valores muito baixos. Essa característica o permite ser usado como uma função densidade de probabilidade no processo de geração de uma população inicial de partículas mais próximas do mínimo global.

Adicionalmente, não se conhece na literatura a aplicação do AG, PSO e ED utilizando a estratégia usada no CLONALG. Então, este trabalho traz à luz o impacto do uso dessa estratégia a esses algoritmos bioinspirados. Adiciona-se a isso o uso de um filtro espacial que permite a estimação DOA confiável em variadas condições de espaçamento de fontes de sinal, além do uso do espectro diferencial como função densidade de probabilidade, permitindo diminuir o tempo de execução desses algoritmos.

Esse aprimoramento permitiu propor implementações significativamente mais rápidas do AG, PSO e ED, sem, contudo, impactar negativamente no desempenho de estimação dos dois últimos algoritmos. O PSO e o ED produziram resultados competitivos para fontes tanto espacialmente próximas quanto afastadas. O AG, por outro lado, merece mais atenção para entender as causas da sua lenta convergência quando comparado aos outros dois algoritmos, podendo produzir uma nova implementação que apresente resultados melhores.

Referências

- Alves, C. A. (2004). *Análise Teórica e Experimental de Métodos de Estimação de DOA e de Estimação de Freqüência com Alta Resolução*. PhD thesis, State University of Campinas.
- Boccatto, L., Krummenauer, R., Attux, R., and Lopes, A. (2012). Application of natural computing algorithms to maximum likelihood estimation of direction of arrival. *Signal Processing*, 92(5):1338–1352.
- Boccatto, L., Krummenauer, R., Attux, R., and Lopes, A. (2013). Improving the efficiency of natural computing algorithms in doa estimation using a noise filtering approach. *Circuits, Systems, and Signal Processing*, 32:1991–2001.
- Carvalho, M. H., Cerioli, M. R., Dahab, R., Feofiloff, P., Fernandes, C. G., Ferreira, C. E., Guimarães, K. S., Miyazawa, F. K., de Pina Jr., J. C., Soares, J. A. R., and Wakabayashi, Y. (2001). *Uma Introdução Sucinta a Algoritmos de Aproximação*. Instituto de Matemática Pura e Aplicada, Rio de Janeiro, RJ.
- Chen, S., Sun, S., Xu, G., Su, X., and Cai, Y. (2020). Beam-space multiplexing: Practice, theory, and trends—from 4g td-lte, 5g, to 6g and beyond.
- de Castro, L. N. and Von Zuben, F. J. (2002). Learning and optimization using the clonal selection principle. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(3):239–251.
- Ferreira, Y. R. and Lemos, R. P. (2005). A new DOA estimation algorithm based on angle search through the difference between the principal singular values. In *Proceedings of the International Microwave and Optoelectronics Conference*, volume 5, pages 283–286, Brasília, Brazil.
- Forster, P. and Vezzosi, G. (1987). Application of spheroidal sequences to array processing. In *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP '87)*, pages 2268–2271, Dallas, USA.
- Fujitsu and Cisco (2008). Beamforming boosts the range and capacity of WiMAX networks. Technical report.
- Gershman, A. B. and Stoica, P. (1999). New MODE-based techniques for direction finding with an improved threshold performance. *Signal Processing*, 76:221–235.

- Hawkes, M., Nehorai, A., and Stoica, P. (2001). Performance breakdown of subspace-based methods: Prediction and cure. In *Proceedings of 2001 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP '01)*, pages 4005–4008, Salt Lake City, USA.
- Haykin, S. (2001). *Adaptive Filter Theory*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 4th edition edition.
- Kennedy, J. and Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. In *IEEE International Conference on Neural Networks*, pages 1942–1948.
- Krishnaveni, V., Kesavamurthy, T., and Aparna, B. (2013). Beamforming for direction-of-arrival (DOA) estimation – a survey. *International Journal of Computer Applications*, 61(11):4–11.
- Krummenauer, R., Cazarotto, M., Lopes, A., Larzabal, P., and Forster, P. (2010). Improving the threshold performance of maximum likelihood estimation of direction of arrival. *Signal Processing*, 90(11):1582–1590.
- Lemos, R. P., e Silva, H. V. L., Flôres, E. L., Kunzler, J. A., and Beltrán, D. F. B. (2016). Spatial filtering based on differential spectrum for improving ML DOA estimation performance. *IEEE Signal Processing Letters*, 23(12):1811–1815.
- Li, F. and Vaccaro, R. J. (1991). Unified analysis for DOA estimation algorithms in array signal processing. *Signal Processing*, 25:147–169.
- Li, M. and Lu, Y. (2007). A refined genetic algorithm for accurate and reliable DOA estimation with a sensor array. *Wireless Personal Communications*, 43(2):533–547.
- Liberti, J. C. and Rappaport, T. S. (1999). *Smart Antennas for Wireless Communications: IS-95 and Third Generation CDMA*. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Lopes, A., Bonatti, I. S., Peres, P. L. D., and Alves, C. A. (2003). Improving the MODEX algorithm for direction estimation. *Signal Processing*, 83(9):2047–2051.
- National Instruments (2018). The road to realizing 5g technologies. Technical report.
- Pappa, G. L. (2015). *Notas de aula em Conceitos e Aplicações em Aprendizagem de Máquina*. Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Minas Gerais.
- Storer, D. (1990). *Algorithms for Polynomial-Based Signal Processing*. PhD thesis, Yale University.
- Stoica, P. and Nehorai, A. (1990). Performance study of conditional and unconditional direction-of-arrival estimation. *IEEE Transactions on Acoustic, Speech and Signal Processing*, 38(10):1783–1795.
- Stoica, P. and Sharman, K. C. (1990). Novel eigenanalysis method for direction estimation. *IEE Proceedings F Radar and Signal Processing*, 137(1):19–26.
- Storn, R. and Price, K. (1997). Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of Global Optimization*, 11:341–359.

Propostas de Técnicas de Coexistência entre LTE-U e Wi-Fi em 5 GHz considerando diferentes modulações candidatas 5G

Pedro Manoel Ribeiro Rosa¹, Maykon Renan Pereira da Silva²,
Flávio Geraldo Coelho Rocha², Vinicius da Cunha Martins Borges¹

¹Instituto de Informática – Universidade Federal de Goiás (UFG)
Alameda Palmeiras, Quadra D, Câmpus Samambaia – Goiânia-GO

²Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação
Universidade Federal de Goiás (UFG)
Av. Universitária, n.º 1488, Qd. 86, Setor Leste Universitário – Goiânia-GO

{vinicius,flaviogcr}@ufg.br, {pedromanoel,maykonrenan}@discente.ufg.br

Abstract. *The growing demand for mobile LTE connections has resulted in the saturation of the available spectrum, motivating operators to search new frequency spectral such as the 5 GHz band as it is not licensed and little used and having the IEEE 802.11a/n/ac standards of Wi-Fi operating on that same frequency. This article proposes the LAS and RABS coexistence techniques applied in 5G candidate modulations (F-OFDM/UFMC) allowing LTE-U and Wi-Fi to operate simultaneously, achieving better performance for Wi-Fi traffic when compared to the technique ABS.*

Resumo. *A crescente demanda de conexões móveis do LTE tem como consequência a saturação do espectro disponível, motivando as operadoras a buscarem novos espectros de frequência como a faixa de 5 GHz por não ser licenciada e pouco utilizada e tendo os padrões IEEE 802.11a/n/ac do Wi-Fi operando nessa mesma frequência. Esse artigo propõe as técnicas de coexistência LAS e RABS aplicadas nas modulações candidatas à 5G (F-OFDM/UFMC) permitindo o LTE-U e Wi-Fi operarem de modo simultâneo, conseguindo melhor desempenho ao tráfego Wi-Fi quando comparadas com a técnica ABS.*

1. Introdução

O aumento em número e diversidade de equipamentos conectados nas redes de dados sem fio de 3ª e 4ª Geração, 3G e 4G, é uma realidade conforme o documento *Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2018–2023*, publicado em março de 2020 por [CISCO 2020], dois terços da população mundial terão acesso à Internet até 2023. Isso significa um total de 5 bilhões e 300 milhões de usuários conectados à Internet, sendo um crescimento de 51% comparado com o ano de 2018, representando um aumento de 3 bilhões e 900 milhões de novos usuários conectados à Internet.

Nesse cenário de crescimento de tráfego, existe uma série de fatores que limita a expansão dessas conexões de acesso sem fio, dentre elas a escassez do espectro rádio disponível e os efeitos de propagação de sinal são desafiadores, pois limitam a eficiência da rede. A tendência de topologia entre as operadoras é a troca de tráfego de macro células para micro células, permitindo-lhes redução de custo e aumento da capacidade.

Vale mencionar os dados sobre o uso das redes móveis por meio da tecnologia *Wireless Fidelity* – Wi-Fi e da rede celular, padrão *Long Term Evolution* – LTE, por um mesmo dispositivo. Muitas dessas conexões móveis ocorrem nas residências dos usuários com banda larga fixa ou pontos de acesso Wi-Fi ou, ainda, são atendidos por *femtocell* ou *picocell* das operadoras de celular. Uma considerável proporção de tráfego gerado por esses dispositivos é descarregada da rede móvel para a rede fixa, caracterizando essa operação por *dual-mode*.

Essa escassez de espectro pode ser evidenciada pelo modo de operação de 5G das operadoras VIVO, TIM e CLARO, que operam no BRASIL. Conforme [Bonatelli 2020], essas operadoras irão compartilhar o espectro licenciado da 4G com a 5G, por meio do mecanismo *Dynamic Spectrum Sharing* – DSS, até ocorrer o leilão das frequências destinadas a 5G, previsto para o ano de 2021 com data a ser definida.

Apesar de existirem trabalhos que propõem o uso das ondas milimétricas pelo LTE na faixa de 30 ou 60 Giga Hertz – GHz, em espectro não licenciado, há desvantagens em sua utilização como atenuações pelo desvanecimento de percurso, aumento da absorção atmosférica pela umidade, neblina ou chuva, perdas de penetração e reflexão. Além disso, as transmissões utilizando ondas milimétricas não são adequadas para transmissões setoriais, pois o comprimento de onda mais curto proporciona o aumento significativo da suscetibilidade ao bloqueio pelos obstáculos, conforme [Ichkov et al. 2017].

Por outro lado, trabalhos como [Gerzaguet et al. 2017], [Liu et al. 2016], [Lizeaga et al. 2017] apresentam um estudo comparativo das modulações *Filtered - Orthogonal Frequency Division Multiplexing* – F-OFDM e *Universal Frequency Multi-carrier* – UFMC candidatas à 5G para a telefonia móvel, trazendo em seu corpo definições e parâmetros utilizados a fim de obter melhor qualidade de comunicação e eficiência no uso do espectro em relação à modulação *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* – OFDM. Nesse aspecto de eficiência, as modulações candidatas apresentaram consumo menor de energia na formação do sinal, proporcionando menor emissão fora da banda facilitando a coexistência.

As modulações candidatas lidam com a interferência na coexistência entre Wi-Fi e LTE-U de forma diferente das técnicas de coexistência, explorando outros aspectos. Logo, as modulações e técnicas poderiam trabalhar de forma complementar para melhorar a eficiência do tráfego Wi-Fi. Desta forma, uma combinação das modulações candidatas com as técnicas de coexistência existentes faz-se útil para investigar o impacto dessa combinação na coexistência dessas duas tecnologias de transmissão da camada física, em ambas perspectivas, tanto do Wi-Fi quanto LTE-U.

Sendo assim, como solução eventual da escassez de espectro licenciado, as técnicas de coexistência permitem ao LTE operar juntamente com o Wi-Fi no espectro não licenciado de 5 GHz. Vale mencionar que o uso do espectro não licenciado pelo LTE em caráter eventual/secundário é chamado de *Long Term Evolution-Unlicensed* – LTE-U.

Portanto, o objetivo principal desse trabalho é propor duas técnicas de coexistência *Low Amplitude Signal* — LAS e *Reduce Amplitude with Blank Subframes* – RABS decorrentes das técnicas de coexistência *Almost Blank Subframes* – ABS e *Low Amplitude Stream Injection* – LASI, permitindo o LTE-U e Wi-Fi operarem de modo simultâneo e sem degradação da potência de transmissão do Wi-Fi.

Nesse artigo a seção 2 mostra os trabalhos relacionados sobre as técnicas de coexistência, enquanto que a seção 3 expõe as considerações sobre as técnicas de coexistência. A seção 4 apresenta as propostas das técnicas de coexistência LAS e RABS. A seção 5 mostra o cenário das simulações e avaliação enquanto que a seção 6 a conclusão e os trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

O estudo sobre técnicas de coexistência em espectro não licenciado tem sido alvo de pesquisa desde 2014, como se observa nas *Releases* 13 e 14 do *3rd Generation Partnership Project* – 3GPP e, atualmente, pelos trabalhos da Qualcomm [FCC 2016b], Nokia [FCC 2018] e *MulteFire Alliance* [MULTEFIRE 2018]. Importante mencionar que as técnicas de coexistência ABS e *Listen Before Talking* – LBT foram propostas nas *Releases* 10 [3GPP 2009] e 13 [3GPP 2016] do 3GPP, respectivamente, enquanto que a *Carrier-Sensing Adaptive Transmission* – CSAT foi introduzida pela Qualcomm [QUALCOMM 2014].

Cui et al. [Cui et al. 2017] e Huang et al. [Huang et al. 2018] descrevem as técnicas de coexistência LBT, ABS e CSAT, considerando a coexistência entre LTE-U e Wi-Fi. Ambos explicam que a técnica ABS permite o Wi-Fi acessar o canal livre de interferência durante uma pequena “janela” de tempo proporcionada pelos *subframes* em branco. Com relação ao CSAT empregado no LTE-U, o autor descreve como sendo uma técnica de coexistência que analisa a duração média que o Wi-Fi ocupa o canal. Com base nesse período o LTE-U poderá ocupar o canal, pois consegue identificar o período em que o Wi-Fi não estará utilizando-o.

Sun et al. [Sun et al. 2017] apresentam a técnica LASI que consiste em diminuir a amplitude do sinal do Wi-Fi, consideravelmente. Ainda, propõe o uso do algoritmo *Conflict-Tolerant Channel Allocation* – CTCA em conjunto com a LASI, para auxiliar na recuperação da informação perdida pelo Wi-Fi. É necessário em sua aplicação a coordenação entre o LTE-U e Wi-Fi.

Abinader et al. [Abinader et al. 2018] explicam a coexistência das tecnologias LTE-U e Wi-Fi, operando em 5 GHz, ou seja, na banda de uso da indústria, ciência e saúde. Propõe a técnica de coexistência LTE *Blank Subframes*, bastante similar à técnica ABS diferindo-se pela alocação dinâmica da quantidade de *subframes* em branco, podendo alocar quantidades diferentes em uma transmissão LTE-U com base na performance do tráfego Wi-Fi.

Bocanegra et al. [Bocanegra et al. 2019] implementaram o LTE-U coexistindo com o Wi-Fi 802.11ac utilizando a técnica de coexistência ABS. Ainda, o autor propõe um algoritmo em que o nó mais distante possa realizar uma transmissão direta ao nó mais próximo, tornando-o um retransmissor do sinal. Vale mencionar que o autor configurou em 20 MHz a largura de banda para o IEEE 802.11ac do Wi-Fi.

3. Considerações Sobre as Técnicas de Coexistência

As técnicas LBT, *Fair-LBT*, *ALOHA-Like* e CSAT trabalham similarmente ao mecanismo *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance* – CSMA-CA do padrão Wi-Fi, não considerando o uso simultâneo do canal pelo LTE-U e Wi-Fi. Essas técnicas

podem prejudicar o tráfego Wi-Fi em cenário densos, uma vez que o LTE-U tendo ocupado o canal livre e com muito tráfego o Wi-Fi poderá não conseguir ocupá-lo por meio do CSMA-CA e, por conseguinte, reiniciar todo o processo de acesso ao meio.

A técnica LASI consiste na diminuição de potência do sinal Wi-Fi quando ocorrer a disputa do canal, sendo empregada em conjunto com o algoritmo CTCA para recuperação de pacotes em conflito com o LTE-U. A diminuição da potência do sinal Wi-Fi torna-se um risco ao seu tráfego, uma vez que sua potência de 50 mW (17 dBm) é muito inferior à do LTE-U sendo mais suscetível à interferência. Outra desvantagem encontra-se na necessidade de coordenação entre a estação base e o ponto de acesso para que a diminuição de potência do sinal Wi-Fi possa ocorrer. Tal procedimento na prática torna-se inviável, devido os pontos de acesso não possuírem mecanismos embarcados para tal coordenação.

A técnica ABS permite a utilização do canal de forma simultânea para o LTE-U e Wi-Fi, não exigindo nenhuma “escuta” do canal e tampouco coordenação entre a estação base e o ponto de acesso. Ela se destaca entre as demais pela possibilidade de coexistência simultânea do canal independente de *idles* de transmissão do Wi-Fi devido os *subframes* em branco, como também por não precisar de coordenação com o Wi-Fi. Porém não se torna escalável à medida que o cenário torna-se denso por não oferecer maior número de *subframes* em branco.

Diante o exposto e considerando as vantagens e desvantagens de cada técnica de coexistência, tendo como pressuposto a operação simultânea entre o LTE-U e Wi-Fi, este trabalho propõe as técnicas de coexistência LAS e RABS combinadas com as modulações empregadas no LTE-U. Importante ressaltar que combinar essas técnicas de coexistência com as modulações candidatas à 5G (F-OFDM/UFMC) poderão favorecer tanto o tráfego LTE-U quanto Wi-Fi, uma vez que tais modulações emitem menor vazão fora da banda promovendo menor interferência entre os sinais adjacentes.

4. Técnicas de Coexistência Propostas

Nesta sessão serão apresentadas as técnicas propostas de coexistência LAS e RABS, descrevendo o funcionamento e os princípios adotados das técnicas de coexistências ABS e LBT utilizadas nos *Releases* 10 [3GPP 2009] e 13 [3GPP 2016] do 3GPP, respectivamente.

4.1. Técnica de coexistência LAS (Low Amplitude Signal)

A motivação da proposta da técnica LAS parte de duas desvantagens que a técnica LASI de Sun et al. [Sun et al. 2017] apresenta, quais sejam, coordenação entre a *Base Station* – BS (LTE-U) e o *Access Point* – AP (Wi-Fi) que está na região de coexistência e diminuição da potência do AP. A coordenação entre a BS e o AP atualmente torna-se impraticável devido os APs residenciais não possuírem uma interface própria ou sinalização em sua transmissão para que ocorra essa troca de informações com a BS, além de não garantir a escalabilidade com uma grande quantidade de APs existentes nas *small cells*.

Nesse contexto, a Tabela 1 apresenta as principais diferenças entre a técnica proposta LAS e a LASI. A técnica proposta LAS, assim como a LASI, é aplicada no LTE-U e possui a vantagem de não exigir qualquer tipo de coordenação entre a BS e AP. A Fi-

Figura 1 apresenta o funcionamento básico da técnica proposta LAS, onde o sinal da BS é atenuado quando há a presença do sinal Wi-Fi.

Tabela 1. Comparação entre as Técnicas LASI e LAS, do autor.

Característica	LASI	LAS
Aplicação/Implementação	LTE-U e Wi-Fi	LTE-U
Coordenação	Com o Wi-Fi	Não Precisa
Atenuação de Potência	No AP	Na BS
Esquema de Modulação	256-QAM	Adaptável

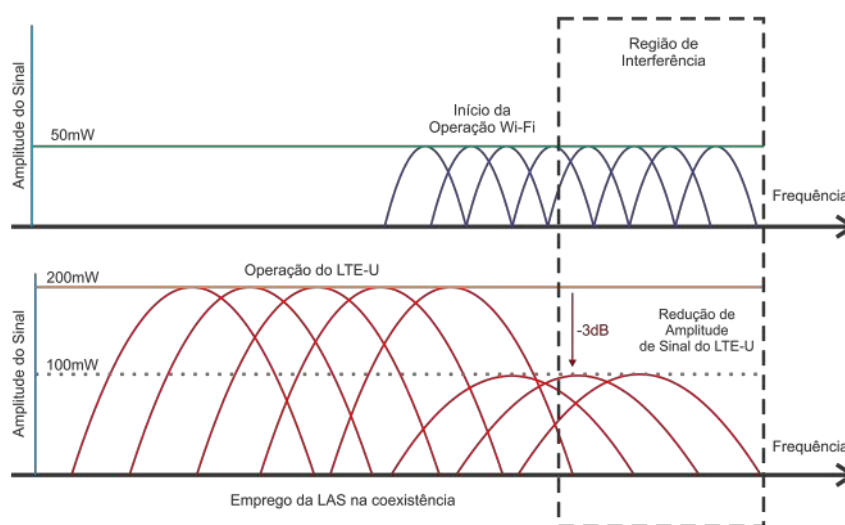


Figura 1. Operação do LTE-U e Wi-Fi c/ LAS, do autor.

A Figura 2 apresenta um estudo empírico sobre o impacto da redução de potência no sinal do LTE-U de forma a entender melhor qual poderia ser um valor de potência reduzido para um cenário real de coexistência.

A Tabela 2 apresenta os dados estratificados da Figura 2(a) com as vazões alcançadas à média que se atenua a potência do LTE-U. Nesse contexto, verifica-se uma queda da vazão de 35% com a potência de 50 mW (17 dBm) em relação à potência de 200 mW (23 dBm). Por outro lado, há uma queda de 8% com a potência de 100 mW (20 dBm) em relação à potência de 200 mW (23 dBm), dessa forma, torna-se possível atenuar em 3dB, pois a vazão com 23 dBm se assemelha bastante com a vazão em 20 dBm quando variando a *Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio* – SINR.

Tabela 2. Vazões Médias da Figura 2(a).

Potência LTE-U	Vazão Média (Mbps)	Relação Percentual
200 mW	3,16	100%
100 mW	2,88	92%
50 mW	2,05	65%

Vale mencionar que a potência máxima de transmissão em espectro não licenciado não poderá ultrapassar os 200 mW (23 dBm), preconizada pela *Federal Communications Commission – FCC* [FCC 2016a]. Embora até o presente momento não tenha sido empregada a atenuação de amplitude do sinal LTE-U por meio da redução de potência no emprego das técnicas de coexistência, tanto quanto sabemos torna-se a primeira abordagem que leva em consideração esse aspecto. Importante ressaltar que a potência de transmissão do LTE-U inicia com valor máximo permitido pela FCC, enquanto que a potência de transmissão do Wi-Fi se mantém constante em 50 mW (17 dBm). Ainda, a área de cobertura da *small cell*, tanto do LTE-U quanto Wi-Fi, é um fator que possibilita o uso de potência com os valores menores que o especificado pela FCC.

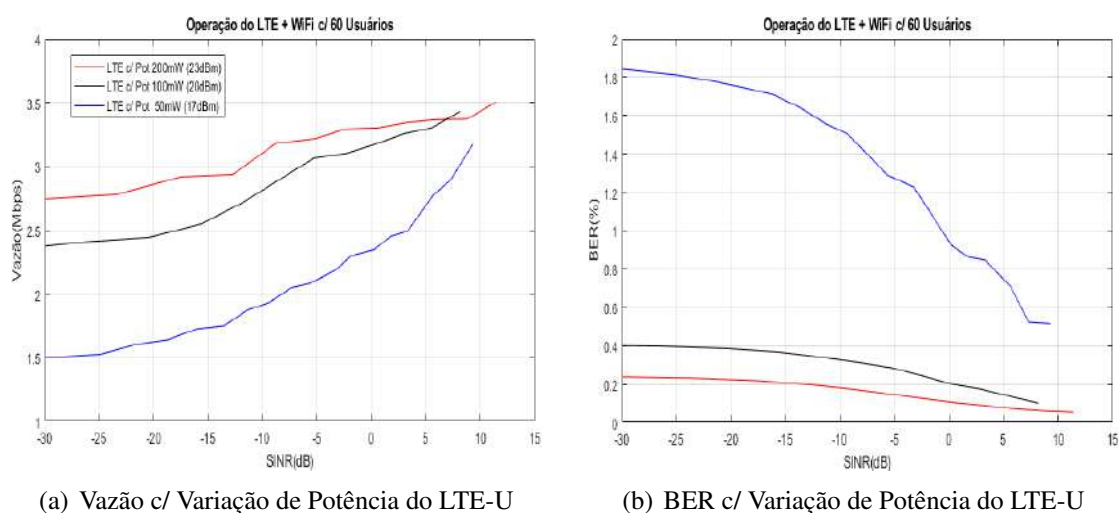


Figura 2. Desempenho do LTE-U c/ Variação da Potência, do autor.

Em complemento, a Figura 2(b) mostra o comportamento do BER em relação à variação de potência do LTE-U. Nesse contexto, verifica-se a maior perda de *bits* quando aplicada a potência de 50 mW nas transmissões do LTE-U, em relação à aplicação de potência de 100 mW ou 200 mW. Vale considerar que essa simulação foi realizada no cenário mais denso, ou seja, com 60 usuários com um raio de 30 m de comprimento, onde é possível concluir que a redução de potência em 3dB torna-se viável para os tráfegos do LTE-U e Wi-Fi.

Diante disso e levando em consideração o cenário de uma *small cell*, foi possível uma análise para adequar uma determinada potência ao LTE-U sem prejuízo significativo ao seu tráfego. Portanto, dependendo do número de usuários, da distância entre eles e suas respectivas fontes de transmissão, tanto do LTE-U quanto do Wi-Fi, a redução da potência proposta gerou um bom *trade-off* entre LTE-U e Wi-fi quando avaliando *Bit Error Rate – BER*, *Block Error Rate – BLER* e Vazão dessas duas tecnologias.

4.2. Técnica de coexistência RABS (Reduce Amplitude with Blank Subframes)

Nas pesquisas dos trabalhos apresentados sobre coexistência do LTE-U e Wi-Fi, as técnicas mais utilizadas como ABS e LBT são implementadas no LTE-U por considerar devido o uso do espectro licenciado de modo secundário/eventual como também pela robustez da formação do sinal e do seu mecanismo de recuperação da informação. Em

decorrência, as técnicas de coexistência atenuam a eficiência de seu tráfego para favorecer o tráfego Wi-Fi.

Assim sendo, a aplicação da técnica LAS irá proporcionar menor interferência ao tráfego Wi-Fi devido a consequente atenuação da *Out of Band Emission* – OoBE das modulações que operam no LTE-U, levando em consideração que a potência de transmissão da BS está no limite permitido pela FCC [FCC 2016a] e sendo suficiente para abranger os usuários móveis situados nas *small cells*. Entretanto, a diminuição da potência de transmissão do LTE-U não irá oportunizar os *slots* de tempo necessários para que o mecanismo CSMA-CA do Wi-Fi possa estabelecer o melhor momento da transmissão do Wi-Fi e, ainda, contribuir para evitar as colisões.

Nesse sentido, para que o Wi-Fi possa executar o CSMA-CA com sucesso e, como consequência, otimizar suas transmissões em coexistência com o LTE-U, a proposta da técnica de coexistência RABS irá consistir na junção das técnicas de coexistência: LAS e ABS. Dessa forma, a técnica proposta RABS irá oportunizar *slots* de tempo para o Wi-Fi por meio da inserção dos cinco *subframes* em branco no *frame* do LTE-U conforme a Figura 3. Logo em seguida, a técnica RABS irá atenuar a potência de transmissão do LTE-U de 200 mW (23 dBm) para 100 mW (20 dBm) a fim de diminuir a emissão fora da banda das modulações que operam no LTE-U. Isso possibilitaria melhor escalabilidade, portanto, sendo mais voltado para cenários densos.

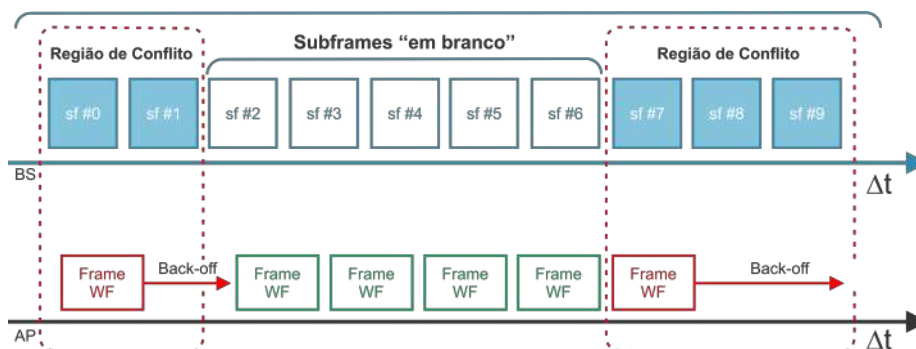


Figura 3. CSMA-CA e Téc. RABS, do autor.

Portanto, com a técnica proposta RABS o Wi-Fi transmite no canal como se estivesse “ocioso” através dos *subframes* em branco do *frame* do LTE-U e, ao mesmo tempo, sofre menor interferência resultante pela atenuação da emissão fora da banda da modulação empregada no LTE-U.

Nesse contexto, a técnica RABS atua no processo de *Primary Downlink Shared Channel* – PDSCH, onde os *subframes* em branco são definidos, logo após, diminui o valor da potência de transmissão do sinal pela metade (3dB). Com isso, torna-se possível diminuir os efeitos da interferência decorrentes do uso simultâneo do canal pelo LTE-U e Wi-Fi, proporcionando desempenho favorável para o tráfego do Wi-Fi.

5. Cenário e Avaliação

Nesta seção serão apresentadas as informações a respeito do cenário, configuração e implementação das simulações realizadas e parâmetros do LTE-U e Wi-Fi, bem como a análise dos resultados apresentados pelas modulações, combinadas ou não, com as técnicas de coexistências.

5.1. Descrições do Cenário e Simulações

Nas simulações foram empregados os padrões LTE e o IEEE 802.11ac do Wi-Fi operando simultaneamente, sendo implementada toda estrutura da camada física do *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network* – E-UTRAN, de acordo com os *Relases* 10 e 13 do 3GPP.

O cenário é retratado na Figura 4, em que temos a BS e o *User Equipament* – UE do lado do LTE, e o AP e o Nó do lado Wi-Fi. O deslocamento dos usuários acontece da extremidade para o centro ao passo de 1 metro, efetuando um deslocamento total de 30 metros. Da mesma forma, o UE também realiza esse deslocamento, iniciando-se da BS até o centro. Vale mencionar que a distância entre a BS e o AP é de 60 metros com 20, 40 e 60 usuários, sendo uma metade UE e a outra nós do Wi-Fi.

Para elaboração do cenário, as distâncias de 60 m e de deslocamento dos usuários foram baseadas conforme [Bocanegra et al. 2019] e [Sun et al. 2017]. A área *indoor* e os parâmetros de canalização e desvanecimento do canal estão de acordo com [ITU 2012], tendo sido empregados também nos experimentos de [Bocanegra et al. 2019], [Sun et al. 2017] e [Tariq et al. 2018]. A quantidade de usuários foi dimensionada tomando-se como referência o número de usuários de uma *small cell*, previsto em [Beard and Stallings 2016]. Vale mencionar que Abinader et al. [Abinader et al. 2018] e Bocanegra et al. [Bocanegra et al. 2019] utilizaram quantidades de usuários similares ao cenário proposto neste trabalho.

O cenário da simulação foi construído sob os parâmetros da *International Telecommunication Union* – ITU [ITU 2012] para transmissões do tipo *indoor*. O código foi implementado na plataforma MATLAB®, versão 2018b, utilizando a *LTE Toolbox* e a *WLAN System Toolbox*.

A Tabela 3 traz as configurações do LTE-U utilizadas em todas as modulações candidatas (F-OFDM, UFMC e FBMC), incluindo a OFDM. Importante notar que foi adotado o esquema de modulação *Quadrature Phase Shift Keying* – QPSK, tendo o *Transport Block Size* – TBS um valor de 10.296 bits ($I_{TBS} = 6$)¹ para 100 blocos de recursos, uma vez que se considera o pior cenário nas simulações devido a presença da interferência de sinal.

A Tabela 4 apresenta os parâmetros de configuração do Wi-Fi utilizados nas simulações deste trabalho. Ressalta-se o mesmo esquema de codificação empregado no padrão LTE-U, por considerar o pior cenário na coexistência. A Tabela 5 retrata as potências de transmissão da BS e do AP utilizadas inicialmente nas simulações, respeitando a recomendação de [FCC 2016a].

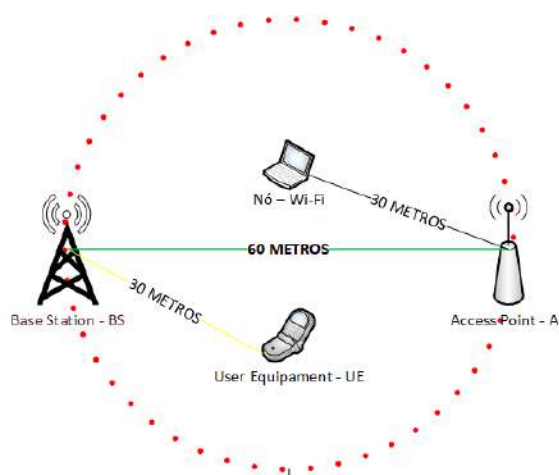


Figura 4. Cenário da Simulação, do autor.

¹Conforme a Tabela 7.1.7.2.1-1, da TS 36.213 da 3GPP, versão 15.2.0 *Release* 15, de abril de 2018.

Tabela 3. Parâmetros do LTE-U

Parâmetros do LTE-U	
Largura de Banda	20 MHz
Modo Duplex	FDD
Frequência de Operação	5 GHz
Indicador de Qualidade do Canal	8 ms
Esquema de Modulação	QPSK
Ruído de Fundo	-95 dBm
Nº de Blocos de Recursos	100
Nº de Elementos de Recursos	12
Prefixo Cíclico	Normal
Nº de Antenas	1
MIMO	Não
Capacidade do Canal	~25 Mbps
Taxa de Dados	~10 Mbps

Tabela 4. Parâmetros do Wi-Fi

Parâmetros Gerais do Wi-Fi	
Frequência de Operação	5 GHz
Largura de Banda	20 MHz
Modulação	OFDM
Esquema de Modulação	QPSK
Padrão IEEE	802.11ac
Nº Subportadoras	52
Nº de Antenas do AP	1
Intervalo de Guarda	800 ns
MIMO	Não
Capacidade do Canal	14 Mbps
Taxa de Dados	~7 Mbps

Tabela 5. Potência de Transmissão

Potência de Transmissão		
BS (LTE-U)	23 dBmW	~200 mW
AP (Wi-Fi)	17 dBmW	~50 mW

Tabela 6. Parâmetros da F-OFDM

Parâmetros da F-OFDM	
Tone Offset	2.5
Comprimento do Filtro	1025

Tabela 7. Parâmetros da UFMC

Parâmetros da UFMC	
Atenuação Slobe	20 dB
Nº IFFT - N_{FTT}	2048
Tamanho da Subbanda	12
Número de Subbandas	100

Tabela 8. Parâmetros da FBMC

Parâmetros da FBMC	
Nº IFFT - N_{FTT}	2048
Tamanho do Filtro K	4
Número de Subportadoras	1200

A Tabelas 6, 7 e 8 mostram as configurações para as modulações F-OFDM, UFMC e FBMC, respectivamente. Alguns valores foram baseados nos diferentes trabalhos comparativos sobre as modulações candidatas citadas na introdução. Conforme a ITU-R [ITU 2012], os parâmetros de desvanecimento do canal do modelo *Rayleigh Fading* foram aplicados ao canal em que LTE-U e Wi-Fi estão coexistindo, como também adicionado o *Add White Gaussian Noise* – AWGN, que irão compor o cálculo do SINR.

5.2. Avaliação Geral da Coexistência do Wi-Fi com LTE-U

Os resultados do BER mostram que as modulações candidatas impactam na coexistência com o Wi-Fi no espectro não licenciado, haja vista os diferentes desempenhos dessas modulações sem a aplicação de técnica de coexistência, conforme as Figuras 5(a), 5(b) e 5(c). Por outro lado, percebe-se uma melhor vantagem ao tráfego Wi-Fi quando o LTE-U modula em F-OFDM e UFMC, mesmo modificando a quantidade de usuários, tornando-se perceptível portanto, que tais modulações candidatas proporcionam diferentes desem-

penhos, impactando no tráfego do Wi-Fi.

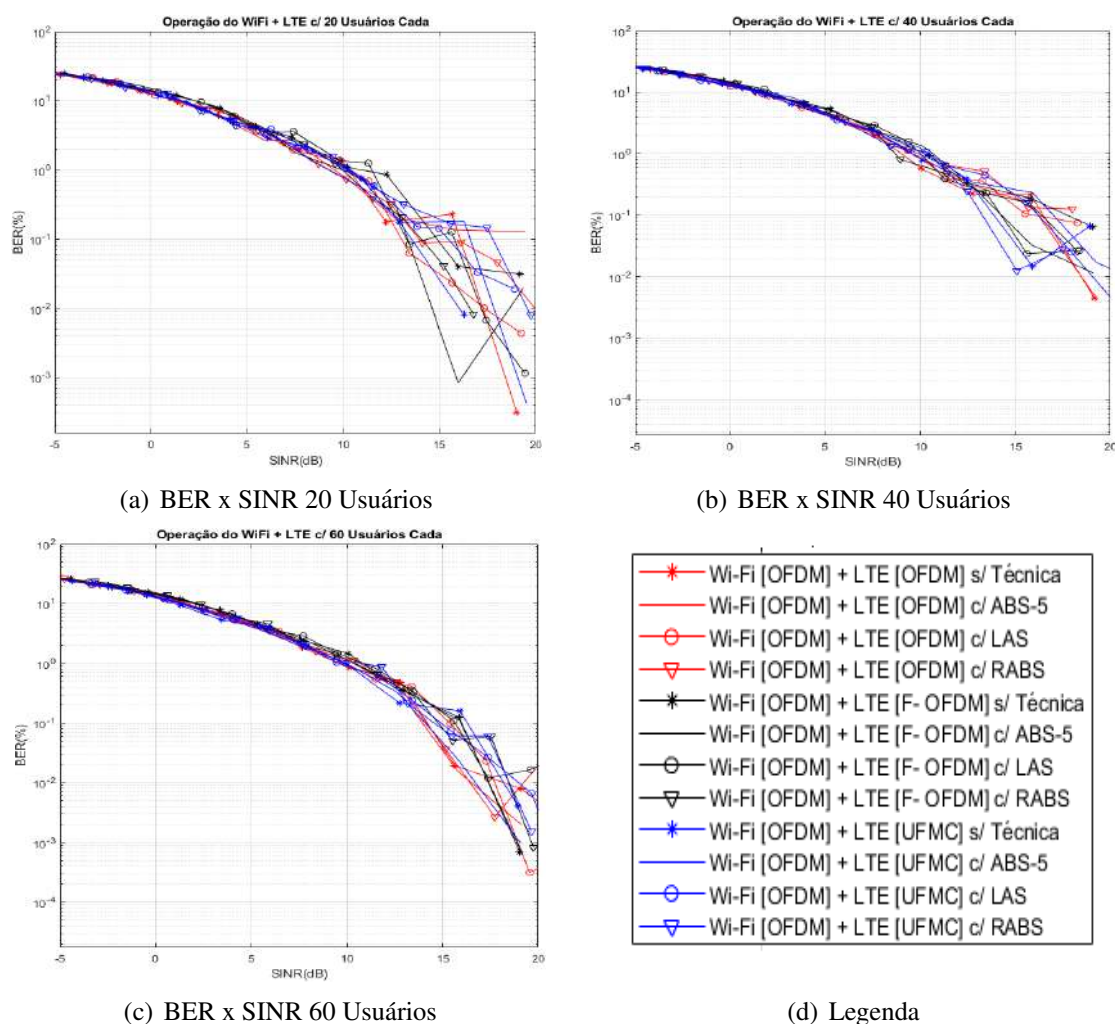


Figura 5. BER x SINR Nó Wi-Fi, do autor.

As Figuras 6(a), 6(b) e 6(c) mostram que, à medida que o cenário torna-se denso, as técnicas de coexistência começam a proporcionar melhor desempenho ao tráfego Wi-Fi, proporcionado pela combinação das técnicas propostas de coexistência LAS e RABS em comparação com a técnica ABS, quando combinadas com as modulações OFDM, F-OFDM e UFMC empregadas pelo LTE-U.

As Figuras 7(a), 7(b) e 7(c) mostram as vazões alcançadas por cada modulação, com e sem a combinação das técnicas de coexistência, que compatibilizam-se com o PER das Figuras 6(a), 6(b) e 6(c), respectivamente, confirmando que as técnicas propostas de coexistência LAS e RABS conseguem otimizar o tráfego Wi-Fi em comparação com a ABS.

Logo, é possível perceber que o tráfego Wi-Fi sofre tanto o impacto da modulação empregada no LTE-U quanto da combinação da técnica de coexistência. As modulações F-OFDM e UFMC em comparação à OFDM (emprego atual no LTE) conseguiram favorecer o tráfego Wi-Fi na maioria das variações de número de nós e nos parâmetros PER e Vazão, isso porque a F-OFDM utiliza filtro nas sub-bandas e a UFMC uma filtragem com

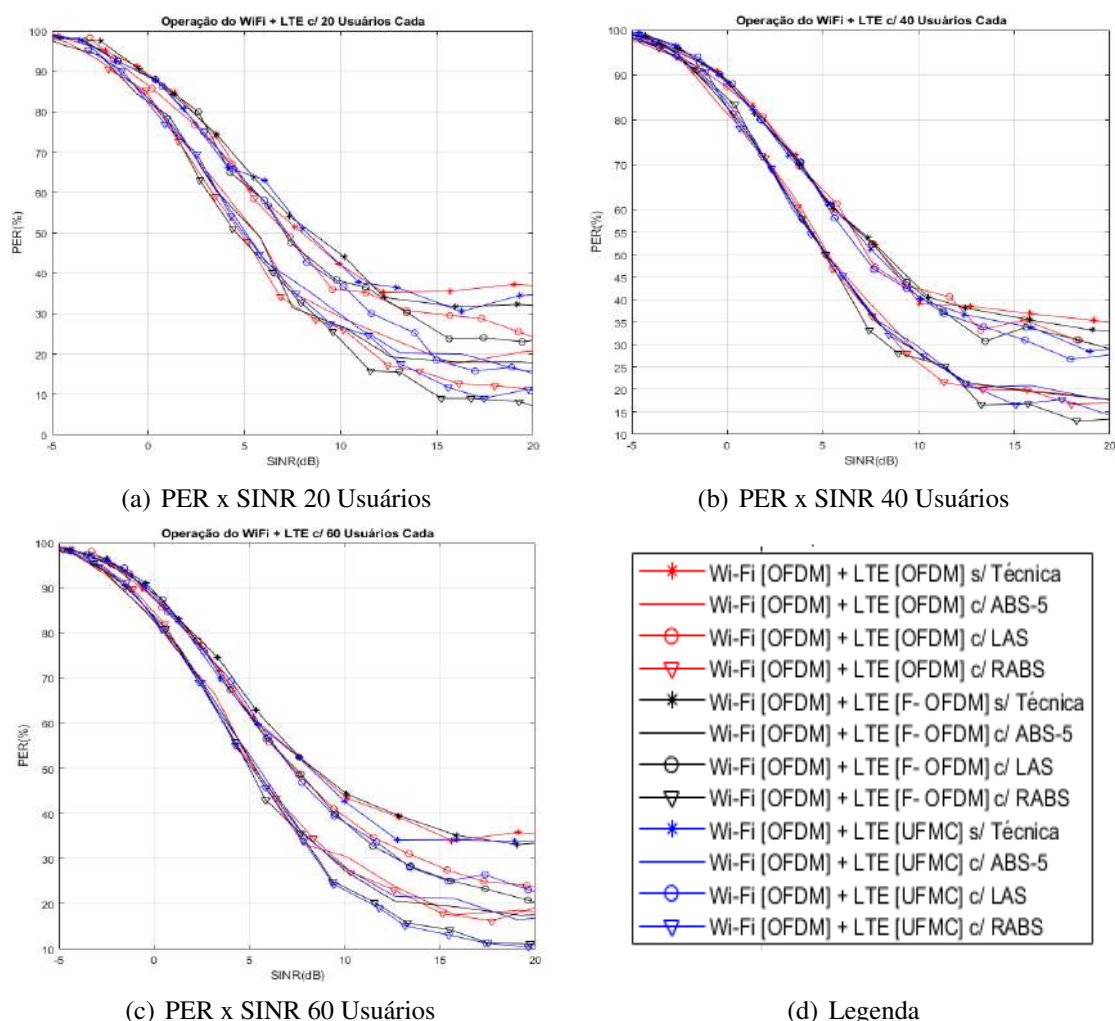


Figura 6. PER x SINR Nó Wi-Fi, do autor.

granularidade mais fina (sub-banda e subportadora) que resulta em baixa OoBE, menor ISI e boa eficiência espectral. Por outro lado, a técnica proposta RABS obteve os melhores índices de PER e Vazão quando empregadas com as modulações candidatas F-OFDM e UFMC.

6. Conclusão e Trabalhos Futuros

Esse trabalho propôs duas técnicas de coexistência para combinar às modulações do LTE-U, no espectro não licenciado de 5 GHz, na operação simultânea entre o LTE-U e Wi-Fi, em um cenário denso, similar a *small cell*, onde utilizam aplicações para troca de mensagens em rede social online e/ou acesso a vídeos nas mais diversas plataformas de *streaming*, alterando-se o padrão de modulação do LTE-U de OFDM para F-OFDM e UFMC a cada simulação, bem como combinando-as com as técnicas de coexistência ABS, LAS e RABS.

Desse modo, é possível identificar a melhora do tráfego Wi-Fi ao combinar a técnica de coexistência RABS com as modulações F-OFDM e UFMC, empregadas no LTE-U. Com a operação da F-OFDM pelo LTE-U o tráfego Wi-Fi obteve as médias de

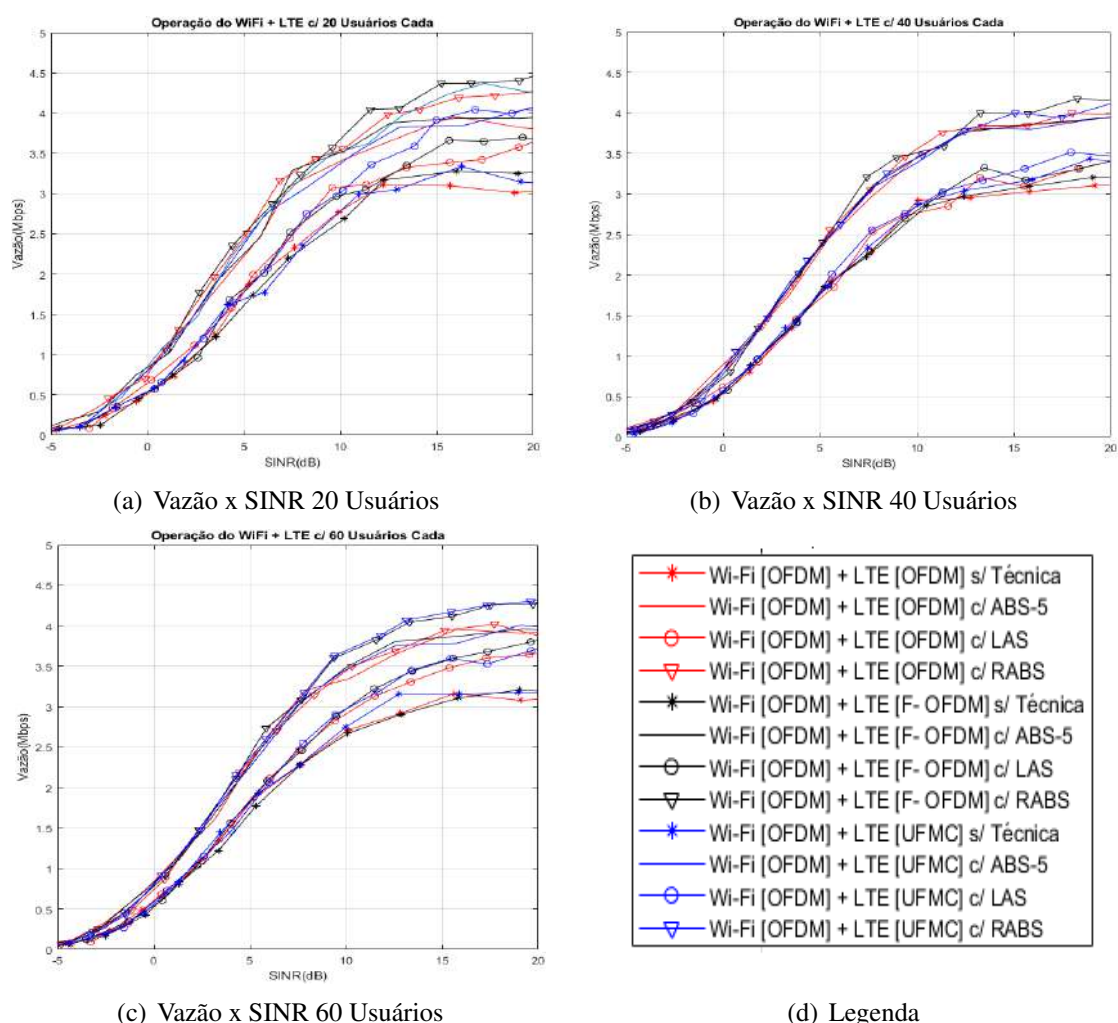


Figura 7. Vazão x SINR Nó Wi-Fi, do autor.

12% de PER com 4,3Mbps de Vazão, com a UFMC as médias foram de 11,6% de PER com 4,2Mbps de Vazão. Essas foram as melhores taxas de desempenho para o tráfego Wi-Fi na coexistência com o LTE-U.

Como trabalho futuro, pretendemos implementar um mecanismo de “escuta” do canal, similar ao da técnica LBT, a fim do LTE-U monitorar o canal de forma mais inteligente por meio de algoritmos de aprendizagem de máquina para que se possa adaptar a técnica RABS de forma mais dinâmica e inteligente conforme a intensidade do uso do canal pelo Wi-Fi.

Referências

- 3GPP (2009). Release 10 - 3rd generation partnership project (3gpp). <http://www.3gpp.org/specifications/releases/70-release-10.html>. Acessado: 20 out. 2018.
- 3GPP (2016). Release 13 - 3rd generation partnership project (3gpp). <http://www.3gpp.org/release-13>. Acessado: 13 jul. 2019.

- Abinader, F. M., de Sousa, V. A., Choudhury, S., Chaves, F. S., Cavalcante, A. M., Almeida, E. P. L., Vieira, R. D., Tuomaala, E., and Doppler, K. (2018). Lte/wi-fi coexistence in 5 ghz ism spectrum: Issues, solutions and perspectives. *Wireless Personal Communications*, 99(1):403–430.
- Beard, C. and Stallings, W. (2016). *Wireless Communication Networks and Systems*. Pearson.
- Bocanegra, C., Kennouche, T. E., Li, Z., Favalli, L., Felice, M. D., and Chowdhury, K. (2019). E-fi: Evasive wi-fi measures for surviving lte within 5 ghz unlicensed band. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 18(4):830–844.
- Bonatelli, C. (2020). Redes 5g começam a chegar ao brasil, mas conexão ficará aquém do potencial. <https://link.estadao.com.br/noticias/cultura-digital,redes-5g-comecam-a-chegar-ao-brasil-mas-conexao-ficara-aquem-do-potencial,70003365488>. Acessado: 20 jul. 2020.
- CISCO (2020). Cisco visual networking index: Global mobile data traffic forecast update, 2018–2023 white paper. Acessado: 13 abr. 2020.
- Cui, H., Leung, V. C. M., Li, S., and Wang, X. (2017). Lte in the unlicensed band: Overview, challenges, and opportunities. *IEEE Wireless Communications*, 24(4):99–105.
- FCC (2016a). Part 15 - radio frequency devices. <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=c79f7d57696072cbela68ca0870b1375&mc=true&node=pt47.1.15&rgn=div5>. Acessado: 20 abr. 2020.
- FCC (2016b). Special temporary authorization. <https://apps.fcc.gov/els/GetAtt.html?id=172096&x>. Acessado: 18 jul. 2019.
- FCC (2018). Fcc test report. <https://apps.fcc.gov/els/GetAtt.html?id=172096&x>. Acessado: 18 jul. 2019.
- Gerzaguat, R., Bartzoudis, N., Baltar, L. G., Berg, V., Doré, J.-B., Kténas, D., Font-Bach, O., Mestre, X., Payaró, M., Färber, M., and Roth, K. (2017). The 5g candidate waveform race: a comparison of complexity and performance. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2017(1):13.
- Huang, Y., Chen, Y., Hou, Y. T., Lou, W., and Reed, J. H. (2018). Recent advances of lte/wifi coexistence in unlicensed spectrum. *IEEE Network*, 32(2):107–113.
- Ichkov, A., Atanasovski, V., and Gavrilovska, L. (2017). Potentials for application of millimeter wave communications in cellular networks. *Wireless Personal Communications*, 92(1):279–295.
- ITU, I. T. U. (2012). Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 900 mhz to 100 ghz. *Recomendations ITU-R, P Series*(p.1238-7).
- Liu, Y., Chen, X., Zhong, Z., Ai, B., Miao, D., Zhao, Z., Sun, J., Teng, Y., and Guan, H. (2016). Waveform candidates for 5g networks: Analysis and comparison. *CoRR*, abs/1609.02427.

- Lizeaga, A., Rodriguez, P., Val, I., and Mendicute, M. (2017). Evaluation of wcp-coqam, gfdm-oqam and fbmc-oqam for industrial wireless communications with cognitive radio. *Journal of Computer Networks and Communications*.
- MULTEFIRE (2018). Multefire specification 1.0.1. <https://www.multefire.org/mfa-v1-0-january-2018/>. Acessado: 18 jul. 2019.
- QUALCOMM (2014). Qualcomm research lte in unlicensed spectrum: Harmonious coexistence with wi-fi. <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/lte-unlicensed-coexistence-whitepaper.pdf>. Acessado: 18 jul. 2018.
- Sun, H., Fang, Z., Liu, Q., Lu, Z., and Zhu, T. (2017). Enabling lte and wifi coexisting in 5 ghz for efficient spectrum utilization. 2017:1–17.
- Tariq, M., Anjum, M. R., and Amjad, M. (2018). Design of simulation system for lte-u using 5 ghz band in matlab. *Wireless Personal Communications*, 100(4):1661–1676.

Aplicação do Algoritmo de Levenberg Marquardt para Modelagem na Alocação de Potência para Usuários LTE na Faixa de 3.5 GHz com Diferentes CQI

Hudson H. S. Lopes, Flávio G. C. Rocha

Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação
Universidade Federal de Goiás (UFG)
Caixa Postal 74605-010 – Goiânia – GO – Brasil

hudson.hsl@gmail.com, flaviogcr@ufg.br

Abstract. *Using the Levenberg-Marquardt (LM) algorithm for parameter estimation, we present in this article sigmoidal-like utility functions that model the probability of success in the transmission of packets per unit of power consumed by a user. Simulation is proposed in network mobile for users located under the coverage area of the small cells, with the 3.5 GHz band and with different modulation and coding schemes (MCS) standardized in 3rd Generation Partnership Project (3GPP).*

Resumo. *Utilizando o algoritmo de Levenberg-Marquardt (LM) para estimação de parâmetros, apresentamos neste artigo as funções de utilidade sigmoidal que modelam a probabilidade de sucesso por unidade de potência consumida por um usuário. A simulação é proposta em redes móveis para os usuários localizados sob a área de cobertura das pequenas células, com uma faixa de 3,5 GHz e com diferentes Esquemas de Modulação e Codificação (MCS - Modulation and Coding Schemes) padronizados no Projeto de Parceria de Terceira Geração (3GPP - 3rd Generation Partnership Project).*

1. Introdução

A quinta geração de comunicação móvel (5G) surgiu com o intuito de atender diversas exigências oriundas do advento de aplicações sofisticadas que demandam baixa latência, alta taxa de transmissão e um grande número de dispositivos conectados. Essas demandas implicam em mudanças significativas na infraestrutura das redes de telecomunicações. A próxima evolução do (LTE - *Long Term Evolution*), LTE Release 12 e posteriores, conhecida como o LTE-*Broadcast* (LTE-B) suporta esquemas de modulação mais altos até 256- Modulação de Amplitude em Quadratura (QAM- *Quadrature Amplitude Modulation*). Esquemas de modulações mais altos requerem maior potência de transmissão para alcançar uma certa Relação Sinal Ruído (SNR - *Signal to Noise Ratio*) que possa garantir uma probabilidade mínima de sucesso na transmissão de pacotes [Abdelhadi et al 2015].

Os gastos operacionais das Estação Rádio Base (BS - *Base Station*) alimentadas pela rede elétrica chegam a US\$ 3000 por ano, enquanto as BS localizadas em áreas remotas, que funcionam a diesel, podem custar dez vezes mais, entre os tópicos de interesse em *green communications* está a análise da eficiência energética para maximizar a quantidade de informação transmitida e garantir a Qualidade de Serviço (QoS - *Quality*

of Service) mínima exigida pelos Equipamento dos Usuários (UEs - *User Equipments*) [Hasan et al 2011].

Diante dos desafios encontrados diversos projetos de pesquisa têm sido desenvolvidos. Lee [Lee and Kwon 2009], estuda os problemas de alocação de energia em sistemas sem fio através de uma estrutura de maximização da utilidade da rede, no seu trabalho foi considerado quatro tipos de funções de utilidade que podem representar a maioria dos serviços em redes sem fio.

Shajaiah [Shajaiah et al. 2014] em seu trabalho considera o problema da otimização da alocação de recursos em redes celulares para vários usuários, rodando diferentes tipos de aplicações simultaneamente. A cada aplicação do usuário é atribuída uma função de utilidade que representa o tipo de aplicação. O objetivo é alocar os recursos de forma otimizada, sobre uma política de justiça proporcional com prioridade para os usuários de aplicações em tempo real.

Wang [Wang et al 2016] apresenta o resultado de um algoritmo para alocação ótima de potência para usuários LTE com diferentes modulações. Em [Abdelhadi and Clancy 2016] os autores propõem uma arquitetura para redes celulares que combina alocação de recursos com consciência de conteúdo, tempo e localização para sistemas sem fio de banda larga da próxima geração.

Este artigo tem como objetivo estimar os parâmetros de uma função utilidade para diferentes Indicadores de Qualidade do Canal (CQI - *Channel Quality Indicator*) utilizando o algoritmo de Levenberg-Marquardt (LM), as funções representam a probabilidade de sucesso na transmissão de pacotes em função da potência de alocação da BS, podendo assim, utilizar essas funções em um problema de otimização para maximização de eficiência energética.

No desenvolvimento do que é proposto, apresenta-se a seguinte ordem: na seção II, é mostrado o modelo do sistema. Na seção III, apresenta o modelo de transmissão de pacotes e a influência da SNR, taxa de codificação e a probabilidade de erro bit. Na seção IV, é mapeado a probabilidade de sucesso do pacote em função das potências de transmissão e recepção. Na seção V, discorre sobre o ajuste de curvas não linear usando o método de LM. Na seção VI, são apresentados os resultados das simulações. Finalmente, na seção VII, são apresentadas as principais conclusões, bem como possíveis trabalhos futuros a serem desenvolvidos.

2. Modelo do Sistema

O modelo do sistema de comunicação móvel é proposto no sentido *downlink* e consiste em uma pequena célula - *small cell* com uma única BS e 15 UEs, conforme mostra a Figura 1. Cada UE tem um CQI diferente baseado em sua distância da BS. A cada intervalo de tempo de transmissão é realizado a alocação de energia para os UEs.

É considerado a Multiplexação por Divisão de Frequências Ortogonais (OFDM - *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) como a técnica na transmissão LTE *downlink*, que permite a transmissão simultânea de diferentes pacotes de dados, atribuindo diferentes frequências ao usuário. No domínio do tempo, a duração do *frame downlink* é 10ms. Este *frames* são divididos em 10 *sub-frames* que representa um intervalo de tempo de transmissão (TTI - *Transmission Time Interval*) de 1 ms.

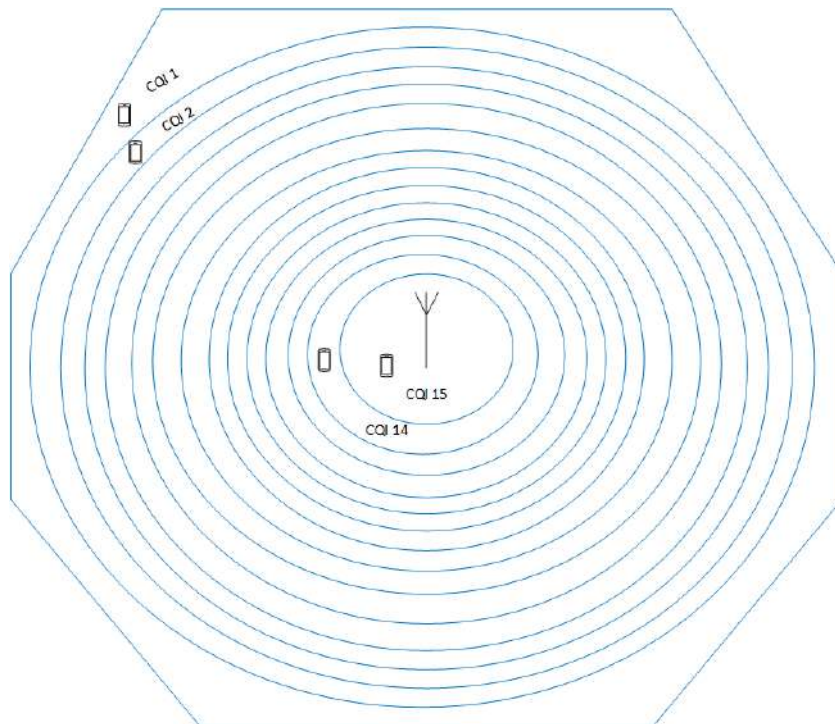


Figura 1. Modelo do sistema de comunicação móvel

2.1. Indicador de Qualidade do Canal (CQI)

CQI é o *feedback* que o UE envia para BS para indicar a taxa de dados que pode ser suportada pelo canal de *downlink*. O CQI é calculado na BS com base nos parâmetros estimado do canal pelo SNR. A BS seleciona um esquema de modulação e codificação apropriado com base nos valores do CQI conforme mostra a Tabela 1 [E-UTRA 2015].

Tabela 1. Indicador de Qualidade do Canal CQI.

Indice	Modulação	Taxa de Código	Eficiência
1	QPSK	0,076	0,152
2	QPSK	0,188	0,388
3	QPSK	0,430	0,877
4	16QAM	0,369	1,476
5	16QAM	0,478	1,914
6	16QAM	0,601	2,406
7	64QAM	0,455	2,730
8	64QAM	0,553	3,322
9	64QAM	0,650	3,902
10	64QAM	0,705	4,523
11	64QAM	0,852	5,115
12	256QAM	0,694	5,554
13	256QAM	0,778	6,226
14	256QAM	0,863	6,907
15	256QAM	0,925	7,406

3. Transmissão de Pacotes Downlink

Em sistemas de comunicações digitais a informação é enviada em pacotes. Se tivermos algum mecanismo de controle e detecção de erros, como no caso da codificação ou códigos detectores de erro, podemos solicitar a retransmissão do pacote caso seja identificado um erro.

Supondo que um pacote contém N_b bits de informação e a codificação do canal aumenta o tamanho do pacote para $L > N_b$ bits, e que os erros ocorram independentemente com probabilidade P_e . A probabilidade de que todos os bits sejam recebidos corretamente P_s é dada por:

$$P_s = (1 - P_e)^{N_b}. \quad (1)$$

A probabilidade de erro de símbolo para uma constelação com M-QAM depende do número de pontos M porque a probabilidade de erro é denominada pela distância mínima entre os pares de ponto de sinal. No caso especial em que a constelação é quadrada, é possível derivar uma expressão para a probabilidade de erro. Para este caso em particular a distância desta constelação é dada pela equação (2) [Proakis 2000].

$$d_{min} = \sqrt{\frac{6 \log_2 M}{M - 1} \epsilon}, \quad (2)$$

onde ϵ é a energia por bit.

Neste trabalho serão utilizadas somente as modulações M-QAM quadradas da Tabela 1, sendo assim, conforme Proakis [Proakis 2000] a probabilidade de ter um bit errado na detecção para esta constelação é dada por:

$$P_e = 4 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) Q \left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M}{(M - 1) N} \epsilon} \right) X \left(1 - \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) Q \left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M}{(M - 1) N} \epsilon} \right) \right), \quad (3)$$

onde N é a densidade espectral de potência do ruído e a função $Q(\cdot)$ corresponde à área da cauda de uma Gaussiana de média nula e variância unitária representada pela equação (4).

$$Q(x) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{\sqrt{2}} \right). \quad (4)$$

onde erfc é a função de erro complementar de Gauss e é representado por uma integral numérica.

3.1. Codificação do Canal

A codificação do canal consiste em tornar o canal de comunicação mais robusto, uma vez que quanto mais longe o UE está da BS conforme modelamos, maior será a quantidade de bits de redundâncias e controle de erros inseridos no pacote enviado. Como mostra a Figura 2, $L > N_b$ a cada bit de informação são inseridos 11 bits de paridade, as redundâncias introduzida pelos $N_b - L$ bits de paridade permitem corrigir erros, o que pode conduzir a uma melhoria global do desempenho do sistema.



Figura 2. Codificação com taxa 1/12

A energia de sinal por símbolo ϵ_s é $\epsilon_s = N_b \epsilon$. Para calcular a energia de sinal por símbolo com codificação ϵ_c temos a equação (5).

$$\begin{aligned} L\epsilon_c &= \epsilon_s = N_b \epsilon \\ \epsilon_c &= \frac{N_b}{L} \epsilon, \end{aligned} \quad (5)$$

onde $\frac{N_b}{L}$ é a taxa de código R_c .

Sendo assim, com uso de codificação a energia por símbolo diminui, consequentemente, conforme demonstrado em [Lathi 2012] a probabilidade de erro de bit para o canal codificado é maior e é dado pela equação (6).

$$\begin{aligned} P_{ec} &= \binom{L-1}{t} (P_e)^{(t+1)} (1 - P_e)^{L-(t+1)} \\ &\approx \binom{L-1}{t} (P_e)^{(t+1)} \quad P_e \ll 1, \end{aligned} \quad (6)$$

onde t é o número de erros.

Neste trabalho é considerado o caso ideal, onde o decodificador não tentará corrigir a palavra de código quando houver mais que 1 erro em N_b bits de informação, ou seja, $t = 1$.

4. SNR e Potência

Foi calculado a probabilidade de sucesso no recebimento e envio de pacotes para diferentes valores de SNR. A potência que precisa chegar no receptor é obtida adicionando uma potência de ruído em dBm no receptor de *downlink* conforme a equação (7), que neste trabalho foi considerado uma potência de ruído $P_{ruído}$ de aproximadamente 2×10^{-17} W ou -137 dBm.

$$Pr_i = SNR + P_{ruído}. \quad (7)$$

A Figura 3, mostra a relação entre probabilidade do pacote ser recebido sem erros pela potência no receptor Pr_i (dBm) para o UE_i .

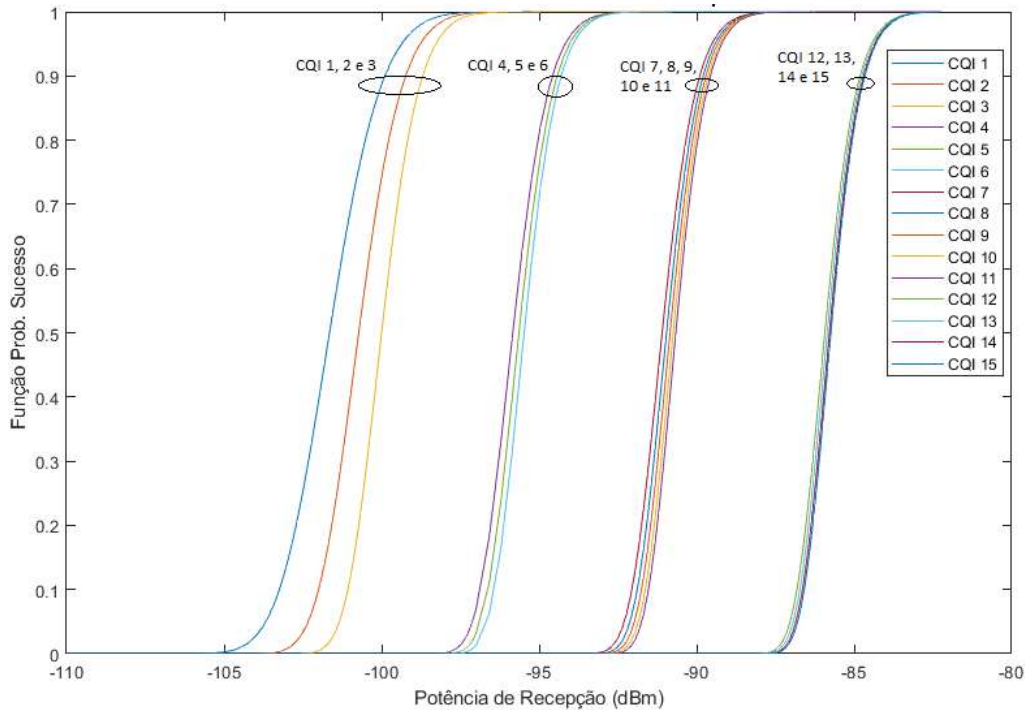


Figura 3. Prob. de sucesso no recebimento de pacote pela potência no receptor

A tabela 2 mostra a potência mínima que deve chegar ao usuário referente a cada CQI para se garantir uma QoS de 95% de sucesso na recepção de pacotes.

Tabela 2. Potência no receptor do UEs e a QoS de 95% para cada CQI

CQI	Potência de Recepção (W)
1	1,17E-13
2	1,33E-13
3	1,49E-13
4	3,99E-13
5	4,19E-13
6	1,13E-12
7	1,15E-12
8	1,17E-12
9	1,19E-12
10	1,21E-12
11	1,23E-12
12	3,61E-12
13	3,65E-12
14	3,69E-12
15	3,71E-12

Para calcular a potência de transmissão em função do SNR denotado pela função $\Phi_i(Pt_i)$ é utilizado o sistema hipotético em [Lee et al 2005], abordagens similares são feitas em [Lee and Kwon 2009], [Abdelhadi et al 2015]. Os parâmetros desse sistema são:

- Pt_i é a potência de alocação para o UE_i ;
- G_i é o ganho do caminho entre a BS e o UE;
- N_i é uma constante (por exemplo, ganho de processamento);
- I_i é o ruído e a interferência entre células;
- A_i é a "goodness" do ambiente de transmissão, que é definido por $\frac{I_i}{G_i}$;
- θ é o fator de ortogonalidade;
- P_{bs} é potência total da BS.

$$\Phi_i(Pt_i) = \frac{N_i G_i Pt_i}{G_i \theta (\sum_{i=1}^J (Pt_i) - Pt_i) + I_i} = \frac{N_i Pt_i}{\theta (P_{bs} - Pt_i) + A_i}. \quad (8)$$

Considerando um pacote de 1024 bits com codificação de canal, conforme em [Lee et al 2005], os parâmetros foram configurados como: $P_{bs} = 10$, $\theta = 1$, $N_i = 16$ e $A_i = 0,7407$.

Assumimos que a probabilidade de sucesso na transmissão de pacotes em uma rede sem fio pode ser representado por uma função sigmoïdal em função da sua potência de alocação. A Figura 4 mostra um exemplo de diversas funções sigmoïdas, cada uma delas construída para cada valor de CQI da Tabela 1 e obtidas a partir de diversos valores de SNR.

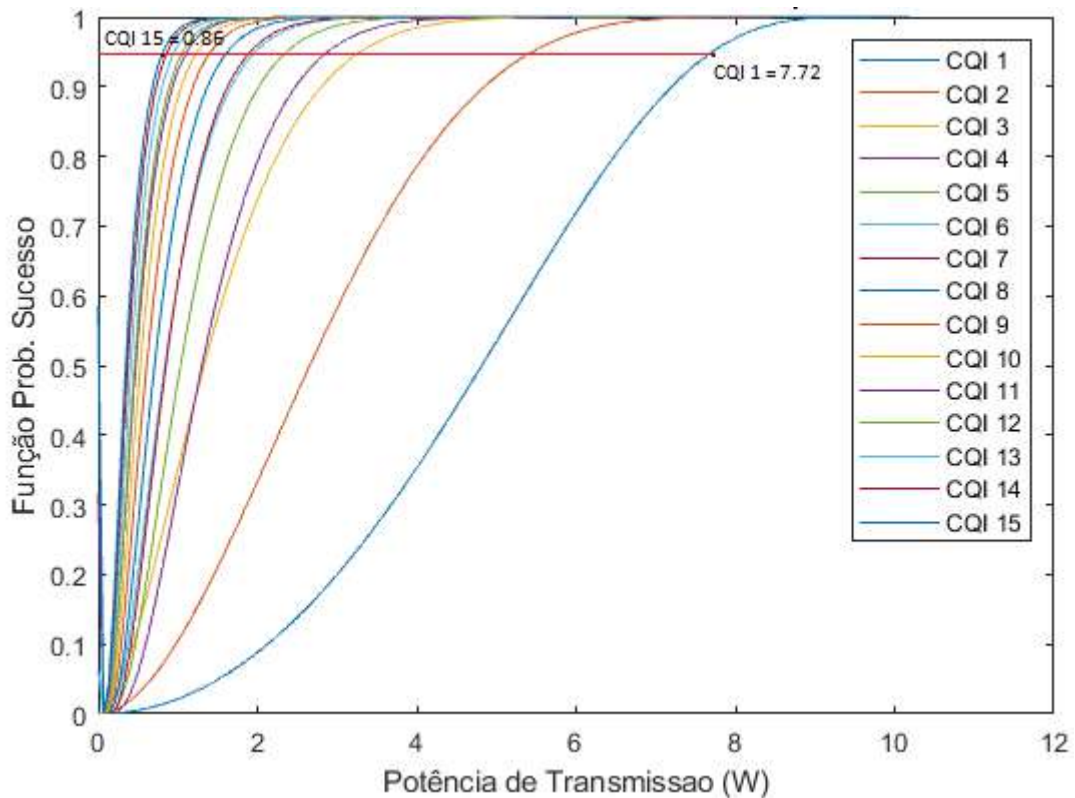


Figura 4. Prob. de sucesso no envio de pacote pela potência de transmissão

A tabela 3 mostra a potência mínima que deve ser alocada para a transmissão referente a cada CQI para se garantir um QoS de 95% de sucesso no envio de pacotes.

Tabela 3. Potência Alocada pela BS e a QoS de 95% para cada CQI

CQI	Potência de Transmissão (W)
1	7,72
2	5,53
3	3,30
4	2,89
5	2,39
6	1,97
7	1,92
8	1,64
9	1,45
10	1,24
11	1,14
12	1,08
13	0,97
14	0,92
15	0,86

5. Algoritmo de Levenberg Marquardt

A função de utilidade pode representar a satisfação ou a qualidade do serviço de um usuário e pode ser utilizada para controlar a eficiência e a imparcialidade na alocação de recursos.

Para modelagem da probabilidade de sucesso no envio de pacotes em função da potência de alocação foi utilizado a função utilidade tipo sigmoideal normalizada, como em [Wang et al 2016], e pode ser representada como:

$$U_i(\Phi_i(Pt_i)) = c_i \left(\frac{1}{1 + e^{-a_i(Pt_i - b_i)}} - d_i \right), \quad (9)$$

onde $c_i = 1 + \frac{1}{e^{a_i \cdot b_i}}$ e $d_i = \frac{1}{1 + e^{a_i \cdot b_i}}$. Assim satisfazendo a seguintes condições $U_i(0) = 0$ e $U_i(\infty) = 1$.

Nesta pesquisa foi utilizado o método de LM, conforme a equação (10), para identificar os parâmetros das funções de utilidade para diferentes CQIs. A matriz Jacobiana de F aplicado em Pt é denotada por $F'(Pt)$, mas se tivermos uma sequência de vetores $\{Pt_k\}$, então J_k é usados em vez de $F'(Pt_k)$ [Moré 1977].

$$(J_k^T(p)J_k(p) + \lambda_k I)d = -J_k^T(p)R_k(p), \quad (10)$$

onde $p = [a_i, b_i]$ e k é o número de pontos.

Seja $F(Pt_i)$ a probabilidade de sucesso em função da Pt e o vetor de resíduos $R(p)$ que representa a diferença entre o valor esperado e o valor estimado definido pela equação (11). O objetivo de aplicar o método LM é obter os valores de a_i e b_i que minimizem o Erro Quadrático Médio (EQM) dado pela equação (12) para cada CQI i .

$$R_i(Pt, p) = F_i(Pt) - U_i(Pt, p). \quad (11)$$

$$EQM_i = \frac{1}{k} \sum_{n=1}^k (R_i(Pt_n, p))^2. \quad (12)$$

Apresentada por Nielsen [Nielsen et al 2005] e utilizado nessa pesquisa, a estratégia para atualização do parâmetro λ_k , consiste em evitar grandes saltos entre iterações consecutivas, pois grandes oscilações de λ_k podem exigir maiores esforços para obtenção de um valor admissível. Considerando as constantes reais $\eta > 0$, $\mu > 1$ e $\beta > 0$, e um inteiro positivo ímpar l , sendo então o processo descrito por [Nielsen et al 2005] é dado por:

Se $\rho_k > \eta$, faça

$$\lambda_{k+1} = \lambda_k \max \left\{ \frac{1}{\mu}, 1 - (\beta - 1)(2\rho_k - 1)^l \right\}; v = \beta. \quad (13)$$

Senão

$$\lambda_{k+1} = \lambda_k v; v = 2v. \quad (14)$$

onde ρ é o coeficiente de redução relativa e é dado pela equação (15):

$$\rho_k = \frac{F(p_k) - F(p_k + d_k)}{m_k(0) - m(d_k)}, \quad (15)$$

onde $m_k(d)$ é a aproximação quadrática de F no ponto p_k representado pela equação (16).

$$m_k(d) = F(p_k) + F'(p_k)^T d + 0.5d^T (J_k^T(p_k) J_k(p_k) + \lambda_k I) d. \quad (16)$$

Em [Madsen et al 2004] os autores propõem $\beta = 2$, neste artigo foi considerado $\eta = 0.25$, $\mu = 3$, $l = 3$ e os parâmetros iniciais $v_0 = 2$ e λ_0 definido pela equação (17):

$$\lambda_0 = \max \left\{ \epsilon_{abs} * \max(\text{diag}(J_k^T(p_0) J_k(p_0))), \epsilon_{rel} \right\}, \quad (17)$$

onde $\epsilon_{abs} = 10^{-10}$ e $\epsilon_{rel} = 10^{-12}$.

Como comprovado em [Abdelhadi et al 2015], o log das funções de utilidade $U_i(\Phi_i(Pt_i))$ em um problema de otimização são funções estritamente côncavas e portanto, o problema de otimização é convexo e existe uma solução ideal global única e traçável. Sendo assim, a alocação ótima de potência e a equidade da utilidade do problema pode ser formulado como:

$$\text{Maximize(P)} \quad \prod_{i=0}^J \log(U_i(\Phi_i(Pt_i))) \quad (18)$$

$$\text{Sujeito a} \quad \sum_{i=1}^J Pt_i \leq P_{bs}, \quad (19)$$

$$Pt_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, J. \quad P_{bs} \geq 0, \quad (20)$$

onde J é o número de UEs e $P = Pt_1, Pt_2, \dots, Pt_J$.

A função objetivo em (18) garante uma alocação de potência não zero para todos os usuários. Sendo assim, o problema de otimização garante uma QoS mínima para todos os usuários. Além disso, esta abordagem aloca mais potência aos usuários com esquemas de modulação mais baixos, proporcionando melhoria na QoS do sistema celular. O objetivo do problema de otimização é alocar potência a cada UE que maximize o produto das utilidades de todas as UEs.

O problema de otimização tem duas restrições que são discutidas a seguir: em (19) a BS precisa alocar potência a todos os UEs, mantendo-se dentro de sua disponibilidade de potência. Em (20) é assegurado que seja alocado potência não nula a todas as UEs, ou seja, quando o $P_{bs} \neq 0$, $Pt_i > 0$ para todos os UEs atendendo a um critério mínimo de QoS para todos os usuários da rede móvel. O caso em que $Pt_i = 0$ é apenas quando $P_{bs} = 0$.

6. Resultados e Discussões

A faixa de 3,5 GHz é uma faixa ideal para uso compartilhado do espectro e implantações de pequenas células devido a sua menor cobertura. Através do relatório *Fast Track* o Instituto Nacional de Normas e de Tecnologia (NTIA - *National Institute of Standards and Technology*) identificaram a faixa de 3,5 GHz para um potencial compartilhamento no uso de banda larga federal e não federal. Esta faixa é muito favorável para o uso comercial em sistemas celulares, como os sistemas LTE-B [Shajaiah et al. 2016].

A simulação da rede de telefonia móvel foi realizado com 1 BS e 15 UEs com CQI diferentes se comunicando na faixa de 3.5 GHz. A potência total P_{bs} na BS é de 10W que é um valor típico para a estação de rádio base de pequena célula - *Small Cell*.

Para o ajuste não linear das curvas foi utilizado o algoritmo LM considerando como critério de parada uma norma relativa $\frac{\max(\text{abs}(x_{k-1}-x_k))}{\max(\text{abs}(x_k))} = 1 \times 10^{-16}$ ou um máximo de 2000 iterações.

Os resultados são mostrados na Figura 5, os parâmetros das 15 funções de utilidade são exibidos na Tabela 4

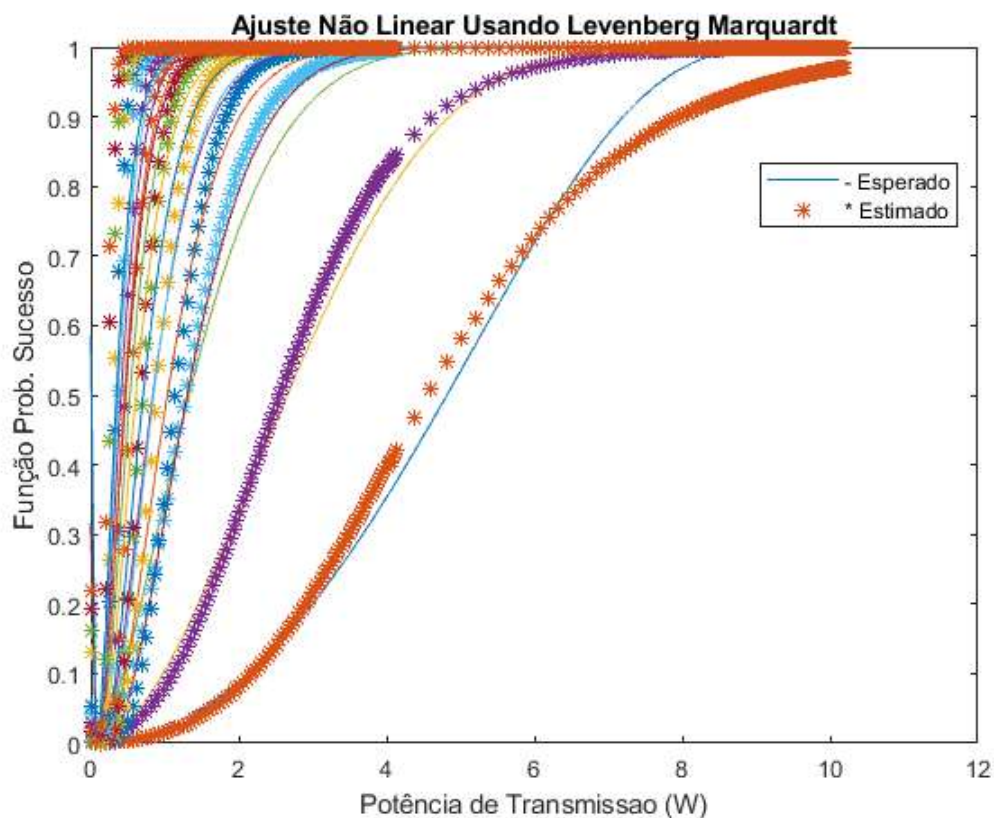


Figura 5. Potência parametrizada pela função utilidade

Os valores do erro quadrático médio (EQM) da parametrização estão satisfatórios e são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4. Parâmetros da Função de Utilidade para cada CQI

CQI	a	b	EQM
1	0,57	2,82	2,49E-04
2	0,94	1,45	2,40E-04
3	1,86	0,71	2,55E-04
4	2,90	0,83	6,80E-04
5	3,80	0,64	6,26E-04
6	4,89	0,51	5,76E-04
7	5,77	0,52	8,21E-04
8	7,28	0,42	7,53E-04
9	8,87	0,35	6,94E-04
10	10,68	0,30	6,38E-04
11	12,37	0,26	5,89E-04
12	14,29	0,25	6,65E-04
13	16,59	0,22	6,08E-04
14	18,98	0,19	5,54E-04
15	20,79	0,18	5,18E-04

Outra forma de avaliar o modelo é calculando a distância em que os UEs estão da BS. À medida que a distância se torna maior o nível de SNR diminui devido ao acréscimo de perda de propagação. Quanto mais longe estiver o UE da BS, menor será a potência que ela pode receber.

A relação entre a potência que chega no UE, a potência que é enviada pela BS e a distância que o UE está da BS é limitada pela equação (21) [Wang et al 2016].

Foram utilizados os seguintes valores para os parâmetros:

- f é a frequência da portadora (3,5 GHz);
- c é a velocidade da luz (3×10^8 m/s);
- α em ambiente urbano é 3,5.

$$Pr_i = \frac{Pt_i f}{c(4d_i\pi)^\alpha} \quad (21)$$

Em [Li et al 2011], uma função linear foi utilizada para mapear SNR (dBm) com o CQI. Os CQIs obtidos pela função (22) é o valor limiar sobre todos os blocos de recursos (RB) relatados de volta pelos UEs para a BS.

$$CQI = 0,5223SNR + 4,6176. \quad (22)$$

Utilizando os valores limiares é feito o mapeamento entre CQI, SNR e distância conforme mostra a Figura 6.

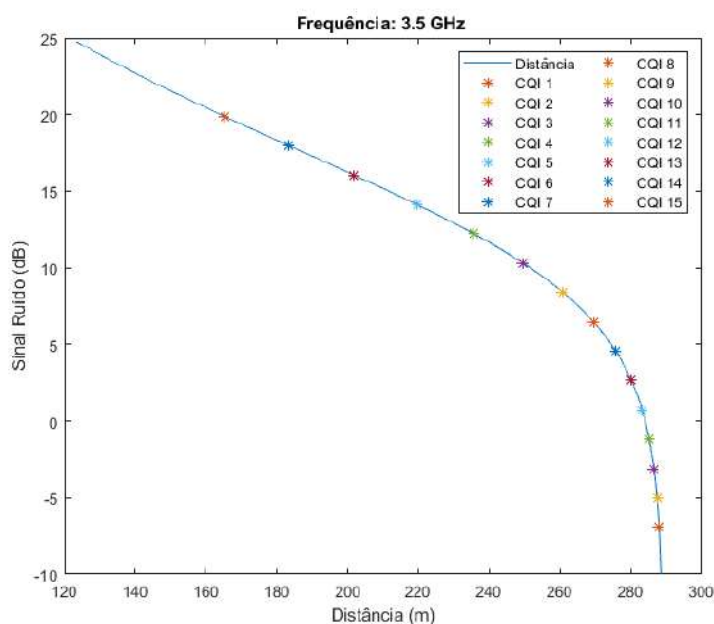


Figura 6. Mapeamento do CQI, SNR e a distância entre a UE e a BS

Conforme a Tabela 5 para uma frequência de 3.5 GHz, à medida que a UE se afasta da BS, assim como SNR o CQI diminui o que justifica um aumento na potência de alocação para se compensar as perdas de propagação e garantir um QoS mínimo para o UE. Os UEs com uma distância entre 1 m a 165 m da BS, têm a melhor qualidade de canal (CQI = 15) com modulação 256-QAM, a zona para a pior qualidade de canal (CQI = 1) está a 288 m da BS.

Tabela 5. Distância entre a UE e a BS na faixa de 3.5 GHz

CQI	Distância (m)
15	$d \leq 165,26$
14	$165,26 < d \leq 183,45$
13	$183,45 < d \leq 201,82$
12	$201,82 < d \leq 219,54$
11	$219,54 < d \leq 235,72$
10	$235,72 < d \leq 249,64$
9	$249,64 < d \leq 260,91$
8	$260,91 < d \leq 269,52$
7	$269,52 < d \leq 275,80$
6	$275,80 < d \leq 280,21$
5	$280,21 < d \leq 283,23$
4	$283,23 < d \leq 285,25$
3	$285,25 < d \leq 286,58$
2	$286,58 < d \leq 287,46$
1	$287,46 < d \leq 288,02$

7. Conclusões

Neste artigo, é feita uma implementação eficiente de uma versão do algoritmo LM que mostrou que tem fortes propriedades de convergência. Além da robustez, a principal característica desta implementação é a escolha do parâmetro λ , um regulador que deve proporcionar um decréscimo na função objetivo, e deve se aproximar de zero nos estágios finais do algoritmo, de maneira que a convergência quadrática do Método de Gauss-Newton seja resgatada.

Também, foram mapeados os valores padrão de CQI para as funções de utilidade sigmoidal, e encontrados os parâmetros que minimizam o erro quadrático médio entre os valores estimados e esperados. Foi verificado que os usuários com melhor qualidade de canal exigirá menos potência de transmissão da BS para receber um QoS mínimo. Além disso, foi mapeado o CQI e SNR com a distância entre o UE e a BS.

O desenvolvimento utilizando o Matlab possibilitou muitas implementações, correções de código e testes em pouco tempo, pois, com um conhecimento da ferramenta, o desenvolvimento dentro dela é rápido. Para projetos futuros, pode-se utilizar algoritmos para realizar a alocação ótima de potência conforme o problema de otimização e comparar os resultados.

Referências

- Abdelhadi, A. and Clancy, T.C. (2016) ‘Optimal context-aware resource allocation in cellular networks’, *2016 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)*, Kauai, pp. 1–5,
- Abdelhadi, A., Khawar, A. and Clancy, T.C. (2015) ‘Optimal downlink power allocation in cellular networks’, *Physical Communication*, Vol. 17, pp. 1–14,
- Hasan, Z., Boostanimehr, H. and Bhargava, V.K. (2011) ‘Green Cellular Networks: A Survey, Some Research Issues and Challenges’, *IEEE Communications Surveys Tutorials*, Vol. 13, No. 4, pp. 524–540.
- Lathi, B.P. *Sistemas de Comunicação Analógicos e Digitais Modernos*. 4.Ed. Rio de Janeiro: Bookman, 2012.
- Lee, J., Mazumdar, R.R. and Shroff, N.B. (2005) ‘Downlink power allocation for multi-class wireless systems’, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 13, No. 4, pp. 854–867.
- Lee, J. and Kwon, J. (2009) ‘Utility-Based Power Allocation for Multiclass Wireless Systems’, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 58, No. 7, pp. 3813–3819.
- Li, X., Fang, Q. and Shi, L. (2011) ‘A effective SINR link to system mapping method for CQI feedback in TD-LTE system’, *IEEE 2nd International Conference on Computing, Control and Industrial Engineering*, pp. 208–211.
- Madsen, K. Nielsen, H.B. and Tingleff, O. (2004) ‘Methods for non-linear leastsquares problems’, *2.ed. Lecture note, Informatics and Mathematical Modelling*, Technical University of Denmark, Lyngby, Dinamarca,
- Moré, J.J. (1977) ‘The Levenberg-Marquardt algorithm: implementation and theory’. *Em Proceedings of the 1977 Dundee conference on numerical analysis*, Lecture Notes in Mathematics 630. G. A. Watson. (ed.) Berlin, Springer, pp. 105–116
- Nielsen, H.B. (2005) ‘Damping parameter in Marquardt’s method’. *Report IMM-REP1999-05*, Technical University of Denmark, Lyngby, Dinamarca.
- Proakis, J.G. *Digital Communications*, 4th ed. New York: McGraw Hill, 2000.
- Shajaiah, H., Abdelhadi, A. and C. Clancy, (2016) ‘An application-aware spectrum sharing approach for commercial use of 3.5 GHz spectrum’, *Annual IEEE Systems Conference (SysCon)*, pp. 1–7.
- Shajaiah, H., Abdelhadi, A. and C. Clancy, (2014) ‘Multi-application resource allocation with users discrimination in cellular networks’, *2014 IEEE 25th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communication (PIMRC)*, pp. 1163–1168.
- Wang, Y., Abdelhadi, A. and Clancy, T.C. (2016) ‘Optimal power allocation for LTE users with different modulations’, *2016 Annual IEEE Systems Conference (SysCon)*, Orlando, pp. 1–5.
- 36.213, G.T. *Evolved universal terrestrial radio access (e-utra): Physical layer procedures* (release 12), version 12.7.0, October 2015.

Algoritmo de Alocação de Blocos de Recurso em Redes CP-OFDM com Características 5G Baseado em Estimação de Retardo

Marcus V. G. Ferreira¹, Flávio H. T. Vieira¹

¹Instituto de Informática – Universidade Federal de Goiás (UFG)
Alameda Palmeiras, Quadra D, Câmpus Samambaia – 74690-900 –
Goiânia – GO – Brazil

marcusferreira@inf.ufg.br, flavio_vieira@ufg.br

Abstract. *In this paper, a resource allocation algorithm for wireless communication systems is proposed, which considers the channel transmission quality and data delay. In the proposed approach, the delay value is estimated to decide on the allocation of available radio resources, aiming to reduce the system's average delay. For the delay estimation, an approach involving concepts of Network Calculus such as service curve and envelope process MFBAP (Multifractal Bounded Arrival Process) is proposed. In view of the recent techniques for 5G communication systems, mmWaves propagation, 256-QAM (Quadrature Amplitude Modulation) and carrier aggregation technologies are considered. Simulations are carried out to compare the performance of the proposed resources allocation algorithm with other algorithms in the literature in terms of QoS (Quality of Service) parameters such as delay, throughput, processing time, loss rate and fairness index, verifying the efficiency of the proposed algorithm.*

Resumo. *Neste artigo, é proposto um algoritmo de alocação de recursos para sistemas de comunicação sem fio que considera a qualidade de transmissão do canal e o retardo dos dados. Nesta proposta, o valor do retardo é estimado para decidir sobre a alocação dos recursos de rádio disponíveis, objetivando reduzir o retardo médio do sistema. Para a estimativa do retardo, é proposta uma abordagem envolvendo conceitos de Cálculo de Rede como curva de serviço e processo envelope MFBAP (Multifractal Bounded Arrival Process, Processo de Chegada Limitado Multifractal). Tendo em vista as recentes técnicas para sistemas de comunicação 5G, são consideradas as tecnologias de propagação por ondas milimétricas (mmWaves), 256-QAM (Quadrature Amplitude Modulation, Modulação de Amplitude em Quadratura) e agregação de portadora. As simulações são desenvolvidas para comparar o desempenho do algoritmo de alocação de recursos proposto com demais algoritmos da literatura em termos de parâmetros de QoS (Quality of Service, Qualidade de Serviço) como retardo, vazão, tempo de processamento, taxa de perda e índice de justiça, verificando a eficiência do algoritmo proposto.*

1. Introdução

Na literatura da área de comunicações móveis há várias propostas de esquemas de alocação de recursos em redes sem fio [Su et al. 2012] [Guan et al. 2011] [Ferreira et al. 2015]. Em [Su et al. 2012], é proposto um algoritmo para alocação de blocos de recursos em redes sem fio baseado na heurística PSO (*Particle Swarm Optimization*, Otimização por Enxame de Partículas), com o objetivo de maximizar a vazão total do sistema. Em [Guan et al. 2011], é proposto um algoritmo com o objetivo de garantir o critério de taxa mínima de transmissão requerida pelo usuário. Em [Ferreira et al. 2015], é proposto um algoritmo com o objetivo de minimizar o parâmetro de retardo e atender critérios de QoS (*Quality of Service*, Qualidade de Serviço). Estes esquemas de alocação, em adição a outros não mencionados, tem o mesmo propósito de maximizar a vazão total através de heurísticas que focam em diferentes parâmetros de QoS como retardo, taxa mínima, dentre outros.

Neste artigo, é proposto um algoritmo que tem como objetivo reduzir o retardo do sistema, parâmetro de QoS essencial para aplicações em tempo real com taxa de transmissão variável e requisitos específicos de banda, como serviços de VoIP (*Voice over Internet Protocol*, Voz sobre Protocolo Internet) e de videoconferência. O limitante de retardo é estimado através do Cálculo de Rede Determinístico a fim de prover QoS em redes de comunicação, diferentemente de outros trabalhos da literatura que utilizam valores reais passados [Ferreira et al. 2015] [Delgado and Jaumard 2010] de retardo da rede. Assim, na proposta apresentada, pode-se atualizar a estimativa de retardo a medida que as características dos dados de tráfego no sistema variam. Na abordagem proposta de estimação de retardo são utilizados conceitos de curva de serviço e processo envelope MFBAP (*Multifractal Bounded Arrival Process*, Processo de Chegada Limitado Multifractal) [Santos Jr and Vieira 2015].

Tendo em vista os requisitos para suportar a geração de redes sem fio 5G, são cobertas várias características destas neste artigo, com conceitos como agregação de portadora, 256-QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*, Modulação de Amplitude em Quadratura), estrutura de radio com espaçamento entre subportadoras de 120 KHz e, por fim, cenário com ondas milimétricas acima de 6 GHz [3GPP 2017] [3GPP 2018b] [3GPP 2018a] [3GPP 2019]. Todos estes recursos possibilitam prover ao usuário final maiores taxas de transmissão de dados assim como menores valores de retardo na rede.

O artigo está organizado da seguinte forma: na Seção 2 são apresentados os conceitos de Cálculo de Rede, processo envelope MFBAP, curva de serviço e limitante de retardo; na Seção 3 é apresentado o modelo de transmissão *downlink*; na Seção 4 é proposto o algoritmo de alocação de blocos de recurso em redes sem fio; na Seção 5 são apresentados os parâmetros de simulação e os resultados; na Seção 6 é concluído o artigo com as considerações finais.

2. Cálculo de Rede Determinístico

O Cálculo de Rede Determinístico pode ser utilizado para estimar recursos a fim de prover QoS em redes e tem fornecido ferramentas poderosas para estimação do *backlog* e retardo em uma rede com garantia de serviço para fluxos de tráfego indivi-

duais. Usando a noção de processo envelope, curvas de chegada e curvas de serviço, vários trabalhos tem demonstrado que os limitantes de *backlog* e retardo podem ser concisamente expressos pela álgebra Min-Plus [Le Boudec and Thiran 2004].

O Cálculo de Rede também pode ser visto como a teoria de sistemas que se aplica às redes de computadores, mas a principal diferença é considerar-se outra álgebra, onde as operações são alteradas da seguinte forma: adição torna-se o cálculo do mínimo, e a multiplicação torna-se adição.

2.1. Processo envelope MFBAP

O processo envelope para o tráfego de chegada de pacotes é um limitante superior para o processo real de tráfego de pacotes acumulados. Para um processo envelope determinístico, a função limitante $\hat{A}(t)$ corresponde ao valor máximo de um fluxo $A(t)$ no intervalo de tempo $[s, s+t]$, e é definida pela equação [Le Boudec and Thiran 2004]:

$$\hat{A}(t) = \sup_{s \geq 0} A[s, s+t], \quad (1)$$

onde \sup é um operador que retorna o valor máximo de $A[s, s+t]$ sem estabelecer valor limite superior, sendo $s \geq 0$ neste caso.

O MFBAP é uma alternativa determinística de se obter o processo envelope que limita o volume do tráfego em um dado intervalo de tempo, calculado da seguinte forma [Santos Jr and Vieira 2015]:

$$\hat{A}_{MFBAP}(t) = \bar{a}t + k\sigma t^{H(t)} + B, \quad (2)$$

onde $H(t)$ é o expoente de Hölder [P et al. 2003], que representa o grau da singularidade da função, t é o instante de tempo, \bar{a} e σ são respectivamente, a média e o desvio padrão do tráfego de entrada, k é a constante relacionada à probabilidade de violação (para $\epsilon = 10^{-6}$) do processo envelope e B é o tamanho do *buffer*.

2.2. Estimativa de limitante de retardo

O limitante superior de retardo estimado, denotado por \hat{d} , é dado por [Santos Jr and Vieira 2015]:

$$\hat{d} = \inf \{d \geq 0 | \forall t \geq 0 : A^*(t-d) \leq S(t)\}, \quad (3)$$

onde \inf é um operador que retorna, neste caso, o menor valor de $d \geq 0$ que atende $A^*(t-d) \leq S(t)$.

Assim, propõe-se neste artigo utilizar essa equação para estimar o retardo, onde A^* é o processo envelope MFBAP, calculado conforme Equação (2), e S é a curva de serviço do sistema. Considerando um sistema CP-OFDM (*Cyclic Prefix – Orthogonal Frequency Division Multiplexing*, Prefixo Cíclico - Multiplexação por Divisão de Frequência Ortogonal) generalizado para qualquer usuário servido pelo mesmo intervalo de tempo T , sua curva de serviço pode ser escrita como [Vieira et al. 2016]:

$$S_n(t) = cTP + cT \min \left\{ \frac{\max [t - PNT - (n-1)T; 0]}{T}; 1 \right\}, \quad (4)$$

onde c é a média da taxa de atendimento no servidor do sistema e N é o número de intervalos de tempo T por ciclo completo P dado por $P = \lfloor \frac{t}{NT} \rfloor$, onde o operador representa o menor número inteiro mais próximo de $\frac{t}{NT}$.

A Figura 1 mostra os valores médios de retardo estimados dos dados dos usuários conforme Equação (3) e os valores de retardo real observados nas simulações para diferentes distâncias considerando o escalonamento Round-Robin e o escalonamento proposto neste artigo para cenários distintos de uma rede sem fio CP-OFDM com largura de banda de 10 MHz. Os demais parâmetros de simulação do sistema de transmissão sem fio e da modelagem do canal são descritos na Tabela 1.

Observa-se que os valores estimados são em geral similares aos valores de retardo do algoritmo proposto neste artigo, um pouco superiores se considerado até 5 usuários em simulação, enquanto os valores de retardo com escalonamento Round-Robin são em geral superiores aos demais. O uso desta técnica de estimativa de limitante de retardo foi exaustivamente testado em simulações com diversos cenários e se provou uma estratégia acertada tendo em vista a eficiência em representar o retardo da rede e os resultados obtidos.

3. Modelo de transmissão *downlink*

3.1. Estrutura do *frame* de rádio

A estrutura de um *frame* de transmissão *downlink* é mostrado na Figura 2. Cada *frame* de rádio ocupa 10 ms, que são divididos em dez *subframes* de 1 ms [Guan et al. 2011]. Cada *subframe* por sua vez é dividido em dois *slots* de tempo de 0.5 ms. Há sete ou seis símbolos para cada *slot* de tempo, dependendo da utilização de, respectivamente, prefixo ciclo (CP, *Cyclic Prefix*) normal ou estendido [Guan et al. 2011].

No domínio da frequência os recursos são agrupados em 12 subportadoras com largura de banda entre 15 e 240 KHz cada, conforme configuração da rede [3GPP 2018b]. Um RB (*Resource Block*, Bloco de Recurso) é definido como uma unidade de 12 subportadoras durante um *slot* de tempo [3GPP 2008], e estes são escalonados sempre em pares de RBs, chamados assim de blocos de escalonamento (SB, *Scheduling Block*), com duração de 1 ms.

3.2. Modelo do sistema

Considerando um cenário de transmissão *downlink* de um sistema com uma antena, N blocos de recursos disponíveis por TTI (*Transmission Time Interval*, Intervalo de Tempo de Transmissão), quantidade de potência distribuída igualmente entre todas as subportadoras e K usuários servidos a taxas mínimas R_k . Um bloco de recurso é definido como N_s símbolos consecutivos no domínio do tempo e N_{sc} subportadoras no domínio do tempo. Considerando que existem sinais pilotos e de controle nos blocos de recursos, apenas $N_{sc}^d(s)$ subportadoras podem ser utilizadas para transferência de dados no s -ésimo símbolo, onde $s \in \{1, 2, \dots, N_s\}$ e $N_{sc}^d(s) \leq N_{sc}$. Seja $R_j^{(c)}$ a taxa de código associada ao MCS (*Modulation and Coding Scheme*, Esquema de Modulação e Codificação) $j \in \{1, 2, \dots, J\}$, onde J é o número total de MCS suportados, M_j o

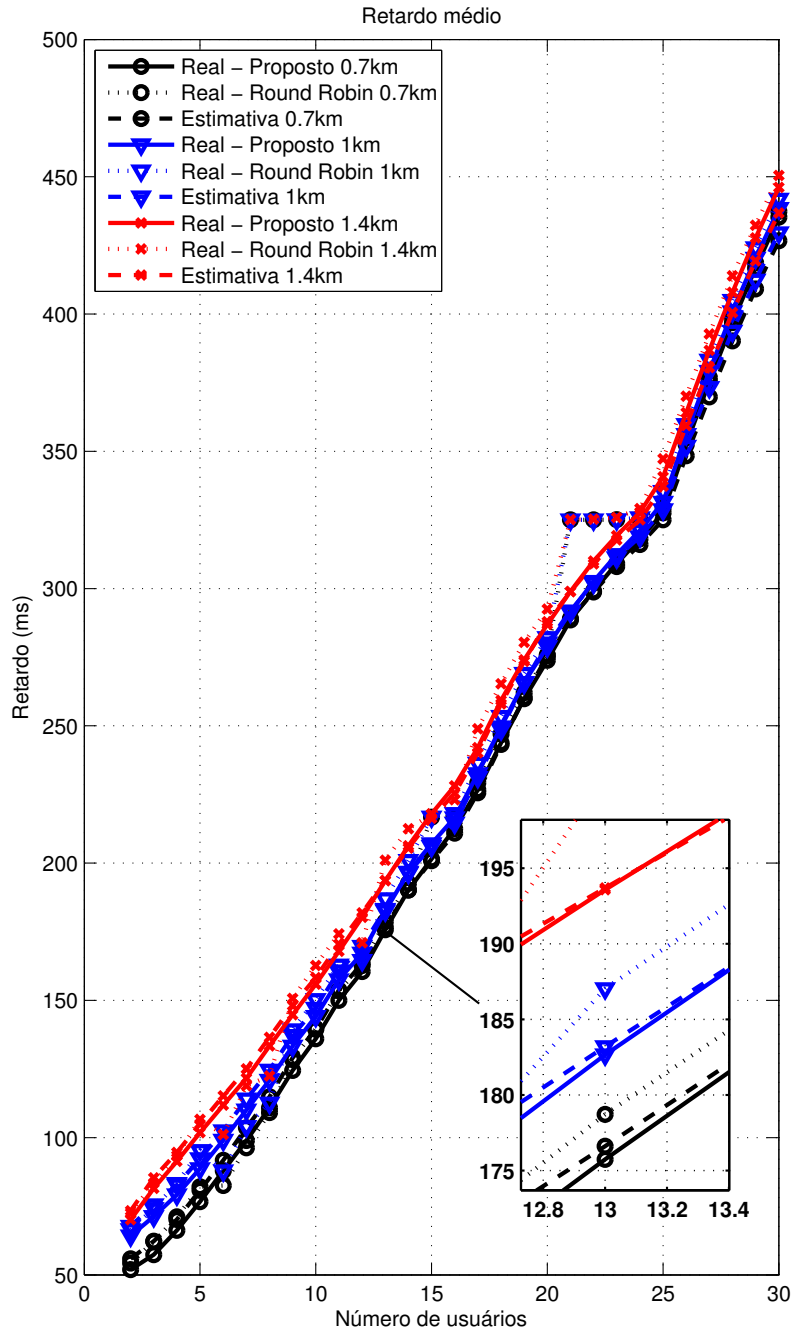


Figura 1. Valores médios de retardo estimado e real para o escalonamento Round-Robin e escalonamento proposto, considerando cenários com distância entre UE (User Equipment) e BS (Base Station) de 0.7, 1 e 1.4 km

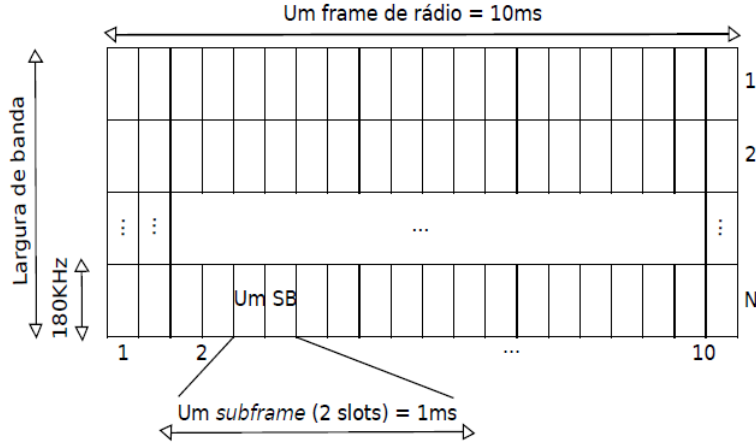


Figura 2. Estrutura básica de um frame com espaçamento entre subportadoras de 15 KHz no domínio do tempo e frequência

tamanho da constelação do MCS j e T_s o tempo do símbolo, a taxa de bits de um bloco de recursos $r^{(j)}$ alcançada para o MCS j é dada por:

$$r^{(j)} = \frac{R_j^{(c)} \log_2(M_j)}{T_s N_s} \sum_{s=1}^{N_s} N_{sc}^d(s). \quad (5)$$

O CQI (*Channel Quality Indicator*, Indicador de Qualidade do Canal) é informado pelo usuário ou pode ser estimado por meio de algoritmos de estimação de canal, a fim de não sobrecarregar o canal de *uplink*. A partir do CQI são definidas a taxa de código e o esquema de modulação, ou seja, a informação de qual MCS deve ser adotado para o usuário k no bloco de recurso n . Neste artigo, a taxa de código e o índice MCS associados com a SINR (*Signal-to-Interference-plus-Noise-Ratio*, Relação Sinal-Ruído e Interferência) são determinados através do mapeamento da tabela de CQI de 4 bits conforme [3GPP 2016].

Cada SB é alocado a apenas um usuário em um TTI. Seja $q_n(i) \in \{1, 2, \dots, K\}$ o usuário alocado no bloco de recurso n no TTI i . A taxa de bits nesse bloco de recurso depende do MCS do usuário, logo a taxa de bits do mesmo bloco de recurso pode ser diferente para cada usuário. Alocar os blocos de recursos aos usuários com maiores taxas de bits tende a aumentar a utilização da rede.

Seja $x(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_N(t)]$ o vetor de tamanho N , composto pelos elementos $x_n(t)$, $n \in N$, que associa cada bloco de recurso a um usuário no instante de tempo t , por exemplo, se $x_1(t) = 2$, o bloco de recurso 1 está alocado para o usuário 2 no instante de tempo t ; $m_{k,n}(t)$ o MCS adotado para o usuário k no bloco de recurso n no instante de tempo t , a taxa de bits do usuário k , r_k , no instante de tempo t é dada por:

$$r_k(t) = \sum_{n=1}^N I(x[n] = k) r^{(m_{k,n}(t))}, \quad (6)$$

onde $I(x[n] = k)$ é 1 se $x[n] = k$ e 0 caso contrário. A taxa de bits total T_b do

sistema é:

$$T_b(t) = \sum_{k=1}^K r_k(t) . \quad (7)$$

Maximizar a taxa de bits total do sistema T_b é uma forma de melhorar a utilização da rede. Porém, juntamente com o aumento da taxa de bits total do sistema é necessário atender certos requisitos de banda de cada usuário. Assim, tem-se um problema de otimização que consiste em maximizar a taxa do sistema atendendo a taxa mínima de cada usuário:

$$(x) : \max T_b , \quad (8)$$

sujeito a:

$$r_k \geq R_k \quad \forall k . \quad (9)$$

4. Algoritmo de Alocação de Blocos de Recurso Proposto

Em [Ferreira et al. 2015], é proposto um algoritmo de escalonamento que procura minimizar o retardo em redes sem fio. A principal diferença do algoritmo apresentado em [Ferreira et al. 2015] e do algoritmo proposto neste artigo é que neste último o limitante de retardo é estimado a medida que as características dos dados de tráfego no sistema variam, utilizando conceitos de Cálculo de Rede, conforme explicado na Seção 2. No algoritmo apresentado em [Ferreira et al. 2015] o retardo foi calculado com base em valores reais passados de retardo da rede. Sendo assim, a vantagem da proposta do presente artigo é que o algoritmo pode tomar decisões antecipadas utilizando as estimativas e previsões de retardo baseados em uma modelagem do tráfego e do sistema.

O algoritmo proposto pode ser resumido em três fases:

1. Estima o número de SBs requeridos para cada usuário com prioridade baseada no ganho médio de canal;
2. Aloca os SBs para os usuários de acordo com a prioridade, o limitante de retardo estimado, calculado conforme Equação (3), e o critério de retardo máximo definido;
3. Aloca os SBs remanescentes para os usuários com prioridade definida de acordo com o retardo estimado.

A prioridade na alocação dos recursos é definida em ordem crescente pelo ganho médio do canal por usuário, ou seja, os usuários com piores condições de canal tem maior prioridade. O ganho médio do canal G_k por usuário k é calculado pela seguinte equação:

$$G_k = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N g_{k,n}, \quad (10)$$

onde $g_{k,n}$ é o ganho médio do canal para o usuário k no n -ésimo SB e N é o número de SBs disponíveis para *downlink*.

A quantidade N_k de SBs requeridas para cada usuário k é calculada da seguinte forma, com base nas condições do canal:

$$N_k = \text{round} \left(\left(\frac{G_k}{G_1 + G_2 + \dots + G_k} \right) * N \right), \quad (11)$$

onde G_k é o ganho médio do canal por usuário k , N é o número de SBs disponíveis para *downlink* e $\text{round}(\cdot)$ é uma função de arredondamento para o inteiro mais próximo.

Após calculado a prioridade de alocação, os SBs com maior CQI são alocados de acordo com a quantidade de SBs estimadas para cada usuário. Depois é estimado o limitante de retardo conforme Equação (3) e verificado se o critério de retardo máximo é satisfeito. Se o critério não é satisfeito o algoritmo continua alocando SBs com maior CQI até satisfazer o critério.

O algoritmo garante a alocação dos SBs de forma justa, uma vez que prioriza os usuários com piores condições do canal com objetivo de satisfazer o critério de retardo, ao mesmo tempo que aloca uma quantidade maior de SBs para os usuários com melhores condições de canal.

Após verificado se o critério de retardo máximo foi satisfeito para todos os usuários, o algoritmo aloca os SBs remanescentes, se houver, priorizando o valor de retardo estimado para cada usuário, ou seja, os usuários com maior valor de retardo tem maior prioridade. O objetivo é reduzir o retardo médio depois de satisfeito o critério.

5. Simulações e Resultados

Nesta seção são apresentados os resultados das simulações do algoritmo de alocação proposto, comparando com o algoritmo PSO, o algoritmo QoS *guaranteed* [Guan et al. 2011] e o algoritmo *Min-delay* [Ferreira et al. 2015].

O algoritmo denominado de PSO (*Particle Swarm Optimization*) [Su et al. 2012] neste trabalho consiste na aplicação do algoritmo de enxame de partículas para solução do problema de otimização representado pelas Equações (8) e (9). Já os algoritmos QoS *guaranteed* [Guan et al. 2011] e *Min-delay* [Ferreira et al. 2015] buscam reduzir a complexidade computacional do problema de otimização representado pelas Equações (8) e (9), levando em conta, respectivamente, a restrição da taxa mínima requerida e o critério de retardo máximo utilizando a informação de retardo real da rede.

As simulações foram realizadas por meio do software MATLAB versão R2018a, utilizando um microcomputador com a seguinte configuração: Processador Intel Core I7-4785T CPU 2.20GHz, 8GB RAM, HD SATA III 7200 RPM, Windows 10 64bits.

5.1. Modelo de canal e parâmetros do sistema

As condições do canal para cada usuário e SB em termos de SINR foram gerados para 1000 TTIs através da seguinte equação [Ni et al. 2013]:

$$SINR = \frac{G_o P_o}{\sum_{j=1}^J G_j P_j + \sigma_n^2}, \quad (12)$$

onde G_o é o ganho do canal para a potência de transmissão P_o , G_j é o ganho do canal para os sinais de interferência com potência P_j , σ_n^2 é a potência do ruído e J é o número de células de interferência.

Tabela 1. Parâmetros de simulação para o sistema de rede sem fio e modelagem de canal

Parâmetro	Valor
Largura de banda	3×396 MHz
Número de RBs por portadora	275
Número de TTIs simulados	1000
Taxa mínima requerida	Média do tráfego
Retardo máximo	10 ms
Tamanho de <i>buffer</i> por usuário	60 kB
Espaçamento entre subportadoras	120 KHz
Modulações	QPSK, 16-QAM, 64-QAM e 256-QAM
Modelo multipercurso	CDL-A
Distância entre UE e BS	0.5 km
Densidade de potência do ruído branco	-174 dBm/Hz
Potência máxima do transmissor BS	35 dBm
Ganho da antena BS	15 dBi
Ganho da antena UE	0 dBi
Figura de ruído UE	9 dB
Margem de interferência UE	4 dB
Velocidade UE	3 km/h

A taxa de bit e o índice MCS associado ao SINR são definidos com CQI de 4 bits conforme [3GPP 2016]. A Tabela 1 apresenta os parâmetros de transmissão *downlink* no sistema e o modelo de canal considerado, com valores baseados nos valores utilizados na literatura [Santos Jr and Vieira 2015] [Guan et al. 2011] [Su et al. 2012] [3GPP 2011] [3GPP 2017] [3GPP 2018b] [3GPP 2018a] [3GPP 2019]. Foi considerado o modelo multipercurso CDL-A (*Clustered Delay Line - A*, Linha de Atraso Agrupada - A) para modelagem do canal por ser mais adequado para simulação de cenários de propagação com ondas milimétricas, conforme normativas mais recentes do órgão 3GPP [3GPP 2017].

Foram consideradas cinco séries reais de tráfego TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*, Protocolo de Controle de Transmissão/Protocolo Internet) para representação dos usuários em 1000 TTIs de forma aleatória durante a simulação, agregadas no domínio do tempo em intervalos de 1 ms. As séries de tráfego consideradas representam o tráfego TCP/IP entre a Universidade de Waikato com redes externas, coletados entre 20/05/2011 e 29/10/2011 (disponíveis no endereço <http://wand.net.nz/wits/waikato/8/>).

5.2. Resultados

Considerando os parâmetros de transmissão *downlink* e do modelo de canal dados na Tabela 1, avalia-se nesta seção o desempenho do algoritmo de escalonamento proposto em comparação com outros da literatura.

Nas simulações apresentadas nesta seção, foram considerados para o algoritmo PSO os parâmetros utilizados no cenário descrito em [Su et al. 2012]: 30

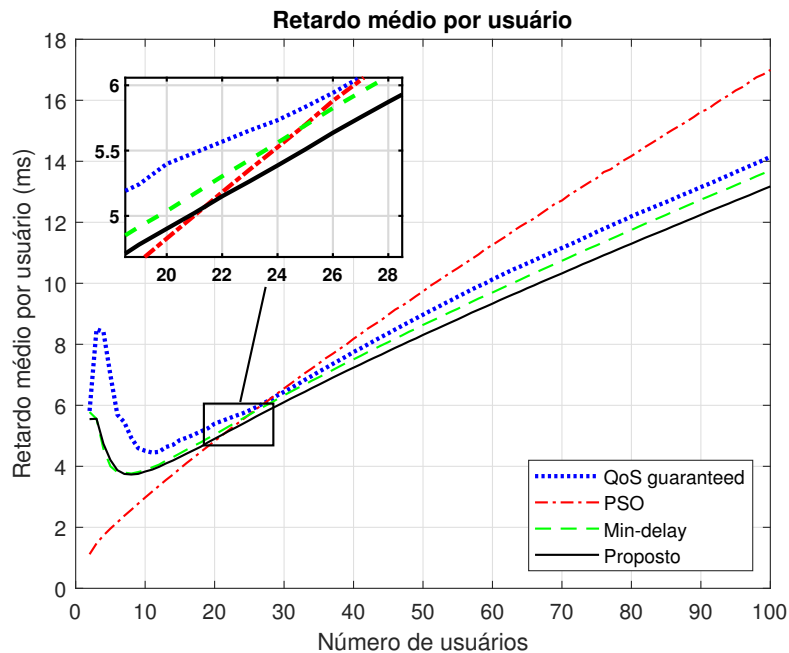


Figura 3. Retardo médio em função do número de usuários

indivíduos, 100 iterações como critério de parada, peso de inércia $w = \frac{(100-i)}{100}$, sendo i o número de iterações, $c_1 = c_2 = 2$.

Na Figura 3 é apresentado o retardo médio por usuário. Verifica-se que os valores são significativamente menores para o algoritmo proposto do que os valores dos algoritmos *QoS guaranteed* e PSO se considerado mais de 22 usuários em simulação. Este fato mostra que em cenários de maior densidade de número de usuários o algoritmo proposto apresenta desempenho superior aos demais algoritmos em termos de retardo na rede.

O algoritmo PSO apresenta maiores valores de vazão total se considerado até 25 usuários, conforme pode ser visto na Figura 4. Este fato era esperado visto o algoritmo PSO ser uma heurística de maximização da vazão total em detrimento do elevado tempo de processamento. Porém o desempenho do algoritmo PSO decai para mais de 25 usuários, devido a sua função objetivo que considera o critério de taxa mínima requerida. O algoritmo proposto apresenta valores de vazão total similares aos valores apresentados pelo algoritmo *Min-delay* e maiores do que os valores apresentados pelo algoritmo *QoS guaranteed*.

Quanto ao tempo de processamento, o algoritmo proposto apresenta valores bastante inferiores aos apresentados pelo algoritmo PSO e superiores aos valores apresentados pelos algoritmos *QoS guaranteed* e *Min-delay*, conforme pode ser visto na Figura 5.

O maior tempo de processamento do algoritmo PSO comparado aos dos outros algoritmos considerados pode ser explicado devido a sua maior complexidade computacional. A complexidade computacional do algoritmo baseado na heurística PSO deve ser analisada considerando os laços, ou *loops*, para busca da melhor

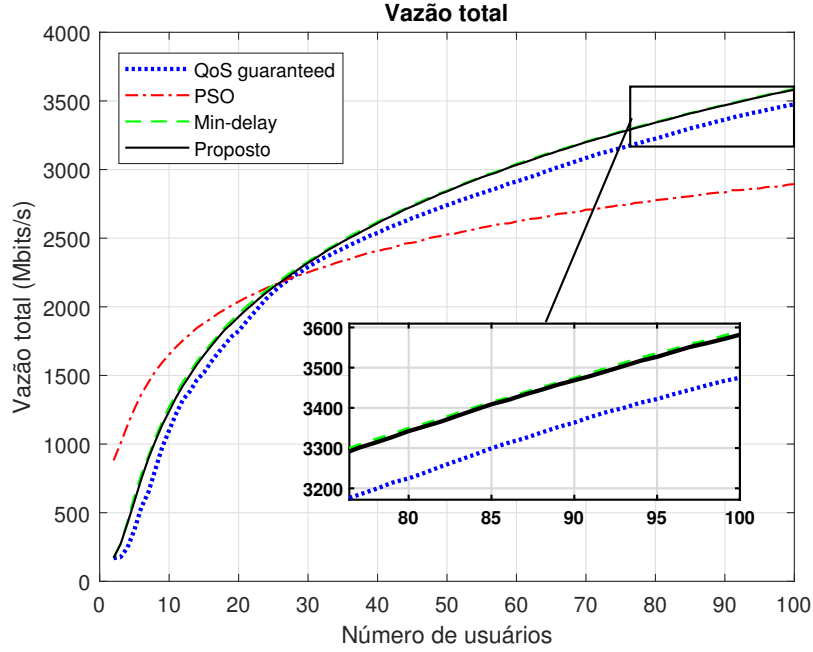


Figura 4. Vazão total em função do número de usuários

solução. Estes laços são definidos pelo número de iterações *maxit*, o tamanho da população P_o e o tamanho da matriz de dados de entrada $N \times K$, sendo N a quantidade de blocos de escalonamento disponíveis e K a quantidade de usuários no sistema. Assim, a complexidade computacional do algoritmo do escalonador baseado em PSO é igual a $O(N \times K \times P_o \times maxit)$.

Em relação à complexidade computacional dos algoritmos *QoS guaranteed*, *Min-delay* e do algoritmo proposto, considera-se a quantidade de blocos de escalonamento da rede N e o número de usuários K apenas, uma vez que não são aplicadas heurísticas de otimização nestes algoritmos. A alocação nestes cenários se baseia apenas na estimativa do número de blocos e na verificação dos parâmetros de QoS, ambos com complexidade $O(1)$. A complexidade destes algoritmos é definida então pelo número de execuções de alocação de blocos em função do número de usuários K e quantidade de blocos N , ou seja, a complexidade é $\leq O(N \times K)$.

O índice de justiça (*fairness*) é uma importante medida para determinar se os usuários estão recebendo uma distribuição justa dos recursos do sistema. A Figura 6 mostra que o algoritmo proposto apresenta os maiores valores de *fairness* se considerado mais de 40 usuários em simulação, mostrando que o algoritmo distribui seus recursos de forma justa em cenários com maior densidade de usuários. O índice *fairness* foi calculado da seguinte forma [Jain et al. 1998]:

$$Fairness = \frac{\left[\sum_{k=1}^K x_k \right]^2}{K \sum_{k=1}^K x_k^2}, \quad (13)$$

onde $x_k = \frac{r_k}{R_k}$ é a taxa normalizada, r_k é a taxa do usuário k , R_k é a taxa mínima requerida do usuário k e K é o número total de usuários.

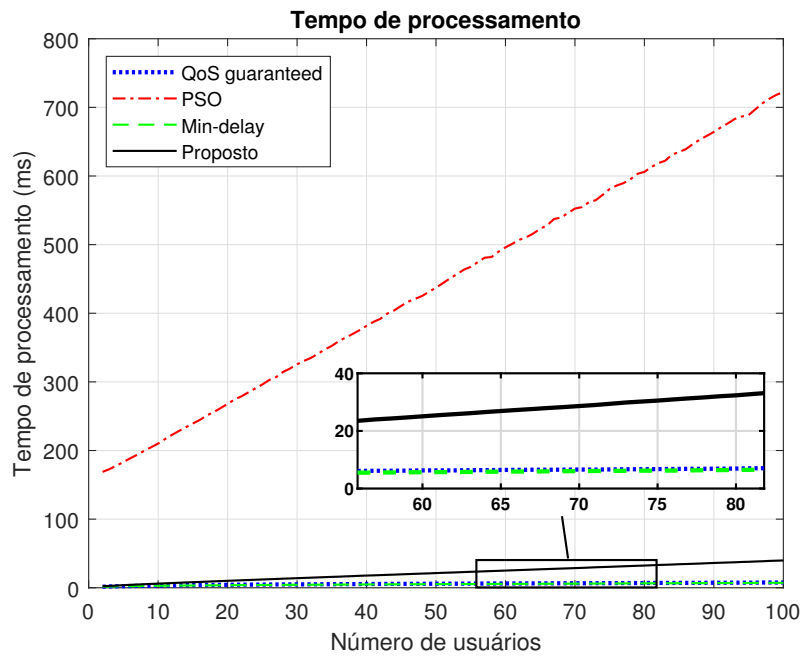


Figura 5. Tempo de processamento em função do número de usuários

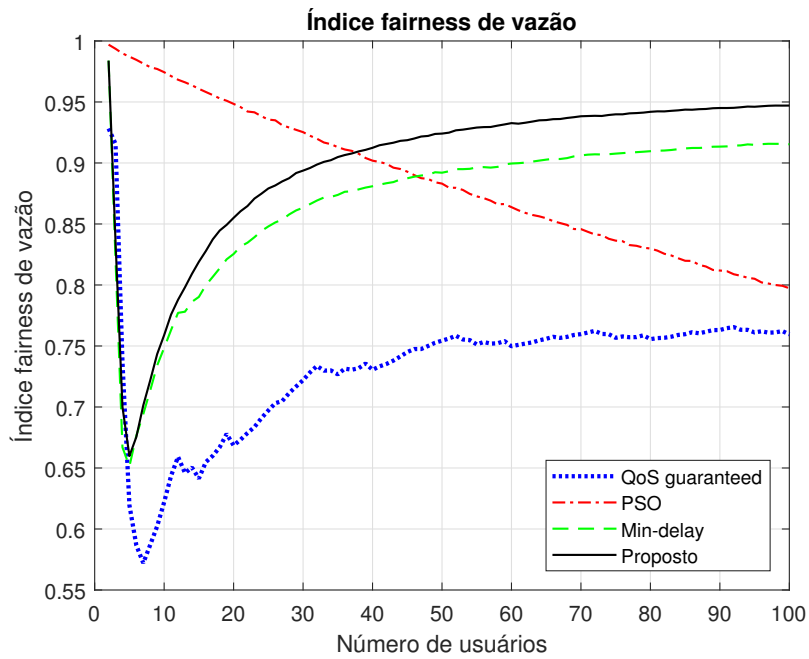


Figura 6. Índice de justiça (fairness) em função do número de usuários

Tabela 2. Taxa de perda de bits (%) em função do número de usuários

Algoritmo	Número de usuários			
	25	50	75	100
<i>QoS guaranteed</i>	0	0	0	0
PSO	0	0.0078	0.2489	0.9690
<i>Min-delay</i>	0	0	0	0
Proposto	0	0	0	0

A Tabela 2 mostra que o algoritmo PSO apresenta os maiores valores de perda de bits se considerado até 100 usuários em simulação.

6. Conclusão

Neste artigo é proposto um algoritmo de alocação de blocos de recurso em redes sem fio cujo objetivo é utilizar a informação de retardo estimado por Cálculo de Rede através de conceitos de curva de serviço e processo envelope MFBAP a fim de reduzir o retardo do sistema. Assim, pode-se atualizar a estimativa de retardo a medida que as características dos dados de tráfego no sistema variam e tomar decisões antecipadas sobre a alocação de recursos.

Os resultados das simulações mostram que o desempenho do algoritmo proposto é em geral superior ou similar ao desempenho dos algoritmos *QoS guaranteed* [Guan et al. 2011], PSO [Su et al. 2012] e *Min-delay* [Ferreira et al. 2015], principalmente se considerado um cenário com maior número de usuários na rede, ou seja, cenários mais próximos da realidade dos cenários de comunicações móveis.

Em termos de vazão, o algoritmo proposto provê os maiores valores se considerado mais de 25 usuários em simulação. Em relação ao retardo médio, o algoritmo proposto apresenta os menores valores em geral. Nota-se também que o algoritmo apresenta baixo tempo computacional, valores de *fairness* acima de 0.9 se considerado mais de 30 usuários na rede, maiores do que os valores apresentados pelos demais algoritmos, e apresenta baixa taxa de perda.

Como proposta para pesquisa futura, pretende-se calcular uma curva de serviço específica para o escalonador proposto de forma a melhorar a estimativa de limitante de retardo.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à FAPEG (Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de Goiás) pelo apoio no desenvolvimento da pesquisa.

Referências

- 3GPP (2008). 3gpp ts 36.104 version 8.3.0 release 8. lte; evolved universal terrestrial radio access (e-utra); base station (bs) radio transmission and reception.
- 3GPP (2011). 3gpp tr 36.931 version 9.0.0 release 9. lte; evolved universal terrestrial radio access (e-utra); radio frequency (rf) requirements for lte pico node b.

- 3GPP (2016). 3gpp ts 36.213 version 13.0.0 release 13. lte; evolved universal terrestrial radio access (e-utra); physical layer procedures.
- 3GPP (2017). 3gpp tr 38.901 version 14.0.0 release 14. 5g; study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 ghz.
- 3GPP (2018a). 3gpp ts 38.104 version 15.2.0 release 15. 5g; nr; base station (bs) radio transmission and reception.
- 3GPP (2018b). 3gpp ts 38.211 version 15.2.0 release 15. 5g; nr; physical channels and modulation.
- 3GPP (2019). 3gpp ts 38.306 version 15.7.0 release 15. 5g; nr; user equipment (ue) radio access capabilities.
- Delgado, O. and Jaumard, B. (2010). Scheduling and resource allocation in lte uplink with a delay requirement. In *2010 8th Annual Communication Networks and Services Research Conference*, pages 268–275.
- Ferreira, M. V. G., Vieira, F. H. T., and Abrahão, D. C. (2015). Minimizing delay in resource block allocation algorithm of lte downlink. In *2015 International Workshop on Telecommunications (IWT)*, pages 1–7.
- Guan, N., Zhou, Y., Tian, L., Sun, G., and Shi, J. (2011). Qos guaranteed resource block allocation algorithm for lte systems. In *2011 IEEE 7th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, pages 307–312.
- Jain, R., Chiu, D.-M., and Hawe, W. (1998). A quantitative measure of fairness and discrimination for resource allocation in shared computer systems. *CoRR*, cs.NI/9809099.
- Le Boudec, J.-Y. and Thiran, P. (2004). Network calculus: A theory of deterministic queuing systems for the internet. 2050.
- Ni, M., Xu, X., and Mathar, R. (2013). A channel feedback model with robust sinr prediction for lte systems. In *2013 7th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, pages 1866–1870.
- P, M., Gadre, V., and Desai, U. (2003). *Multifractal Based Network Traffic Modeling*. Springer US.
- Santos Jr, J. and Vieira, F. H. (2015). Estimation of backlog and delay in ofdm/tdma systems with traffic policing through network calculus. *Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina)*, 13:796–803.
- Su, L., Wang, P., and Liu, F. (2012). Particle swarm optimization based resource block allocation algorithm for downlink lte systems. In *2012 18th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC)*, pages 970–974.
- Vieira, F., Costa, V., Ling, L., and Rocha, F. (2016). Estimacão de Probabilidade de Transbordo do Buffer em Redes OFDM-TDMA utilizando Cadeias de Markov e Curva de Serviço. *TEMA (São Carlos)*, 17:3 – 20.

Localização em Ambientes Internos Baseada em Aprendizado Supervisionado Utilizando Estações de Rádio FM

David Alan de O. Ferreira¹, Waldir S. da Silva Júnior¹, Celso B. Carvalho¹

¹Faculdade de Tecnologia - Universidade Federal do Amazonas (UFAM)
Av. General Rodrigo Octávio, 1200, Coroado I
CEP 69067-005 - Manaus - AM - Brazil

ferreirad08@gmail.com, {waldirjr, ccarvalho}@ufam.edu.br

Abstract. *For the location of mobile devices on wireless networks, three or more fixed devices must be installed, whose transmitted signals are used as location parameters. The problem with this approach is the increase in energy and monetary costs. Thus, the objective of this work is to propose a method of location using FM radio stations with a view to low cost and high precision. The tests were carried out in a domestic environment with approximately 30 m² and 15 reference points. As a result of the tests, the proposed QA-PCA-kNN method stood out when using 6 characteristics of the FM signals, providing the location with a mean error of 0.0688 meters and a standard deviation of 0.2536 and presenting an accuracy of 86.80%.*

Resumo. *Para a localização de dispositivos móveis em redes sem fio, deve-se instalar três ou mais dispositivos fixos, cujos sinais transmitidos são utilizados como parâmetros de localização. O problema desta abordagem é o aumento dos custos energético e monetário. Assim, o objetivo deste trabalho é propor um método de localização utilizando estações de rádio FM com vistas ao baixo custo e alta acurácia. Foram realizados testes em ambiente doméstico com aproximadamente 30 m² e 15 pontos de referência. Como resultados dos testes, o método proposto QA-PCA-kNN destacou-se ao utilizar 6 características dos sinais FM, provendo a localização com erro médio de 0,0688 metros e desvio padrão de 0,2536 e, apresentando acurácia de 86,80%.*

1. Introdução

A localização de dispositivos em ambientes internos é um tema de grande interesse no âmbito das redes sem fio, visto que pode contribuir para o aprimoramento de serviços baseados em localização (SBL) em diversas áreas, como doméstica, industrial e hospitalar, entre outras [Al-Fuqaha et al. 2015]. Embora a localização fornecida pelo GPS (*Global Positioning System*) seja adequada para ambientes externos, este sistema utiliza sinais transmitidos por satélites, o que compromete a acurácia da localização quando os dispositivos encontram-se em ambientes fechados [Salim et al. 2014].

A localização em ambientes internos é atualmente alvo de diversos trabalhos, muitos destes apresentam propostas baseadas em redes Wi-Fi (padrões IEEE 802.11b/g/n), devido à ampla presença dessas redes em locais públicos e privados [Cai et al. 2015, Khullar and Dong 2017, Kim et al. 2018]. No entanto, a fim de se obter um erro aceitável, estas propostas utilizam como parâmetros de localização o posicionamento de no mínimo

três pontos de acesso (APs) e o *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) destes APs [Le et al. 2014], resultando em um sistema de localização de alto custo energético e monetário.

Além disso, as redes Wi-Fi operam na faixa de frequência ISM (*Industrial, Scientific and Medical*). Esta faixa de frequência é aberta e, portanto, é amplamente utilizada [Li et al. 2009]. Com isso os sinais Wi-Fi são expostos a interferências de outras tecnologias de rádio, como Zigbee e Bluetooth, além de outros equipamentos eletrônicos, como telefone sem fio operando na faixa de 2,4 GHz e fornos de microondas [Danbatta and Varol 2019, Rappaport 2002]. As interferências tornam o sistema de localização ainda mais vulnerável a falhas, pois o RSSI em um canal sem fio é previamente caracterizado por flutuações, nomeadamente: perda por percurso (*path loss*), sombreamento (*shadowing*) e multipercursos (*multipath*).

Aliado ao avanço das técnicas de *beamforming*, o advento dos padrões IEEE 802.11ac/ad/ax traz maior velocidade na transmissão de dados. O *beamforming* é empregado a múltiplas antenas disponíveis em um AP que identificam a posição relativa dos dispositivos móveis conectados, para então efetuar transmissões direcionadas, permitindo que os sinais sejam mais fortes em direções específicas. Promissorumente, autores têm procurado utilizar a técnica de *beamforming* nos sistemas de localização, visando reduzir as interferências nos sinais transmitidos e o número de APs necessários [Wen and Liang 2015]. Contudo, na prática, os padrões IEEE 802.11b/g/n ainda são amplamente utilizados nos mais diversos setores [Kapetanovic et al. 2020], considerando-se também que, é mais comum encontrar dispositivos que funcionam apenas com estes padrões, tais como o módulo ESP8266 NodeMCU.

Diante do exposto, este trabalho tem por objetivo propor um método de localização para ambientes internos utilizando canais de rádio FM com frequências na banda de 87,8 a 108 MHz, aproveitando a qualidade do sinal recebido e a alta disponibilidade em áreas urbanas. Adicionalmente, combinando abordagens estatísticas no tratamento dos dados para reconhecimento de informações adequadas a serem utilizadas por algoritmos de aprendizado supervisionado. A principal contribuição deste trabalho é oferecer robustez e baixo custo. Além de viabilizar a localização a partir de dispositivos embarcados sem instalação de complexa infraestrutura.

Este artigo está organizado nas seguintes seções: A Seção II apresenta trabalhos importantes e diretamente relacionados com o tema deste artigo. Na Seção III são apresentados os conceitos relevantes para realização dos estudos. A Seção IV apresenta o método e a proposta deste artigo. A Seção V expõe os resultados obtidos e a Seção VI apresenta a conclusão da pesquisa.

2. Trabalhos relacionados

Em [Popleteev et al. 2012], os autores investigaram a viabilidade de um sistema de localização baseado em sinais transmitidos por estações de rádio FM (*Frequency Modulation*), aproveitando-se da infraestrutura previamente existente e dos sintonizadores disponíveis em muitos dispositivos móveis. Foram avaliados os algoritmos *k-Nearest Neighbors* (*k*NN), *Support Vector Machine* (SVM) e *Gaussian Process* (GP) para classificação e regressão de vetores com valores médios de RSSI. Cada valor médio foi calculado a partir de 10 medições e normalizado na faixa de 0 a 1. No ambiente com área de 50 m

$\times 25$ m, o melhor resultado foi obtido com a utilização do classificador k NN, utilizando o RSSI de 45 estações de rádio FM e estimando 52% das posições com erro médio de localização nulo. No ambiente com área de $12\text{ m} \times 6\text{ m}$, o k NN também apresentou o melhor resultado, utilizando 50 estações de rádio FM e estimando 40% das posições com erro médio de localização nulo. Em experimentos adicionais constatou-se que os receptores de FM têm um consumo energético de 2,6 a 5,5 vezes menor que os módulos Wi-Fi.

Em [Ferreira et al. 2020], os autores propuseram um método de localização em ambientes internos utilizando redes Wi-Fi. O objetivo foi melhorar a precisão de localização, que é comprometida pela instabilidade das medições de RSSI. O método emprega a análise de quartis (*Quartile Analysis - QA*) na representação dos dados e o algoritmo k NN. Em um ambiente com área de $3,5\text{ m} \times 3,56\text{ m}$, 100% das posições testadas foram identificadas com erro médio de localização nulo a partir de 4 APs, $k = 1$ e 10 medições de RSSI por AP para o cálculo dos quartis. O resultado alcançado com $k = 1$ mostra que o método é uma contribuição importante e promissora na área de localização.

Em [Salamah et al. 2016], utilizou-se a análise de componentes principais (*Principal Component Analysis - PCA*) para transformar o conjunto dos valores de RSSI em um conjunto com novas características, a fim de eliminar características com menor importância. O desempenho do método proposto foi testado utilizando os classificadores k NN, SVM, *Decision Tree* e *Random Forest*. Os experimentos foram conduzidos em um ambiente real com 45 pontos de referência (RPs) utilizando *smartphones* para a coleta dos valores de RSSI de 6 APs. Os resultados mostram que o k NN com $k = 2$ e utilizando as três primeiras características obteve o melhor desempenho nos experimentos dinâmicos, apresentando um erro médio de localização de 1,71 m com precisão de 60% e de 3,0 m com precisão de 79%. A localização foi calculada pela média ponderada das coordenadas (centróide) dos k vizinhos mais próximos. Este cálculo permite localizar objetos em posições coincidentes com os RPs e em posições aleatórias.

O trabalho de [Popleteev et al. 2012] contribui para uma abordagem de baixo custo, visto que os gastos com a instalação de dispositivos fixos são suprimidos. Os trabalhos de [Ferreira et al. 2020] e [Salamah et al. 2016] apresentam, respectivamente, a QA e a PCA como abordagens estatísticas para o tratamento de dados com intuito de alcançar melhores resultados. Estas abordagens estatísticas combinadas podem ajudar na caracterização do comportamento dos sinais de rádio FM em um cenário de localização.

3. Referencial teórico

3.1. Rádio FM

A Rádio FM é a modalidade de serviço de radiodifusão sonora por meio de modulação FM. A modulação FM é muito utilizada por codificar o sinal de áudio com alta fidelidade, menos ruído e sintonia em dispositivos móveis, como *tablets* e *smartphones*. Para cada estação (*STAtion - STA*) transmissora, é alocada uma frequência central (f_c) e uma largura de banda de 200 kHz situada no espectro de radiofrequências entre 87,8 MHz e 108 MHz (legislação local). Assim, uma STA pode operar na faixa de $f_c \pm 100$ kHz.

Neste trabalho foi utilizado o dongle RTL-SDR para a aquisição de dados. Este dispositivo tem um custo monetário de até 3 vezes menor que os módulos XBee, considerando o valor de mercado nacional. Além disso, é necessária a aquisição de apenas

um único dongle RTL-SDR. A Figura 1 ilustra este dispositivo, originalmente projetado para ser um receptor de TV digital (sistema ISDB-T). Este dispositivo é compatível com o desenvolvimento de rádio definido por software (*Software Defined Radio - SDR*), visto que pode receber sinais de radiofrequência na faixa de 48,25 MHz a 863,25 MHz.



Figura 1. Receptor RTL-SDR ISDB-T da Knup (KP-T2).

3.2. Análise de Quartis

A análise de quartis (QA) é um método estatístico utilizado para avaliar a tendência central, a dispersão e a posição das observações nos dados. Os quartis particionam um conjunto parcialmente ordenado (poset) em quatro partes iguais. O primeiro quartil ($Q_{\frac{1}{4}}$) ou quartil inferior delimita as 25% menores observações, o segundo quartil ($Q_{\frac{2}{4}}$) ou mediana separa as 50% menores das 50% maiores observações, e o terceiro quartil ($Q_{\frac{3}{4}}$) ou quartil superior delimita as 25% maiores observações [Joarder and Firozzaman 2001].

São encontradas na literatura diversas definições para o cálculo dos quartis [Langford 2006]. Dessa forma, uma equação generalizada para o cálculo computacional/estatístico dos quartis é definida neste artigo. A partir de um poset (S, \leq) , o valor do quartil Q_p é estimado através de regressão linear, entre os elementos $x_{[i]}$ e $x_{[i]+1}$, em que a posição $[i]$ é determinada em função da porcentagem de observações p , conforme a equação:

$$Q_p = x_{[i]} + (x_{[i]+1} - x_{[i]})(i - [i]) \quad (1)$$

com $i = (n - 1)p + 1$

onde n é o número de elementos em (S, \leq) e $[i]$ é a parte inteira do índice i .

Para dados altamente assimétricos e/ou afetados por *outliers*, o $Q_{\frac{2}{4}}$ é mais eficiente que a média, e não necessita, previamente, de uma análise exploratória. Além disso, o intervalo interquartil ($IQR = Q_{\frac{3}{4}} - Q_{\frac{1}{4}}$) é uma medida estatística relativamente robusta frente ao desvio padrão [Mosteller and Tukey 1977].

3.3. Análise de Componentes Principais

A análise de componentes principais (PCA) foi introduzida por Karl Pearson em 1901 e, atualmente, é um método estatístico amplamente utilizado para analisar dados multivariados [Pearson 1901]. A PCA determina as direções que apresentam as maiores variações

dos dados em um espaço m -dimensional, em que m é o número de variáveis que descrevem o conjunto de dados. Estas direções ou componentes são dispostas em ordem decrescente de acordo com suas variações, onde a componente de maior variação possui maior importância. Com isso, pode-se eliminar as componentes de menor importância e minimizar a dimensão dos dados [Fang and Lin 2012].

De uma forma geral, a PCA transforma um conjunto de variáveis correlacionadas/redundantes em um novo conjunto de variáveis não-correlacionadas. Para o cálculo da PCA, as n observações de cada variável do conjunto de dados ($D_{n \times m}$) são centralizadas subtraindo-se de cada observação a média das respectivas variáveis e, em seguida, calcula-se a matriz de covariância ($C_{m \times m}$) entre estas variáveis. A covariância entre duas variáveis quaisquer x e y , já centralizadas, é definida como:

$$\sigma_{xy}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ((x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y)) \quad (2)$$

onde μ_x e μ_y são as médias das variáveis x e y , respectivamente.

Posteriormente, calcula-se os autovalores (λ) e os autovetores (v) da matriz $C_{m \times m}$. Os autovalores representam a variância de cada componente e os autovetores organizados em colunas ($V_{m \times m}$) representam as transformações lineares. Assim, o novo conjunto de variáveis ($P_{n \times m}$) é calculado a partir da combinação linear das m variáveis correlacionadas e dos coeficientes/elementos de cada autovetor:

$$P = DV \quad (3)$$

3.4. k -Nearest Neighbors

O k -Nearest Neighbors (k NN) é um dos algoritmos de classificação mais simples no âmbito da aprendizagem supervisionada [Cover and Hart 1967]. É não-paramétrico, ou seja, não necessita que os dados apresentem distribuição específica (ex.: gaussiana ou exponencial) e possui como hiperparâmetro o número de vizinhos mais próximos (k). Em geral, um grande número de vizinhos pode reduzir ou aumentar o desempenho do algoritmo, estando sujeito à extração de características discriminantes para representação dos dados. Ou seja, se houver muito ruído nos dados, um valor alto para o k tornará o classificador muito sensível ao ruído. Por outro lado, se os dados são eficientes, um valor alto para o k irá minimizar a sensibilidade ao pouco ruído.

No treinamento, o modelo de classificação é criado por um conjunto de instâncias (ou vetores de características) previamente classificadas e o valor de k é definido empiricamente para uma melhor precisão. Na classificação, uma instância de teste (nova instância) é introduzida no classificador treinado. Tradicionalmente, o classificador examina as classes das k instâncias de treino mais próximas (similares) à instância de teste, baseando-se em métricas de distância, como Manhattan, Euclidiana ou Minkowski. Posteriormente, atribui a instância de teste à classe majoritária, ou seja, à classe mais representada pelas k instâncias de treino [Lantz 2015].

3.5. Gaussian Naive Bayes

O *Gaussian Naive Bayes* (GNB) é um classificador probabilístico muito utilizado no aprendizado de máquina. Este algoritmo possui alta eficiência computacional e

fundamenta-se no teorema de Bayes desenvolvido por Thomas Bayes (1701-1761).

As predições são realizadas a partir das probabilidades *a posteriori* de uma instância de teste pertencer a cada classe e, em seguida, atribuindo a instância à classe de maior probabilidade [Gonzalez and Woods 2009]. A probabilidade $P(c_i|X)$ da classe c_i , dado uma instância de teste ou vetor de características $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, é definida como:

$$P(c_i|X) = \frac{P(X|c_i)P(c_i)}{P(X)} \quad (4)$$

Considerando que as probabilidades *a priori* de todas as classes são iguais, tem-se $P(c_i) = \frac{1}{m}$, em que m é o número de classes; e dado que a probabilidade $P(X)$ está associada apenas a instância de teste, a função de decisão pode ser reduzida e representada como:

$$\hat{c} = \underset{c_i}{\operatorname{argmax}} \prod_{j=1}^n P(x_j|c_i) \quad (5)$$

onde n é o número de características contidas no vetor X , j é o índice da j -ésima característica x_j , e a classe c_i que maximiza esta função corresponde a classe estimada \hat{c} .

Pressupondo que os dados apresentem distribuição gaussiana, utiliza-se a função de densidade de probabilidade (*Probability Density Function* - PDF) da distribuição normal para estimar $P(x_j|c_i)$:

$$P(x_j|c_i) = \frac{1}{\sigma_{c_i} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x_j - \mu_{c_i}}{\sigma_{c_i}} \right)^2} \quad (6)$$

À medida que as características extraídas tendem a descrever uma distribuição mais próxima da normal, e que não existe uma correlação entre elas, melhor é o desempenho do algoritmo [Brownlee 2016].

4. Material e métodos

4.1. Cenário experimental e aquisição de dados

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram conduzidos experimentos em um ambiente interno com dimensões de 6,10 m \times 4,80 m, contendo 15 RPs, conforme ilustrado na Figura 2. Ao invés das medições de RSSI, o dongle RTL-SDR disponibiliza o ganho de potência (G_p) de cada STA. No entanto o G_p corresponde a uma relação entre a potência recebida (P_{rx}) e a potência de transmissão (P_{tx}), e é definido como:

$$G_p[dB] = 10 \log_{10} \frac{P_{rx}[W]}{P_{tx}[W]} \quad (7)$$

Dispondo do espectro eletromagnético disponível, arbitrariamente, foram selecionadas 8 STAs para os experimentos. O dongle foi realocado sequencialmente em todos os RPs, e permaneceu imóvel ao longo de 2 minutos em cada RP. Foram coletadas 2000

medições do G_p de cada STA durante o tempo de imobilidade em cada RP. Após a coleta em todos os 15 RPs, os dados foram mesclados em um único arquivo de texto CSV, resultando em uma tabela (conjunto de dados) com 30000 linhas e 8 colunas. Sendo 2000 linhas por RP.

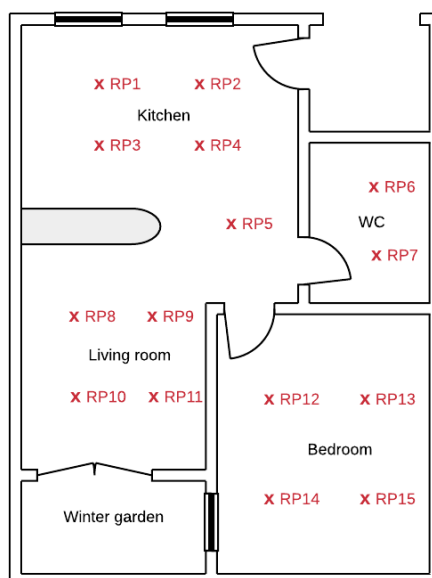


Figura 2. Cenário experimental com coordenadas dos pontos de referência.

4.2. Pré-processamento e transformação de dados

O principal objetivo desta fase é melhorar a qualidade dos dados coletados, visto que os dados podem apresentar problemas como grande quantidade de dados ausentes (*missing data*) e valores discrepantes (*outliers*), possivelmente decorrentes das interferências no sinal de radiofrequência. Adicionalmente, buscou-se extrair características e reduzir a dimensionalidade dos dados a fim de obter uma representação com características/atributos discriminantes.

Analisando o conjunto de dados, constatou-se que 8,6% do total de observações são dados ausentes. Entende-se que essas perdas esporádicas do sinal são interferências de fatores externos, como características da antena de recepção e obstáculos em uma determinada posição. Então, realizou-se uma imputação múltipla por equações encadeadas (*Multiple Imputation by Chained Equations - MICE*) considerando o mecanismo completamente aleatório dos dados ausentes (*Missing Completely at Random - MCAR*) [Azur et al. 2011, Harrell 2001]. Após a obtenção de um conjunto de dados completo, as observações dos atributos foram normalizadas utilizando a fórmula Min-Max:

$$x_{normalizado} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (8)$$

onde x é uma observação a ser normalizada e x_{min} e x_{max} são os valores mínimos e máximos dentre as observações do atributo, respectivamente. Esta fórmula corresponde a uma transformação linear do atributo em uma escala de 0 a 1 e mantém a distribuição das observações.

No tratamento de *outliers* e extração de características/atributos, criou-se um conjunto de instâncias (vetores de características) utilizando a QA. A cada 10 linhas correspondentes a um RP do conjunto de dados coletados, calculou-se os quartis de cada coluna, ou seja, uma instância baseia-se em 10 observações do G_p de cada STA. Uma instância é associada a um único RP e é representada por um vetor X de 24 características, ou seja, 3 características para cada STA:

$$X = \left(\overbrace{Q_{\frac{1}{4}}, Q_{\frac{2}{4}}, Q_{\frac{3}{4}}}^{STA_1}, \overbrace{Q_{\frac{1}{4}}, Q_{\frac{2}{4}}, Q_{\frac{3}{4}}}^{STA_2}, \dots, \overbrace{Q_{\frac{1}{4}}, Q_{\frac{2}{4}}, Q_{\frac{3}{4}}}^{STA_8} \right) \quad (9)$$

Como o conjunto de dados coletados possui 2000 observações de cada STA em cada RP, foram criadas 200 instâncias para cada um dos 15 RPs. Esta abordagem elimina os *outliers* e extrai características que denotam o comportamento das medições brutas.

Em seguida, utilizou-se a PCA para garantir características relevantes e não correlacionadas/redundantes. O algoritmo da PCA, utilizado para transformação dos dados, retorna novas características que seguem uma ordem de importância. Esta ordenação viabilizou a redução de dimensionalidade dos dados, onde selecionou-se as 8 características mais relevantes.

Nos experimentos utilizou-se 75% das instâncias para treinamento e 25% para testes, visando impedir qualquer influência (viés) nos resultados, pois os dados de teste não devem ser utilizados no treino. Com intuito de obter um conjunto de treinamento balanceado, isto é, com o mesmo número de instâncias entre as classes, foi realizada uma amostragem aleatória estratificada (*stratified random sampling*).

4.3. Seleção do modelo de classificação

Para estimar as coordenadas associadas à instância de teste, ou seja, identificar a localização propriamente dita, foram considerados e avaliados os algoritmos de aprendizado supervisionado k NN e GNB utilizando o software MATLAB[®]. Em ambos os modelos, as coordenadas (\hat{x}_i, \hat{y}_i) são estimadas a partir do centróide:

$$(\hat{x}_i, \hat{y}_i) = \left(\frac{\sum_{i=1}^k w_i x_i}{\sum_{i=1}^k w_i}, \frac{\sum_{i=1}^k w_i y_i}{\sum_{i=1}^k w_i} \right) \quad (10)$$

onde k é o número de RPs selecionados, (x_i, y_i) são as coordenadas dos RPs e w_i é o peso de cada RP. O cálculo do centróide permite localizar objetos em posições aleatórias dentro do ambiente. Nota-se que, neste trabalho busca-se estimar as coordenadas de posições coincidentes com os RPs, e considera-se que estas posições também podem ser testadas como quaisquer outras posições aleatórias, assumindo que quaisquer posições testadas são equiprováveis.

O k NN estima as coordenadas a partir dos RPs associados aos $k = 4$ vizinhos mais próximos, ponderados pelo inverso das distâncias Euclidianas calculadas $w_i = \frac{1}{d_i}$; e o GNB utiliza os $k = 4$ RPs com maiores probabilidades, ponderados pelas probabilidades calculadas $w_i = P(c_i|X)$. Estes modelos de classificação foram testados de forma empírica e o erro médio (EM) de localização foi utilizado como métrica de desempenho, a fim de medir a distância média entre as coordenadas reais e as coordenadas estimadas. O EM é dado em metros e definido como:

$$EM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{(x_i - \hat{x}_i)^2 + (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (11)$$

onde N é o número total de testes realizados.

A fim de obter uma conformidade entre erro de localização e baixo custo computacional, buscou-se determinar o número ótimo de características. Para tanto, o número de características utilizadas variou de 3 a 8. O desempenho do método proposto é comparado com a simples abordagem de médias no pré-processamento, denotada pela letra maiúscula M. Nesta abordagem, as médias de 10 medições são normalizadas pela fórmula Min-Max como em [Popleteev et al. 2012, Moghtadaiee and Dempster 2014]. O uso da média para reduzir as variações da medições reduzem o erro quadrático da medições, mas não necessariamente extraem características discriminantes.

5. Resultados e discussão

Inicialmente, o desempenho dos métodos foi analisado observando-se a influência do número de características no EM de localização. O número de características, necessário para minimizar o EM, está relacionado diretamente com o conhecimento adquirido para discriminação dos RPs. Os resultados de desempenho, em função do número de características, são apresentados na Figura 3.

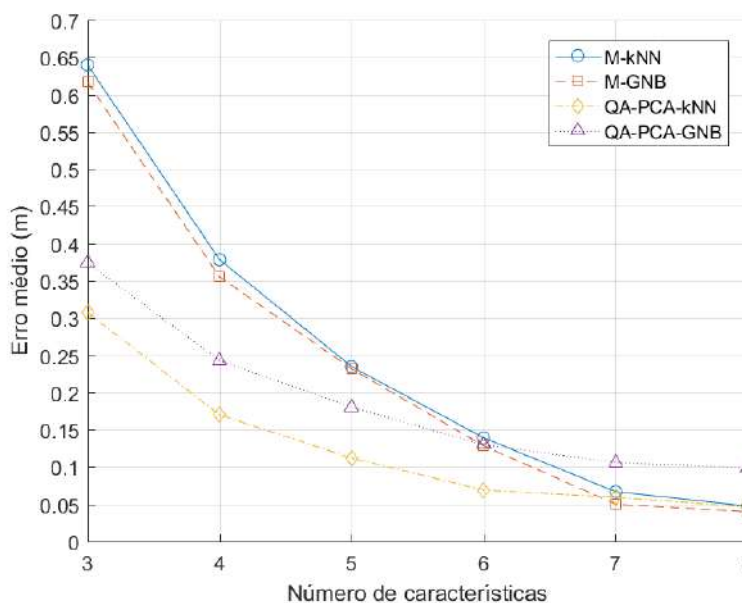


Figura 3. Influência do número de características no erro médio.

Nota-se nas curvas de avaliação de desempenho que houve maior redução no valor de EM quando a quantidade de características varia de 3 a 6. Utilizando de 3 e 6 características, o menor valor do EM foi alcançado pelo método QA-PCA- k NN com 0,0688 m, sendo superado apenas pelo método M-GNB com EM de 0,0399 m, utilizando 7 e 8 características. De 3 a 5 características, os métodos M-GNB e M- k NN obtiveram os

piores desempenhos com EM de até 0,6168 e 0,6400 m, respectivamente. O método QA-PCA-GNB obteve o segundo melhor desempenho de 3 a 5 características, mas obteve o pior desempenho com 7 e 8 características com EM de 0,1058 m.

Em seguida, buscou-se inferir a confiabilidade dos métodos testados a partir do desvio padrão das estimativas. As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam as estatísticas das estimativas de localização utilizando 3, 6 e 8 características, respectivamente.

Tabela 1. Indicadores de desempenho para 3 características.

	mean (m)	std (m)	min (m)	max (m)
M- <i>k</i> NN	0,6400	0,8900	0	4,1060
M-GNB	0,6168	0,7611	0	3,8056
QA-PCA- <i>k</i> NN	0,3074	0,5518	0	3,7802
QA-PCA-GNB	0,3741	0,5413	0	3,7373

Tabela 2. Indicadores de desempenho para 6 características.

	mean (m)	std (m)	min (m)	max (m)
M- <i>k</i> NN	0,1391	0,4042	0	3,3879
M-GNB	0,1284	0,3553	0	2,8976
QA-PCA- <i>k</i> NN	0,0688	0,2536	0	3,2451
QA-PCA-GNB	0,1297	0,3232	0	3,2357

Tabela 3. Indicadores de desempenho para 8 características.

	mean (m)	std (m)	min (m)	max (m)
M- <i>k</i> NN	0,0474	0,2244	0	2,5022
M-GNB	0,0399	0,2057	0	3,2112
QA-PCA- <i>k</i> NN	0,0463	0,2069	0	3,2451
QA-PCA-GNB	0,0986	0,3146	0	3,2297

Observa-se que à medida que número de características aumenta, todos os métodos mostram-se mais robustos, com os desvios padrão cada vez menores. Nos testes com 3 e 6 características, destaca-se que os métodos baseados nos quartis e nas componentes principais (QA-PCA-*k*NN e QA-PCA-GNB) expressam os menores desvios padrão. Nos testes com 8 características, o método M-GNB obteve as melhores estatísticas.

Em fim, buscou-se a proporção de estimativas com erros nulos (0 m), ou simplesmente acurácia. As Figuras 4a e 4b apresentam a CDF (*Cumulative Distribution Function*) dos erros para vetores de 3 e 6 características, respectivamente.

Nestas CDFs, os métodos baseados no algoritmo *k*-Nearest Neighbors apresentaram as maiores acurácias. O QA-PCA-*k*NN alcançou a estimativa de 86,80% das posições com erro de localização nulo, enquanto o M-*k*NN estimou 80,27% das posições. A partir de um vetor de tamanho 8, o M-*k*NN com 91,87% superou a acurácia do QA-PCA-*k*NN de 90,80%, conforme ilustrado na Figura 4c. No entanto, a baixa dimensão dos vetores de

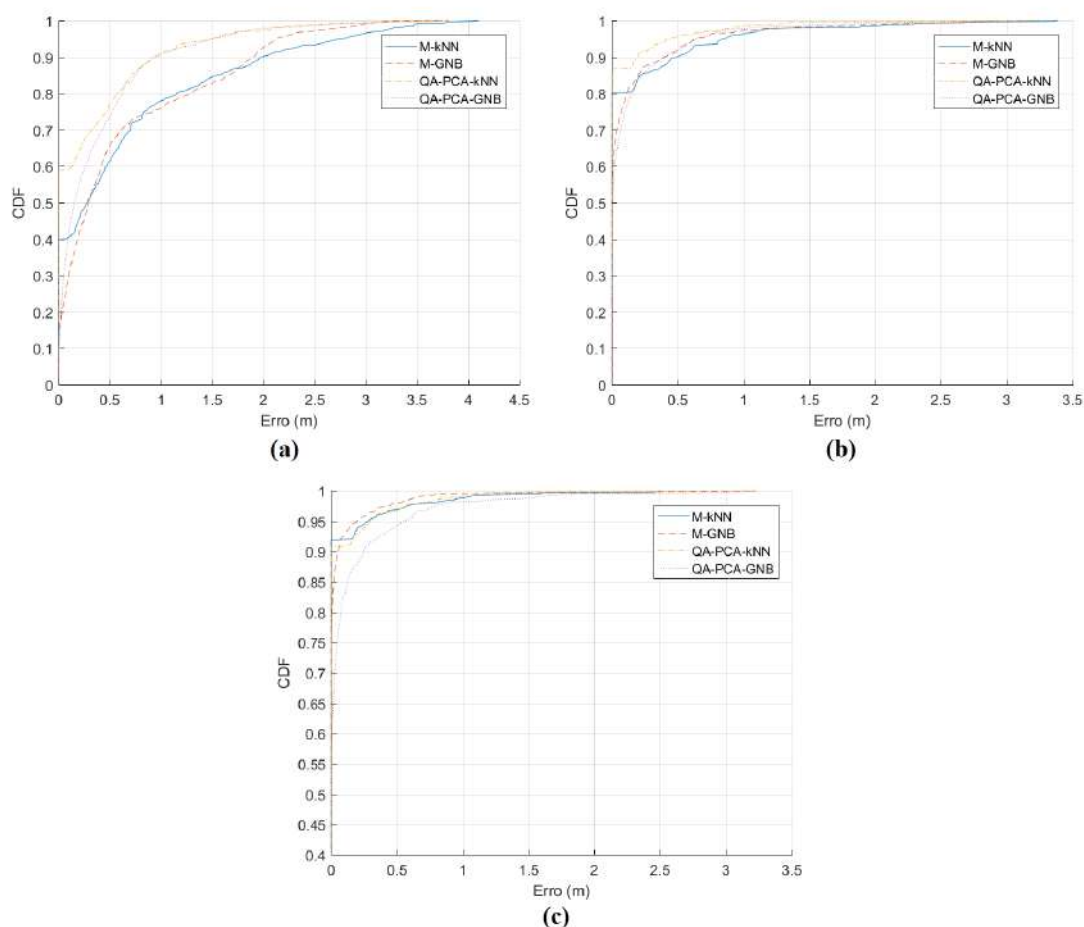


Figura 4. CDF (Cumulative Distribution Function) dos erros para (a) 3, (b) 6 e (c) 8 características.

características viabiliza ainda mais a utilização de sistemas embarcados, com menor capacidade de memória e baixo poder de processamento, como dispositivos de localização.

6. Conclusões

Neste trabalho foi proposto um método de localização em ambientes internos utilizando canais de rádio FM. Para isso, foram combinadas duas diferentes abordagens estatísticas na representação dos dados: Análise de Quartis (QA) e Análise de Componentes Principais (PCA). E avaliadas duas diferentes abordagens de aprendizado supervisionado para a tarefa de classificação: *k*-Nearest Neighbors (*k*NN) e *Gaussian Naive Bayes* (GNB).

A partir dos resultados obtidos nos experimentos, pode-se validar o método QA-PCA-*k*NN para estimar a localização utilizando o centróide, uma vez que destacou-se com vetores de até 6 características. Além de apresentar um erro médio de localização mínimo satisfatório de 0,0688 metros com desvio padrão de 0,2536 para a base de dados.

Agradecimentos

Esta pesquisa foi financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM/ProgramaPPP); iv) fundo setorial de infraestrutura (CT-INFRA); v) MCT/CNPQ.

Referências

- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., and Ayyash, M. (2015). Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 17(4):2347–2376.
- Azur, M., Stuart, E., Frangakis, C., and Leaf, P. (2011). Multiple imputation by chained equations: What is it and how does it work? *International journal of methods in psychiatric research*, 20:40–9.
- Brownlee, J. (2016). *Master Machine Learning Algorithms: Discover How They Work and Implement Them From Scratch*. Jason Brownlee.
- Cai, X., Li, X., Yuan, R., and Hei, Y. (2015). Identification and mitigation of nlos based on channel state information for indoor wifi localization. In *2015 International Conference on Wireless Communications Signal Processing (WCSP)*, pages 1–5.
- Cover, T. and Hart, P. (1967). Nearest neighbor pattern classification. *IEEE Transactions on Information Theory*, 13(1):21–27.
- Danbatta, S. J. and Varol, A. (2019). Comparison of zigbee, z-wave, wi-fi, and bluetooth wireless technologies used in home automation. In *2019 7th International Symposium on Digital Forensics and Security (ISDFS)*, pages 1–5.
- Fang, S. and Lin, T. (2012). Principal component localization in indoor wlan environments. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 11(1):100–110.
- Ferreira, D., Souza, R., and Carvalho, C. (2020). Qa-knn: Indoor localization based on quartile analysis and the knn classifier for wireless networks. *Sensors*, 20(17):4714.
- Gonzalez, R. and Woods, R. (2009). *Processamento Digital De Imagens*. ADDISON WESLEY BRA.
- Harrell, F. E. (2001). *Regression Modeling Strategies: With Applications to Linear Models, Logistic Regression, and Survival Analysis*. Springer New York, New York, NY.
- Joarder, A. and Firozzaman, M. (2001). Quartiles for discrete data. *Teaching Statistics*, 23:86–89.
- Kapetanovic, Z., Moore, G. E., Garman, S., and Smith, J. R. (2020). Classifying wlan packets from the rf envelope: Towards more efficient wireless network performance. In *Proceedings of the 4th International Workshop on Embedded and Mobile Deep Learning, EMDL’20*, page 13–18, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Khullar, R. and Dong, Z. (2017). Indoor localization framework with wifi fingerprinting. In *2017 26th Wireless and Optical Communication Conference (WOCC)*, pages 1–6.
- Kim, K. S., Wang, R., Zhong, Z., Tan, Z., Song, H., Cha, J., and Lee, S. (2018). Large-scale location-aware services in access: Hierarchical building/floor classification and location estimation using wi-fi fingerprinting based on deep neural networks. *Fiber and Integrated Optics*, 37(5):277–289.
- Langford, E. (2006). Quartiles in elementary statistics. *Journal of Statistics Education*, 14.
- Lantz, B. (2015). *Machine Learning with R*. Packt Publishing, 2nd edition.

- Le, W., Wang, Z., Wang, J., Zhao, G., and Miao, H. (2014). A novel wifi indoor positioning method based on genetic algorithm and twin support vector regression. In *The 26th Chinese Control and Decision Conference (2014 CCDC)*, pages 4859–4862.
- Li, H., Syed, M., Yao, Y.-D., and Kamakaris, T. (2009). Spectrum sharing in an ism band: Outage performance of a hybrid ds/fh spread spectrum system with beamforming. *EU-RASIP J. Adv. Sig. Proc.*, 2009.
- Moghtadaiee, V. and Dempster, A. (2014). Indoor location fingerprinting using fm radio signals. *Broadcasting, IEEE Transactions on*, 60:336–346.
- Mosteller, F. and Tukey, J. W. (1977). *Data Analysis and Regression: a Second Course in Statistics*. pub-AW, pub-AW:adr.
- Pearson, K. (1901). On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *Philosophical Magazine*, 2:559–572.
- Popleteev, A., Osmani, V., and Mayora, O. (2012). Investigation of indoor localization with ambient fm radio stations. In *2012 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications*, pages 171–179.
- Rappaport, T. (2002). *Wireless communications: Principles and practice*. Prentice Hall communications engineering and emerging technologies series. Prentice Hall, 2nd edition. Includes bibliographical references and index.
- Salamah, A. H., Tamazin, M., Sharkas, M. A., and Khedr, M. (2016). An enhanced wifi indoor localization system based on machine learning. In *2016 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, pages 1–8.
- Salim, F., Williams, M., Sony, N., Dela Pena, M., Petrov, Y., Saad, A. A., and Wu, B. (2014). Visualization of wireless sensor networks using zigbee’s received signal strength indicator (rssi) for indoor localization and tracking. In *2014 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication Workshops (PERCOM WORKSHOPS)*, pages 575–580.
- Wen, F. and Liang, C. (2015). Fine-grained indoor localization using single access point with multiple antennas. *IEEE Sensors Journal*, 15(3):1538–1544.

Conceitualização e Medida do quanto a Experiência do usuário pode ser *Cool*: Uma revisão sistemática da literatura

Rosângela Divina de Sousa Santana, Deller James Ferreira, Luciana de Oliveira Berretta

Instituto de Informática – Universidade Federal de Goiás (UFG)
Goiânia – GO – Brazil

(rosousas,deller,luciana.berretta)@ufg.br

Abstract. *This article presents a systematic literature review in order to define a more general concept of the term "coolness" and exemplify how it can be operationalized to measure how much the user experience is "cool". The motivation for carrying out this work is that the term has been integrated into the design of computational interfaces and has become part of human-computer interaction (IHC). Despite the valuable contributions to date, there is still no well-established concept. There is a need to develop a more comprehensive definition and a demand for the creation of an instrument that can determine how cool a computational interface is. Through a systematic literature review, articles that address the term "coolness" were analyzed. In this process, several subconcepts linked to each area were integrated, as well as instruments generated from these subconcepts to measure how legal a digital product is.*

Resumo. *Este artigo apresenta uma revisão sistemática da literatura com objetivo de definir um conceito mais geral do termo "coolness" e exemplificar como ele pode ser operacionalizado para medir o quanto a experiência do usuário é "cool". Em português "coolness" pode ser entendido como o quanto algo pode ser legal. A motivação para a realização deste trabalho é que o termo vem sendo integrado ao projeto de interfaces computacionais e tornado parte da interação humano-computador (IHC). Apesar das valiosas contribuições até o momento, ainda não há um conceito bem estabelecido. Há uma necessidade de se elaborar uma definição mais abrangente e uma demanda para a criação de um instrumento que possa determinar o quanto uma interface computacional é cool, em português legal. Através de uma revisão sistemática da literatura foram analisados artigos publicados que abordam o termo "coolness". Nesse processo foram integralizadas vários sub conceitos vinculados ao conceito de "coolness", assim como instrumentos gerados a partir desses subconceitos para medir o quanto um produto digital é legal.*

1. Introdução

Atualmente *cool*, em português "legal", é uma expressão de aprovação muito comum para descrever quase todas as entidades, incluindo objetos, pessoas ou fenômenos [Sundar 2014]. O termo *coolness* tem sido explorado por pesquisadores na área de

Interação Humano-Computador (IHC), que buscam subsídios para o projeto de produtos interativos. Fatores psicológicos, como o *coolness*, são muito importantes e utilizados por profissionais em diversas áreas como: projetistas, desenvolvedores de aplicativos e sistemas e profissionais de marketing, que os aplicam em novos produtos e interfaces.

O conceito *coolness* está sendo integrado aos processos de projeto interativo e tornado parte do projeto da interação humano-computador [Bruun 2016]. Embora os pesquisadores ainda não concordem com uma definição específica na área de interação humano computador (IHC), do que seja *coolness* (algo legal) [Sundar 2014] existem alguns atributos específicos que podem ser percebidos pelos usuários e caracterizados como tal.

O termo *coolness* tem sido principalmente abordado por pesquisadores na área de marketing [Nancarrow 2002], que tentam definir e entender melhor este conceito [O'Donnell 2000], assim como explorá-lo na experiência dos usuários para a criação de produtos mais interessantes [Holtzblatt 2011]. Mas como podemos definir o que é *coolness*?

Os estudos em áreas como marketing, psicologia e IHC atrelam alguns conceitos ao *coolness* tais como: emoções, afeto, qualidade hedônica e pragmática da interface, diversão, fluidez, encantamento, dentre outros. Warren et al. (2014) e Price et al. (2016) concordam com quatro propriedades definidoras para o conceito de que *coolness* é socialmente construído. Pode-se dizer que é uma percepção ou uma atribuição concedida por um público em vez de uma inerente característica de um objeto ou pessoa [Price et al. 2016]. Como popularidade ou status, é semelhante a uma característica socialmente construída sendo altamente relacionado à cultura do indivíduo.

No mercado, o conceito tem sido considerado um catalisador provocador para a venda de produtos, de forma que uma imagem legal ajuda a solidificar o produto, além de contribuir para sentimentos pessoais de realização, conexão com outros, identidade e experiências positivas. Alguns autores produziram questionários com itens identificados no contexto de *coolness* e fatores relacionados à subcultura, atratividade e originalidade, como uma forma de aferir o quanto um produto é caracterizado como *cool*.

Apesar das valiosas contribuições até o momento, ainda não há uma definição geral do conceito de *coolness* e como seus aspectos contribuem para uma boa experiência do usuário (UX) em produtos digitais. Nesse contexto, há uma necessidade de se elaborar uma definição mais ampla do termo *coolness* e uma demanda para a criação de instrumentos que possam determinar o quanto uma interface é *cool*.

A realização de uma revisão sistemática sobre o tema supracitado se justifica dada a grande relevância do tema. Além disso, tanto quanto sabemos, não há revisão sistemática nessa perspectiva. Desse modo, é importante a realização de uma revisão sistemática da literatura (SLR) que culmine em um melhor entendimento do termo *coolness*, assim como ele pode ser operacionalizado para medir a experiência do usuário. Dessa forma, a contribuição desta revisão sistemática é prover uma definição mais ampla, integralizando diferentes aspectos abordados na literatura, além de exemplificar como o conceito pode ser operacionalizado para medir o quanto a experiência do usuário está sendo legal em produtos digitais.

2. Importância do conceito de *coolness* em UX

Por que a definição de um conceito para o *coolness* e entendimento de que o *cool* é relevante para a UX?

Segundo Raptis (2016) e Bruun et al. (2016) na área de IHC são investigadas nossas interações com as tecnologias digitais e são realizadas pesquisas sobre nossas experiências. A experiência do usuário [Hassenzahl and Tractinsky 2006] é um dos principais fluxos de pesquisa da área de IHC, e engloba a ideia de que nossas interações com artefatos digitais devem transcender a eficácia e a eficiência. Porém a UX não se restringe à área de IHC e tampouco a artefatos digitais. A experiência do usuário é de natureza subjetiva, pois é sobre a percepção e pensamento individual no que diz respeito ao uso de um produto, sistema ou serviço específico. É também dinâmica, podendo ser constantemente modificada ao longo do tempo devido à evolução das circunstâncias e inovações.

Na área de IHC a UX envolve aspectos relacionados à eficiência e eficácia, mas, além disso, enfatiza aspectos afetivos e experienciais, significativos e valiosos de interação humano-computador. Um aspecto importante em UX é o processo pelo qual os usuários formam experiências. Quando o usuário encontra um produto, forma uma impressão momentânea, que evolui ao longo do tempo. Neste processo, a percepção, ação, motivação e cognição do usuário se integram para formar uma história memorável e coerente chamada "experiência do usuário". Esse processo suscita respostas emocionais, que determinam em grande parte se a experiência será considerada positiva ou negativa.

A percepção de um produto é baseada no indivíduo, nos valores do usuário e no contexto de uso, portanto, a percepção da experiência do usuário é altamente subjetiva. Além disso, em um mercado competitivo, os valores subjetivos de todas as partes interessadas, como a organização e o usuário, desempenham um papel central no desenvolvimento da experiência do usuário [Jetter and Gerken 2007]. A subjetividade da UX abre margem para a investigação de vários fatores psicológicos, dentre eles a percepção de que algo é *cool*.

Alguns autores sugerem que o termo foi conceituado inicialmente por guerreiros africanos como forma de se destacarem diante do perigo [Pountain et al. 2000]. Existe ainda o conceito aplicado na contemporaneidade, como característica de contracultura, que tornou-se o meio que pequenos grupos de músicos de jazz negros resistiram contra o branco com sua cultura dominante, englobando uma maneira diferente de se vestir e comportar-se.

Raptis et al. (2013), afirmam que usamos o *cool* em nossa vida cotidiana para descrever as pessoas, objetos, atividades, e quando atribuímos a palavra *cool* a um objeto, basicamente percebemos algumas de suas características interessantes ou legais em um momento específico e dentro de um contexto social. Se o contexto mudar, então as mesmas características podem ser percebidas de forma diferente como não legal. Como resultado, há uma interação entre um indivíduo e o objeto, dentro de um contexto social.

A comunidade IHC adotou *coolness* como um conceito importante e está discutindo suas implicações em UX como demonstrado nos trabalhos de Holtzblatt (2010), Sundar et al. (2014), Raptis et al. (2016) e Bruun et al. (2016). Holtzblatt (2010)

foi a pioneira a introduzir o *coolness* na área de IHC e afirma que uma boa experiência do usuário está intimamente ligada à experiência de alegria e conseqüentemente ao conceito de *coolness*.

3. Método

Este estudo foi realizado por meio de uma revisão sistemática da literatura com base nas diretrizes originais propostas por [Brereton et al. 2007].

“Uma revisão literária sistemática é um meio de identificar, avaliar e interpretar todas as pesquisas disponíveis relevantes a uma determinada questão de pesquisa, ou área de um tópico, ou fenômeno de interesse. Estudos individuais que contribuem para uma revisão sistemática são chamados estudos primários; uma revisão sistemática é uma forma de estudo secundário.” [Brereton et al. 2007].

Os passos no método de revisão sistemática da literatura seguidos foram planejamento e execução da pesquisa.

4. Planejamento da Revisão Sistemática

No início do planejamento foi detectada a necessidade da realização de uma revisão sistemática, pois não foi encontrada uma revisão sobre o tema proposto. A seguir são apresentadas as fases do planejamento subsequentes a avaliação da necessidade da revisão, que são definição das questões de pesquisa, formulação das *strings* de busca, seleção das bases de dados e elaboração dos critérios de inclusão e exclusão das fontes bibliográficas.

4.2. Questões de Pesquisa

Até o momento, apenas alguns estudos da literatura apresentaram informações sobre o conceito *coolness*. Esses poucos estudos estão voltados para a identificação das características do *coolness* em determinada área. Diante desse contexto, para prover uma definição mais ampla, integralizando diferentes aspectos abordados na literatura, buscamos artigos que trataram do termo *coolness* em periódicos, teses, dissertações publicados no Brasil e no exterior de 2010 até 2020. A realização de uma revisão sistemática ajudará a descrever uma definição geral sobre o conceito *coolness* e sua instrumentalização em UX.

Com o intuito de apresentar como o conceito de *coolness* é definido e instrumentalizado na literatura, com o intuito de prover uma visão holística do termo, as questões de pesquisa que norteiam esta revisão sistemática são:

QP1. Do que se trata o conceito de *coolness* em produtos digitais?

QP2. Como conceito de *coolness* é operacionalizado para testar o quanto a experiência do usuário está sendo *cool* em produtos digitais?

4.3. Seleção das Bases de Dados e *Strings* de Busca

Foram realizadas várias combinações de palavras-chave, organizadas em *strings* de busca utilizando operações booleanas AND e OR. Após a realização de alguns testes

com *strings* de busca, foram verificadas quais delas resultaram nas melhores taxas de aceitação e a quantidade de resultados retornados. Diante disso, as palavras chaves selecionadas para a realização das buscas foram: ("*consumer coolness*" OR "*social coolness*" OR "*coolness attractiveness*" OR "*coolness research*" OR "*coolness concept*" OR "*application of coolness*" OR "*context of coolness*" OR "*coolness definition*" OR "*coolness evaluation*" OR "*coolness empirical*" OR "*coolness*").

A seleção das fontes de pesquisa foi baseada em duas categorias: periódicos e conferências. Além disto, foram realizadas buscas em referências de teses e dissertações publicados no Brasil e no exterior. Após a definição dos parâmetros de busca, foram realizadas pesquisas em páginas de conferências e periódicos da área de Interação Humano Computador (IHC), ACM Digital Library, IEEE Digital Library, Science Direct, ISI Web of Science, Scopus, Springer Link, Portal Periódicos da CAPES e Google Scholar.

4.4. Critérios de Inclusão e Exclusão

Como critério de inclusão foram selecionadas publicações entre janeiro de 2010 a maio de 2020, artigos publicados na língua inglesa ou portuguesa que possuam um ou mais dos termos de busca pesquisados. Foram excluídos os artigos com informações ou termos da pesquisa duplicadas, sem relevância com os termos pesquisados ou fora do período de publicação definido neste estudo.

5. Execução da Revisão Sistemática

A execução da revisão sistemática trata da seleção dos estudos e extração dos dados relevantes para responder às questões de pesquisa e, finalmente, da análise dos dados, que será apresentada na seção de resultados.

5.1. Seleção dos estudos e extração dos dados

O processo de pesquisa foi realizado através de uma busca manual de conferências e artigos de periódicos específicos, que foram selecionados por incluírem estudos empíricos ou pesquisas na literatura, ou foram utilizados como fontes para outras revisões sistemáticas da literatura relacionadas às questões de pesquisa. Na organização e registro da pesquisa foi utilizada a ferramenta on-line *Parsifal*, que possibilitou a importação arquivos de referência, além disso, identificou duplicatas entre as diferentes fontes de pesquisa e possibilitando a avaliação da qualidade das informações durante a extração dos dados.

O processo de seleção dos trabalhos foi realizado em três etapas, sendo na primeira a execução de uma pesquisa com um conjunto de termos específicos em cada biblioteca consultada para encontrar estudos relacionados. Na segunda etapa, foram selecionados os artigos cujos títulos e resumos tiveram maior relevância para realizar a leitura, e rejeitados os duplicados ou que não se encaixavam nos critérios de inclusão e exclusão. Ao final, foram analisados os artigos selecionados, aceitando-os e rejeitando-os com base no conteúdo que cada um possuía ao responder as questões de pesquisa (QP1, QP2). Como resultado do processo de pesquisa, um total de 97 artigos foi identificado inicialmente, a segunda etapa de seleção esse número reduziu para 67 e ao final do processo culminou em 17 artigos aceitos, conforme apresenta a figura 1.

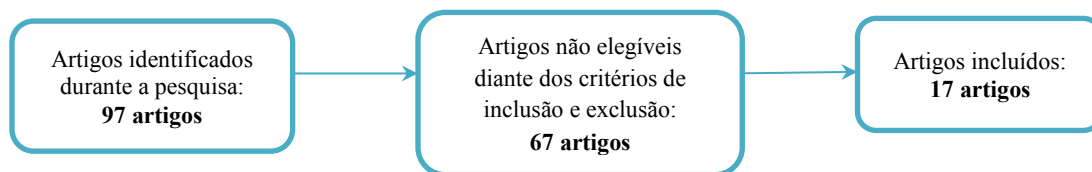


Figura 1. Procedimento para a seleção dos artigos.

5.2. Resultados

5.2.1. Respondendo à questão de Pesquisa 1 - Do que se trata o conceito de *coolness* em produtos digitais?

Os autores descrevem características associadas ao *coolness* para prover uma noção geral deste conceito. Para entender de que forma o conceito está categorizado em subconceitos, foi sumarizado na tabela 1 as características encontradas nos artigos que estão atreladas ao conceito de *coolness*.

Tabela 1 - Características associadas ao *coolness* identificadas pelos autores dos artigos selecionados.

Características	Autores
Desejabilidade	Bruun et al. (2016), Raptis et al. (2017), Raptis et al. (2013), Irshad and Sadiq (2020), Read et al. (2011), Fitton et al. (2012), Warren and Reimann (2019).
Usabilidade	Bruun et al. (2016), Raptis et al. (2017), Raptis et al. (2013), Irshad and Sadiq (2020), Kim and Park (2019).
Utilidade	Holtzblatt (2011), Mamonov and Koufaris (2020), Farnsworth et al. (2014, June), Kim and Park (2019), Sundar et al. (2014), Park (2019), Raptis et al. (2017), Raptis et al. (2013), Irshad and Sadiq (2020).
Conexão	Holtzblatt (2011)
Identidade	Holtzblatt (2011), Mamonov and Koufaris (2020), Farnsworth et al. (2014, June).
Sensação	Holtzblatt (2011), Mamonov and Koufaris (2020), Farnsworth et al. (2014, June), Kim and Park (2019)

Atratividade	Kim and Park (2019), Sundar et al. (2014), Park (2019), Raptis et al. (2017), Raptis et al. (2013), Irshad and Sadiq (2020), Peng et al. (2016, June), Warren and Campbell (2014), Farnsworth et al. (2014, June).
Não convencional	Kim and Park (2019), Sundar et al. (2014), Park (2019), Raptis et al. (2017), Raptis et al. (2013), Irshad and Sadiq (2020), Read et al. (2011), Fitton et al. (2012), Warren and Reimann (2019), Bruun et al. (2016).
Inovação	Kim and Park (2019), Sundar et al. (2014), Park (2019), Raptis et al. (2017), Raptis et al. (2013), Irshad and Sadiq (2020), Dar-Nimrod et al. (2012), Peng et al. (2016, June).
Rebeldia	Dar-Nimrod et al. (2012), Read et al. (2012), Raptis et al. (2013), Bruun et al. (2016), Read et al. (2011), Fitton et al. (2012).
Anti-social	Warren and Reimann (2019), Read et al. (2011), Fitton et al. (2012).

Desejabilidade

Bruun et al. (2016) consideram desejabilidade um dos itens que mede o *coolness*, estando relacionada à forma como um produto interativo específico agrada ao desejo pessoal, por exemplo, "Este dispositivo pode me fazer feliz" ou "Este dispositivo pode me fazer ficar bem". Read et al. (2012) afirma que o aspecto de um produto ou dispositivo ser muito desejável e inovador, vincula-se às características do dispositivo. Warren and Reimann (2019) destacam que *designs* incomuns de produtos capturam melhor a atenção do que *designs* normais, o incomum pode ser considerado legal e desejável desde que faça sentido aos usuários.

Usabilidade

De acordo com Raptis et al. (2017) a percepção de usabilidade, se refere à aprendizagem, a utilidade e operacionalidade do dispositivo por exemplo, em relação a facilidade de uso. Sundar et al. (2014) apontam que a percepção usabilidade é potencial no julgamento inicial de um produto legal. Kim and Park (2019) descrevem a percepção de usabilidade como padrão-chave de avaliação para o desenvolvimento não empregado em um mercado convencional.

Utilidade

Mamonov and Koufaris (2020) afirmam que a utilidade é medida através da associação entre a percepção da tecnologia (inovadora/moderna/futurista) e a imagem pessoal esperada, assim como seus benefícios práticos associados ao uso inovador.

Kim and Park (2019) e Park (2019) definem que a utilidade ou valor utilitário como o nível em que os usuários acreditam que o uso de uma tecnologia específica ajuda no estabelecimento de suas tarefas, aprimorando o desempenho no trabalho e eficiência. Sundar et al. (2014) ressaltam que utilidade ao valor percebido pelo usuário em relação aos produtos adotados que fornecem várias funções e serviços. Raptis et al. (2013) destacam que um produto pode ser considerado legal se for útil para um grupo específico, indicando a filiação a esse grupo em particular.

Conexão

Para Holtzblatt (2011) a ligação entre pessoas é fundamental para a existência humana. Seja no contexto familiar, social ou profissional, estar com alguém para transcender a solidão é tão necessária quanto a respiração. Nesse sentido os produtos *cool* ajudam as pessoas a estabelecerem relacionamentos que mais importam.

Identidade

Mamonov and Koufaris (2020) destacam a associação entre a tecnologia e a imagem pessoal esperada, benefícios práticos vinculados ao uso inovador da tecnologia e sua importância no atendimento das necessidades psicológicas, além das motivações puramente funcionais ou hedônicas. Por exemplo, o ressurgimento do interesse por alguns videogames antigos em novas plataformas como smartphones. Farnsworth et al. (2014, June), Holtzblatt (2011) afirmam que produtos legais nos trazem uma maneira de ver o que os outros da mesma idade ou estágio na vida fazem para se tornar mais adultos, dessa forma nos ajudam a encontrar exemplos de comportamentos, roupas, valores, ou qualquer coisa para ver se parece adequado.

Sensação

Mamonov and Koufaris (2020) afirmam que a avaliação do quanto um produto afetará a auto-percepção do usuário e as percepções dos outros, são mais importantes que a expectativa de desempenho da tecnologia na consideração da adoção. Para Kim and Park (2019) os produtos que apresentam funções úteis, design moderno e esplêndido são considerados legais, após a aquisição e utilização os usuários se sentem distintos e satisfeitos com a singularidade. Farnsworth et al. (2014, June) e Holtzblatt (2011) destacam a sensação em dois campos: imersão sensorial, criando o "tempo fora do tempo" e momentos de puro prazer sensual, através de produtos (músicas, televisores, jogos, etc.) que oferecem imersões sensoriais, tornando-se o núcleo de nossas atividades de lazer nos absorvendo por longos períodos.

Atratividade

Sundar et al. (2014) afirmam que a atratividade em produtos interativos abrange tanto o apelo estético quanto uma noção de estilo socialmente aceita. De acordo com Park (2019) sentidos afetivos, como a atratividade, associados aos dispositivos e tecnologias específicas tornam os usuários mais propensos a utilizá-los. Kim and Park (2019) destacam que a atração criada por características estéticas influencia os valores hedônicos e utilitários dos indivíduos quando utilizam um dispositivo ou serviço específico. Para Farnsworth et al. (2014, June) a importância dada a aparência aponta para o fato de que a percepção da estética tem um grande impacto na classificação de produtos.

Não convencional

Warren and Reimann (2019) afirmam que a distinção entre o *design* de produtos legais daqueles que parecem incomuns ou engraçados desviam-se da norma desde que faça sentido, mas sem perturbar o consumidor. Os usuários esperam ser considerados diferenciados através do uso de produtos legais, que projetam suas características e interesses inerentes, aumentando a atitude positiva com relação ao produto [Park 2019].

Inovação

Park (2019) afirma que produtos exclusivos podem ser sedutores e despertar o interesse dos usuários para obtê-los. Também aponta que os usuários podem obter um senso de identidade e estilo comprando e utilizando mercadorias únicas e exclusivas e exibi-los para os outros verem. Peng et al. (2016, June) referem-se ao grau em que os usuários percebem se uma tecnologia está ausente na cultura convencional, capturada pela avaliação de uma tecnologia, no contexto da aparência, no cumprimento de seu propósito de forma criativa e como permite aos usuários realizarem coisas de uma maneira nova e emocionante. Por exemplo, dispositivos móveis, são percebidos como interessantes pelos jovens por conta de suas características atraentes e originais.

Rebeldia

De acordo com Dar-Nimrod et al. (2012) e Read et al. (2012) a rebeldia pode ser claramente confirmada como um aspecto da construção, sendo relativamente independente das características convencionalmente desejáveis como: atratividade e simpatia. Raptis et al. (2013) apontam que pessoas consideradas inovadoras ao perceberem um artefato digital como rebelde (exclusivo ou autêntico) com características que tornam o dispositivo fora do comum ou não convencional, logo outras pessoas irão perceber como legal depois de algum tempo. Bruun et al. (2016) sugerem que a rebeldia apresenta construções diferentes das existentes e são indicadas por valores discriminantes e de inconsistência interna.

Anti-social

De acordo com Warren and Reimann (2019) o design incomum de um produto é considerado legal e desejável quando relacionado a produtos com design humorístico e indesejável, se o desvio da norma faz sentido aos consumidores. Farnsworth et al. (2014, June) afirmam que os aspectos do comportamento anti-social é visto como a chave para ser percebido como legal.

5.2.2 Respondendo à questão de Pesquisa 2 - Como conceito de *coolness* é operacionalizado para testar o quanto a experiência do usuário está sendo *cool* em produtos digitais?

Diante da tentativa em definir um instrumento para testar o aspecto de *coolness* em interfaces com o usuário, cada autor utiliza as características observadas nas áreas de estudo para testar a experiência do usuário operacionalizada por questionários e entrevistas.

O questionário *cool* desenvolvido por Bruun et al. (2016) apresenta uma proposta validada para medir a percepção interna do *coolness*. Nesse processo, foram

identificados 3 fatores relacionados a 17 questões utilizadas especificamente para medir a percepção do *coolness* interno de um produto interativo. Os participantes avaliaram um dispositivo móvel, respondendo a várias questões através de uma página web, que exibia no lado esquerdo o dispositivo e no lado direito as perguntas. O questionário mediu a conveniência através de questões relacionadas à forma como um produto interativo específico pode apelar para o desejo pessoal.

Warren and Campbell (2014) investigaram a relação entre o *coolness* e o conceito de autonomia, e como os fatores que podem afetá-lo. Foram recrutados nessa pesquisa, 190 participantes residentes nos Estados Unidos, que leram informações a respeito de um varejista de café, de uma marca familiar e outra desconhecida, estavam alterando o design de suas garrafas de água e tiveram acesso a um item de cada garrafa com os novos logotipos. Os participantes relacionaram a percepção de *coolness* ao completarem duas escalas relacionadas com não legal ou legal de acordo com as perguntas do questionário. Como resultado da pesquisa, foi verificado um consenso geral sobre a percepção do que é legal no contexto fornecido.

Read et al. (2011) realizaram uma pesquisa com adolescentes de uma escola do Reino Unido, com idades entre 11 e 15 anos, cursando o 7º ano e 10º ano. Eles foram instruídos a criar, no contexto de seus quartos, “*a vida que gostariam de ter*”, sem muita fantasia. O estudo apresentou diferenças nas percepções de *cool* entre os sexos e idades.

Read et al. (2012) realizaram estudos concentrando em dividir as características em entidades menores e utilizá-los sistematicamente na construção de blocos para produzir um questionário com foco nos domínios de interação das áreas de design, marketing e indústria da música/cinema com intuito de aferir a percepção do *coolness* em um produto. Através de uma ferramenta visual interativa, o protótipo de um aplicativo denominado *Cool Wall*, proporciona que imagens possam ser classificadas em quatro categorias ('sério não legal', 'não legal', 'legal' e 'abaixo de zero'). O resultado do estudo mostra que os itens desejáveis foram classificados como legais, as tecnologias móveis mais caras como itens mais legais, seguidos de itens alimentares que seriam considerados não saudáveis pelos pais dos alunos (doces e *fast food*).

Farnsworth et al. (2014) queriam entender o que era essencial para a experiência *cool* do usuário e associá-lo para que pudesse ser usada sistematicamente para desenvolver produtos transformadores, pois acreditam que com o entendimento dos princípios subjacentes que tornam um produto interessante, eles poderiam ser utilizados para projetar deliberadamente um produto legal.

A pesquisa do consumidor - Verão 2010, contou com o envolvimento de 65 consumidores americanos com idades entre 15 e 60 anos. As entrevistas foram presenciais, realizadas na casa dos participantes que discutiram e responderam 3 perguntas. Como resultado, foi gerado um diagrama de afinidade contendo os dados qualitativos dos principais temas (construções) que definiram a estrutura conceitual originando sete conceitos: quatro (realização, conexão, identidade e sensação) definiram a maneira como o produto gera alegria, afetando a vida das pessoas e cumprindo seus principais desejos, e três (direto à ação, fator de aborrecimento e delta do aprendizado) definiram a maneira como as pessoas experimentam e utilizam o próprio produto.

Na pesquisa *Smart TVs*, os autores utilizaram questionários que incluíam perguntas a partir de estudos anteriores acerca de itens sobre utilidade, apelo subcultural, originalidade, atratividade, atitude, e intenção de uso. Em seguida, especialistas em radiodifusão e tecnologias de mídia realizaram a revisão e correção dos itens do questionário, em seguida foi realizada uma pesquisa piloto com 20 participantes que possuíam mais de 6 meses de experiência no uso de TVs inteligentes.

Os estudos apresentados utilizaram questionários e entrevistas para testar a experiência do usuário além de medir a percepção do *coolness* nas áreas de IHC e no design de interação. O questionário produzido por Bruun et al. (2016), denominado “O questionário *cool*”, mediu a conveniência através de questões relacionadas à forma como um específico produto interativo, representado por um dispositivo móvel apela para o desejo pessoal. Através de uma página web, os participantes responderam perguntas relacionadas ao dispositivo, e a partir desse questionário foram extraídas as características identificadas pelos usuários como, por exemplo, a rebeldia, que pode ser medida através de declarações relacionadas à convencionalidade do dispositivo.

Warren and Campbell (2014) investigaram a relação entre o *coolness* e o conceito de autonomia, descrevendo como os fatores que podem afetá-lo e como a autonomia pode ser medida através de um questionário. Os estudos foram realizados com participantes que avaliaram design de garrafas e logotipos de marcas famosas, onde concluíram que tanto marcas quanto objetos divergem na percepção do usuário aumentando a autonomia de uma maneira apropriada e percebida como *cool*.

Na pesquisa realizada, Read et al. (2011) buscaram entender elementos de design voltados para adolescentes que pudessem ser identificados como legal, e quais seriam suas causas e motivações. Definiram características com base em pesquisas na literatura e trataram categorias específicas (retrô, autêntico, alto valor, rebelde, anti-social e inovador) para checar as informações extraídas a partir de respostas dos alunos de uma escola do Reino Unido, com idades entre 11 e 15 anos. Como resultado, foram observadas características especiais em relação ao design, marcas e especificações de produtos que foram associadas entre as categorias.

Relacionado com um trabalho anterior [Read et al. 2011] Read et al. (2012) concentraram na premissa de que existe um entendimento comum entre adolescentes do que é legal, assim com a expectativa que pode haver algumas "coisas" que seriam consideradas menos ou mais legais por certos subgrupos. "Coisas" referem-se a objetos físicos (um tipo de tecnologia) ou outros itens físicos que escolhemos consumir (um determinado tipo de alimento) ou associar. Para avaliar esse entendimento, foi desenvolvido um aplicativo, o *Cool Wall*, que apresenta imagens exibidas em uma sequência predefinida, e ao serem arrastadas até uma categoria desejada às classificações definidas pelo usuário são armazenadas em um arquivo.

Entrevistas também foram utilizadas nesse processo, Farnsworth et al. (2014) desenvolveram um questionário para medir o *coolness*, a partir da realização de vários estudos durante três anos, envolvendo 900 consumidores e mais de 2000 profissionais de negócios de todo o mundo. Como resultado, as principais características descritas pelos entrevistados contribuíram para definir estrutura conceitual do *coolness*.

6. Conclusões

Tradicionalmente o termo *cool* é uma forma com que as pessoas costumam referenciar positivamente objetos, atividades, pessoas ou lugares. Em áreas como marketing, indústrias da moda e música, o *coolness* é descrito como uma boa atitude em relação a algo e como as pessoas o reconhecem, sendo sua percepção compartilhada entre os membros de um grupo. O conceito de *coolness* vem sendo cada vez mais utilizado para descrever a experiência e aprovação dos usuários em vários produtos interativos em IHC. Contudo, apesar de ser um critério evidente para novos dispositivos e aplicações, esse é um conceito complexo que pode significar coisas diferentes entre as pessoas.

Na presente revisão sistemática da literatura, buscamos estudos que trataram o conceito de *coolness* na área de IHC, com o objetivo de identificar suas características fundamentais e prover uma noção ampla do termo. A realização desse trabalho proveu uma visão mais abrangente do conceito do *coolness* envolvendo as características destacadas na literatura. A subconceitualização de *coolness* pode ser útil para pesquisadores e projetistas desenvolverem projetos almejando uma melhor UX. Desse modo, apresentando uma contribuição para a área de IHC, possibilitando, a partir deste estudo, o surgimento de novas ideias sobre como projetar artefatos legais, evocando uma melhor experiência do usuário.

Esta pesquisa desvendou que o *coolness* pode ser considerado uma atitude pessoal em relação a objetos, pessoas e atividades, que são caracterizados de acordo com a percepção do usuário acerca dos fatores definidos nas características. Além disso, nosso estudo pode ser utilizado como ponto de partida para o desenvolvimento de questionários e outros instrumentos para medição do quanto um produto digital é experienciado como *cool*. Nesse contexto, fornecemos exemplos práticos tanto na identificação de como os artefatos são percebidos como *cool*, quanto sobre como utilizar os resultados coletados a partir de ferramentas utilizadas para medir a percepção de *coolness*.

Outra contribuição dessa revisão sistemática da literatura foi desvendar como está sendo testado, diante da experiência e aprovação dos usuários em relação a várias características, o quanto um produto é definido como *cool*. Diante dos conceitos apresentados, podemos inferir que não se pode medir diretamente o *coolness* de um objeto, mas podemos medir o nível de percepção das pessoas baseadas em valores pessoais, criados e abordados de acordo com os grupos pertencentes.

No entanto, foi identificada uma lacuna na literatura no que diz respeito a uma ferramenta mais abrangente para testar o *coolness* em UX. Apenas foram encontradas ferramentas limitadas que não abordam todos os conceitos supracitados. Muitos autores realizaram estudos baseados em questionários e entrevistas, e em alguns casos, selecionaram algumas características já identificadas na literatura para a realização estudos, visando relacionar as características ou propondo novas categorizações, apontando a necessidade de pesquisas nesse sentido.

A presente revisão sistemática da literatura servirá como ponto inicial para investigações acerca de como cada subconceito do *coolness*, pode ser observado em websites e aplicativos e se eles podem, efetivamente, ser atrelados à esse conceito nesse

cenário específico. Em outras palavras, como as características vinculadas ao conceito *coolness*, provenientes da literatura, desejabilidade, utilidade, usabilidade, conexão, identidade, sensação, atratividade, não-convencional, inovação, rebeldia e anti-social, podem ser mapeadas em exemplos concretos de websites e aplicativos e se podem ser usadas para se julgar se um website ou aplicativo é legal. Para tanto serão realizados testes empíricos envolvendo websites e aplicativos considerados *cool* e não *cool*, considerando-se um número significativo de usuários, buscando prover evidências que indiquem se as características compiladas na presente pesquisa estão relacionadas ao *coolness* nessa perspectiva.

Referências

- Brereton, Pearl et al. (2007). Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. **Journal of systems and software**, v.80, n.4, p.571-583.
- Bruun, Anders et al. (2016). Measuring the coolness of interactive products: The COOL questionnaire. **Behaviour & Information Technology**, v.35, n.3, p. 233-249.
- Dar-Nimrod, Ilan et al. (2012). Coolness: An empirical investigation. **Journal of Individual Differences**.
- Farnsworth, Carol et al. (2014). Cool in Business: Developing a Data-Based Instrument Measuring “Cool”. In: **International Conference of Design, User Experience, and Usability**. Springer, Cham, p. 232-243.
- Farnsworth, Carol et al. (2014). Measuring product "coolness" developing a measurement instrument. In: **CHI'14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems**, p. 893-896.
- Fitton, Daniel et al. (2012). Constructing the cool wall: a tool to explore teen meanings of cool. **PsychNology**, v. 10, n. 2, p. 141-162.
- Hassenzahl, Marc; Tractinsky, Noam. (2006). User experience - a research agenda. **Behaviour & information technology**, v. 25, n. 2, p. 91-97.
- Holtzblatt, Karen; Rondeau, David B.; Holtzblatt, Les. (2010). Understanding "cool". In: **CHI'10 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems**, p. 3159-3162.
- Holtzblatt, Karen. (2011). What makes things cool? Intentional design for innovation. **Interactions**, v.18, n. 6, p.40-47.
- Irshad, Shahida; Sadiq, Mazhar. (2020). Measuring The Coolness Of Pakistani Truck Art Emojis. **International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS)**, v.18, n.3.
- Jetter, Christian; Gerken, Jens. (2007). A simplified model of user experience for practical application. In: **NordiCHI 2006, Oslo: The 2nd COST294-MAUSE International Open Workshop "User eXperience-Towards a unified view"**, p. 106-111.
- Kim, Jina; Park, Eunil. (2019). Beyond coolness: Predicting the technology adoption of interactive wearable devices. **Journal of Retailing and Consumer Services**, v.49.

- Mamonov, Stanislav; Koufaris, Marios. (2020). Fulfillment of higher-order psychological needs through technology: The case of smart thermostats. **International Journal of Information Management**, v. 52, p. 102091.
- Mccrickard, D. Scott et al. (2012). Understanding Cool in Computing for African-American Youth.
- Nancarrow, Clive; Nancarrow, Pamela; Page, Julie. (2002). An analysis of the concept of cool and its marketing implications. **Journal of Consumer Behaviour: An International Research Review**, v. 1, n. 4, p. 311-322.
- O'Donnell, Kathleen A.; Wardlow, Daniel L. (2000). A Theory on the Origins of Coolness. **ACR North American Advances**.
- Park, Eunil. Understanding the social adoption of smart TVs: the key role of product coolness. (2019) **Universal Access in the Information Society**, p. 1-8.
- Peng, Xixian; Zhao, Yuxiang Chris; Teo, Hock-Hai. (2016). Understanding Young People's Use of Danmaku Websites: the effect of Perceived Coolness and subcultural Identi. In: **PACIS**, p. 252.
- Pountain, Dick et al. (2000). **Cool rules: Anatomy of an attitude**. Reaktion books.
- Price, Linda L.; Belk, Russell W. (2016). Consumer ownership and sharing: Introduction to the issue. **Journal of the Association for Consumer Research**, v. 1, n. 2, p. 193-197.
- Raptis, Dimitrios; Kjeldskov, Jesper; Skov, Mikael. (2013). Understanding "cool" in human-computer interaction research and design. In: **Proceedings of the 25th Australian Computer-Human Interaction Conference: Augmentation, Application, Innovation, Collaboration**, p. 53-62.
- Raptis, Dimitrios et al. (2017). Converging coolness and investigating its relation to user experience. **Behaviour & Information Technology**, v. 36, n. 4, p. 333-350.
- Read, Janet et al. (2011). Understanding and designing cool technologies for teenagers. In: **CHI'11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems**, p. 1567-1572.
- Read, Janet C. et al. (2012). Cool across continents, cultures and communities. In: **CHI'12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems**, p. 2791-2794.
- Southgate, Nick. (2003). Coolhunting, account planning and the ancient cool of Aristotle. **Marketing Intelligence & Planning**.
- Sundar, S. Shyam; Tamul, Daniel J.; Wu, Mu. (2014). Capturing “cool”: Measures for assessing coolness of technological products. **International Journal of Human-Computer Studies**, v. 72, n. 2, p. 169-180.
- Warren, Caleb; Campbell, Margaret C. (2014). What makes things cool? How autonomy influences perceived coolness. **Journal of Consumer Research**, v. 41, n. 2, p. 543-563.
- Warren, Caleb; Reimann, Martin. (2019). Crazy-Funny-Cool Theory: Divergent Reactions to Unusual Product Designs. **Journal of the Association for Consumer Research**, v. 4, n. 4, p. 409-421.

Alocação de salas usando fluxo máximo de custo mínimo em grafos bipartidos

João Batista O. Netto, Hebert Coelho da Silva

¹Instituto de Informática – Universidade Federal de Goiás (UFG)
Goiânia – GO – Brasil

joaonetto901@gmail.com, hebert@inf.ufg.br

Abstract. *This article presents a solution for the assignment in UFG's context. This problem can be described as follows. Given a set of requests for rooms and a set of available rooms, the goal is to optimize the occupation of rooms in a way that each room has a capacity that satisfies each attended request. With the growing graduation and post-graduation courses and therefore the growing of subjects at UFG campus, manual assignment of classes is becoming more of a challenging and consuming task. This article offers a solution to this problem using min-cost max-flow in bipartite graphs and does an analysis of current allocation done by UFG against the algorithm allocation, providing an alternative to a manual assignment.*

Resumo. *Este artigo apresenta uma solução para o problema de alocação de salas no âmbito da UFG. O problema consiste em, dado um conjunto de pedidos para uso de salas e um conjunto de salas disponíveis, otimizar a ocupação das salas garantindo que cada sala tenha capacidade suficiente para que as pessoas fiquem sentadas. Com o aumento de cursos de graduação e pós-graduação e por conseguinte de disciplinas nos campus da UFG, alocar as disciplinas em salas tem se tornando um desafio e consumindo muito tempo pois é feito de forma manual. Este artigo oferece uma solução para o problema usando fluxo máximo de custo mínimo em grafos bipartidos e analisa a alocação atual versus a alocação feita pelo algoritmo, provendo uma alternativa para a alocação manual.*

1. Introdução

A alocação de disciplinas em salas é uma tarefa importante e que ocorre rotineiramente em diversos lugares como universidades, eventos, etc. Em geral alocar salas a todos os eventos é uma tarefa complexa, sendo um problema classificado como NP-completo [Even et al. 1975]. Neste sentido, encontrar uma das melhores soluções possíveis (solução ótima) para este problema pode demorar muito tempo. O objetivo deste trabalho é implementar uma solução computacional para o caso da UFG com um bom equilíbrio entre qualidade da solução e o tempo gasto, buscando colaborar com a distribuição de salas nessa instituição que atualmente é feita de forma manual.

A alocação de salas no Campus da UFG é realizado com auxílio do SIDS, cujo manual, endereço na internet e criador podem ser encontrados na referência [Smith 2020]. A UFG cedeu os dados das alocações de salas realizadas na UFG referentes ao período de 2012.1 até 2020.1, coletados do sistema para utilização nos testes com uma instância implementada do algoritmo. Destacamos que no primeiro semestre de 2020, foram realizados 7725 pedidos para salas no Campus da UFG. A alocação atualmente é feita de forma manual por um ou vários funcionários designados pela Pró-Reitoria de Graduação da UFG. Assim, esse processo consome tempo e recursos humanos, e foi relatado que já chegou a consumir até um mês. Com o aumento de demanda por salas e o surgimento de novos cursos esse processo tende a demorar ainda mais.

Na alocação de disciplinas em salas na UFG temos dois conjuntos, o conjunto de pedidos que contém os requisitos necessários a uma determinada turma, e o conjunto de salas disponíveis com seus recursos. Nessa versão esperamos que os horários dos pedidos já estejam preestabelecidos. Desse modo, procuramos uma atribuição de pedidos para salas, de modo que a maioria dos pedidos sejam atendidos dentro dos parâmetros estabelecidos.

Modelamos as salas e os pedidos como um grafo orientado com peso nas arestas. A solução, que é uma alocação, é obtida com um algoritmo que resolve o problema de fluxo máximo com custo mínimo. Existem diversos algoritmos que resolvem tal problema, o algoritmo que utilizamos [Kogler 2018] tem, até onde sabemos, o melhor tempo de execução, que é polinomial e oferece a solução ótima para o fluxo máximo. É importante salientar que independentemente da modelagem adotada para transformar o problema da alocação de salas no problema de fluxo máximo com custo mínimo, uma solução ótima para o segundo não obterá uma solução ótima para o primeiro pois são problemas distintos.

Vários artigos já se dedicaram a estudar o problema da alocação de recursos, visto que é um problema antigo na computação, com artigos propondo soluções desde 1968 [Foxley e Lockyer 1968]. Um teste feito na UFSM [Sales et al. 2015] obteve uma melhor distribuição de espaços comparados a alocação manual anteriormente realizada. Outros autores tentaram aplicações de programação linear [Lemos et al. 2019] e algoritmos genéticos [Burke e Newall 1999].

À implementação atual do algoritmo de fluxo máximo de custo mínimo num grafo modelado com os dados obtidos do SIDS para o primeiro semestre de 2020, conseguiu alocar 7148 pedidos em menos de um minuto, sobrando 577 pedidos que não foram alocados pois não era possível alocar dentro dos parâmetros requisitados. Os 577 pedidos

não atendidos correspondem a aproximadamente 7% do total, sendo uma solução inicial que pode ajudar na solução final.

Este trabalho está organizado como segue. Na Seção 2 serão apresentadas algumas definições necessárias ao trabalho. Na Seção 3 será detalhada a modelagem do problema em um grafo bipartido. A Seção 4 abordará a implementação do algoritmo em linguagem Python3 do conteúdo apresentado anteriormente, mostrando também os dados e resultados. Por fim, apresentaremos algumas considerações e aplicações na Conclusão.

2. Definições e conceitos básicos

Esta seção contém a terminologia básica para um bom entendimento do trabalho. Usamos a notação padrão em grafos e conceitos adicionais podem ser encontrados em [Bondy e Murty 1976]. Um *grafo* G é um par ordenado (V, E) , onde V é um conjunto não vazio de elementos denominados vértices, e E um subconjunto de pares de vértices denominados arestas. Um grafo pode ser *direcionado* e é comumente denominado *Dígrafo*, neste caso cada aresta é denominada de *arco* que são pares ordenados de vértices. Quando for necessário indicar o conjunto de vértices ou arestas para um grafo G específico será utilizado respectivamente a notação $V(G)$ ou $E(G)$.

Em geral, para representar um grafo no plano são utilizados círculos como vértices, linhas ligando os vértices como arestas e linhas com setas para representar arcos. Algumas vezes em problemas práticos é necessário adicionar pesos nas arestas. Para cada aresta $e \in E$ está associado um número real $w(e)$ chamado de *peso*. Na Figura 1 apresentamos do lado esquerdo um grafo G com conjunto de vértices $V(G) = \{v_1, v_2, v_3\}$ e conjunto de arestas $E(G) = \{\{v_1, v_2\}, \{v_2, v_3\}, \{v_3, v_1\}\}$, do lado direito um grafo direcionado D com $V(D) = \{v_1, v_2, v_3\}$, $E(D) = \{(v_1, v_2), (v_2, v_3), (v_1, v_3)\}$ e peso nos arcos.

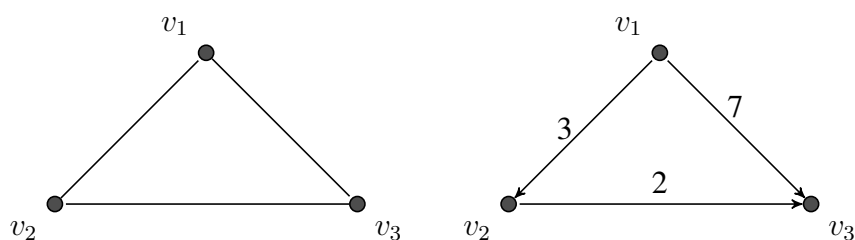


Figura 1. Grafo G e Dígrafo D com pesos nas arestas.

Um grafo é chamado de *bipartido* quando é possível particionar o conjunto de vértices em duas partições S, P de modo que não existam arestas entre vértices de uma mesma partição. A partição (S, P) é chamada de bipartição do grafo, e S e P suas partes. Grafos bipartidos não contém ciclos ímpares, assim o grafo G da Figura 1 não é bipartido.

Um *emparelhamento* M em um grafo G é um subconjunto de arestas onde não existem duas arestas incidindo no mesmo vértice. Por exemplo, sejam $x, y, z \in V(G)$, se $\{x, y\} \in M$ então não existe $\{x, z\} \in M$ ou $\{y, z\} \in M$. Desde que estamos falando de um grafo não direcionado a ordem em que os vértices aparecem nas arestas não é importante. Um emparelhamento máximo significa que não existe um subconjunto M' maior

que o conjunto M . Na Figura 2 apresentamos um grafo G com emparelhamento de arestas representados pelas linhas pontilhadas, note que este não é o único emparelhamento, mas é um emparelhamento máximo.

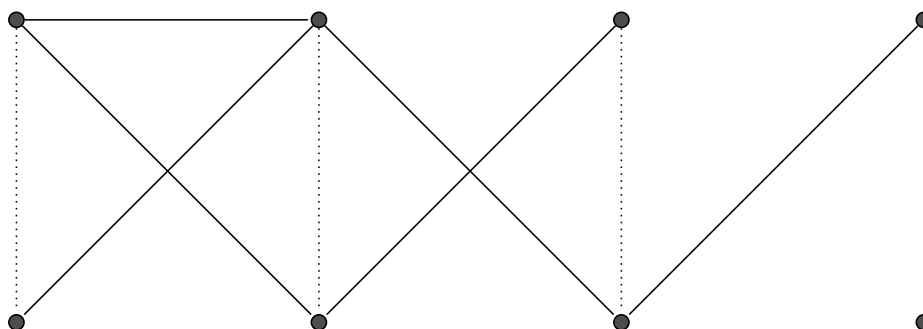


Figura 2. Exemplo de emparelhamento.

2.1. Problema de fluxo máximo com custo mínimo

Este tópico é fundamental para este trabalho, pois a solução que propomos utiliza a transformação do problema de alocação de salas em um caso de fluxo máximo em redes.

Uma *rede* é um Dígrafo $D = (V, E)$ em que cada aresta $e \in E(D)$ está associado um número real positivo $c(e)$ denominado *capacidade* da aresta e . Suponha que D possua dois vértices especiais e distintos $g, t \in V(D)$ chamados respectivamente de *origem* e *destino*, com as seguintes propriedades: o primeiro é uma fonte que alcança todos os vértices. Enquanto o destino é um sumidouro alcançado por todos. Um *fluxo* f de g a t em D é uma função que associa a cada aresta $e \in E(D)$ um número real não negativo $f(e)$ satisfazendo às seguintes condições:

- $0 \leq f(e) \leq c(e)$, para toda aresta $e \in E(D)$.
- $\sum_{w_1} f(w_1, v) = \sum_{w_2} f(v, w_2)$, para todo vértice $v \neq g, t$.

A primeira condição acima simplesmente indica que o fluxo em cada aresta não ultrapassa o valor de sua capacidade. A segunda significa que o somatório dos fluxos das arestas que entram em v é igual ao fluxo das arestas que saem de v . Este somatório é denominado valor do fluxo em v .

O valor do fluxo na origem é denominado valor do fluxo na rede D e denotado por $f(D)$. Dada uma rede D o *problema do fluxo máximo* consiste em determinar $f(D)$ máximo, ou seja, $f(D) \geq f'(D)$ para todo fluxo $f'(D)$ possível. Consideramos também além da capacidade c de cada aresta o *custo* w por unidade de fluxo em cada aresta. Assim, o objetivo do fluxo máximo com custo mínimo é encontrar um fluxo $f(D)$ máximo no qual a soma dos custos seja a mínima possível.

3. À modelagem para o problema de alocação usando redes

Conforme já citado na Introdução, no problema da alocação de disciplinas em salas existem dois conjuntos, o conjunto das salas S e o conjunto de pedidos P . Na modelagem consideramos que S e P são subconjuntos dos vértices $V(D)$ formando as duas partições

de um dígrafo bipartido D . Por simplicidade, consideramos que a sala está vazia no horário determinado pelo pedido.

O conjunto dos arcos $E(D)$ dependem exclusivamente de características específicas ao problema na UFG levantadas junto aos gestores do SIDS. Tais características estão relacionados a dados apresentados nas Tabelas 1 e 2. Assim, existe um arco $e = (p, s) \in E(D)$ entre $p \in P$ e $s \in S$ sempre que a sala referente a s for do mesmo tipo e prédio do pedido p , vejam as colunas 2 e 3 nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Conjunto de salas exemplo

Nome	Prédio	Tipo	Capacidade	Nome no Grafo
Sala 1	CA1	Sala	40	S1
Sala 2	CA1	Laboratório	20	S2
Sala 3	CA2	Sala	40	S3

Tabela 2. Conjunto de pedidos exemplo

Nome	Prédio	Tipo	Capacidade	Nome no Grafo
Pedido 1	CA1	Sala	50	P1
Pedido 2	CA1	Laboratório	15	P2
Pedido 3	CA2	Sala	40	P3

Outro dado importante é a capacidade da sala e do pedido que denotaremos respectivamente por CS e CP , tais dados estão presentes na quarta coluna das Tabelas 1 e 2. Os arcos definidos no dígrafo D recebem pesos, que são como penalidades, conforme a Equação 1. Diferentes equações podem levar a resultados distintos de alocação. A seguinte fórmula foi utilizada pelo algoritmo durante os testes:

$$Custo = |CS - CP| - 100 \cdot PR \quad (1)$$

A variável $PR \in \mathbb{R}$ na Equação 1 é a prioridade que pode ser definida junto com cada pedido para indicar que determinados pedidos devem ser atendidos com mais ou menos privilégio. Veja que, para qualquer valor de $PR > 0$, o peso do arco que é o custo de cada unidade de fluxo definido na Equação será diminuído, tornando o pedido mais atraente de ser atendido. Como a prioridade não é atualmente considerada nos dados atuais para a alocação de salas na UFG, consideramos neste trabalho nula a prioridade PR e a fórmula se reduz a $Custo = |CS - CP|$.

Na Figura 3 apresentamos o dígrafo bipartido D' inicial conforme a modelagem apresentada e obtido dos dados apresentados nas Tabelas 1 e 2. Para montar uma rede D a partir de D' conforme visto na Seção 2.1, resta adicionar dois vértices g e t , e arcos (g, p) e (s, t) para todo $p \in P$, $s \in S$. Consideramos que a capacidade de todos os arcos será $c = 1$ e para os arcos que partem de g ou chegam em t terão $Custo = 0$.

Obtemos agora uma rede de fluxo onde poderemos utilizar o algoritmo de fluxo máximo custo mínimo para obter um emparelhamento máximo. Na Figura 4 é apresentado um exemplo de rede D à esquerda, e à direita um fluxo máximo para a rede D obtido pela implementação do algoritmo utilizado neste trabalho. O fluxo passando por cada

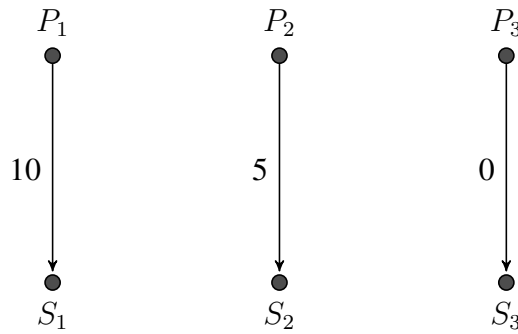


Figura 3. DÍGRAFO D' inicial gerado com os dados das Tabelas 1 e 2.

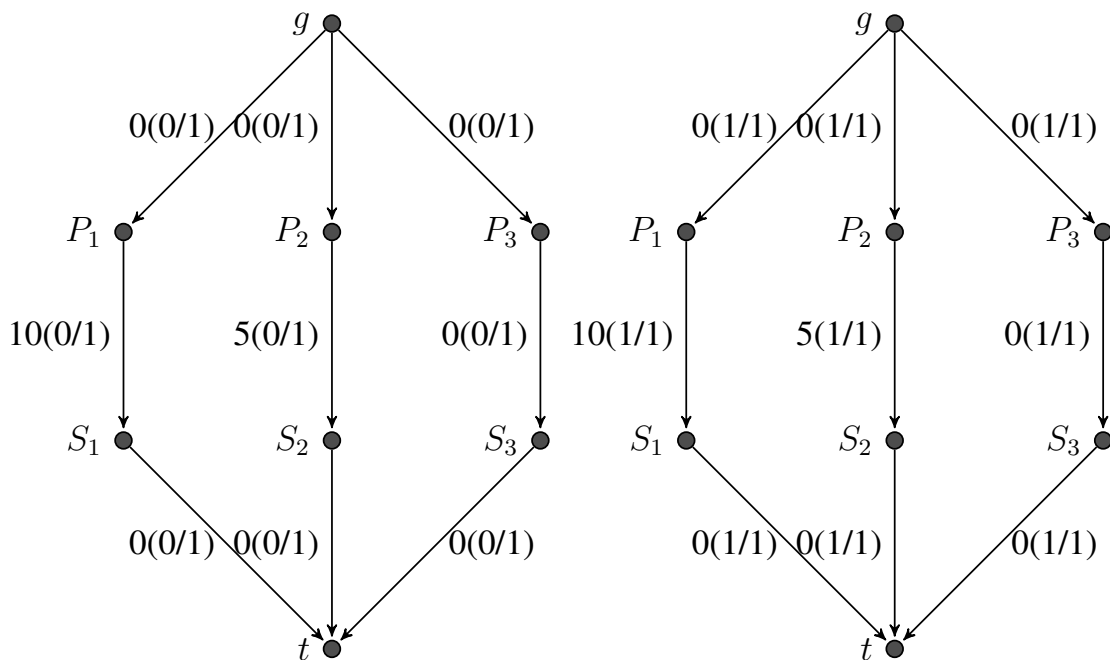


Figura 4. À esquerda uma rede D gerado a partir de D' da Figura 3. À direita um fluxo máximo para Rede D .

aresta está representado no primeiro valor dentro do parenteses. O fluxo que passa pelas arestas da solução sempre correspondem a um emparelhamento entre P e S .

Um dado a considerar é que os pedidos da UFG são divididos por horários, no total sendo 7 dias e 17 horários por dia. Para reduzir o uso de memória RAM pelo computador usado nos testes, optamos por montar $7 \cdot 17 = 119$ redes conforme ao modelado na Figura 4 e rodamos o algoritmo de fluxo máximo com custo mínimo 119 vezes. Na solução apresentada na Figura 4, a alocação foi realizada com o custo total de 15.

O objetivo da implementação que apresentamos na Seção 4 é alocar o maior número de pedidos com o menor custo. O algoritmo utilizado garante que fluxo máximo com custo mínimo é obtido para uma rede qualquer, assim a solução depende da modelagem utilizada.

4. Uma implementação do fluxo máximo com custo mínimo

A implementação aqui apresentada pode ser encontrada em [Netto 2020] e foi realizada usando a linguagem de programação *Python3* [van Rossum et al. 2001]. Foi decidido que essa seria a melhor linguagem para integração com o SIDS e para futura manutenção do algoritmo. Dividimos a implementação em duas partes principais: a atribuição das salas e o fluxo máximo com custo mínimo.

A implementação de fluxo máximo com custo mínimo foi uma adaptação da encontrada em [Kogler 2018] e reescrita em *Python3* e não será detalhada neste artigo por restrições de espaço. A implementação da atribuição é uma adaptação da modelagem descrita na Seção 3 e terá sua própria subseção para ser devidamente explicada, após apresentação dos dados gerados a partir do SIDS.

4.1. Dados gerados a partir do SIDS

Utilizamos os dados de salas e pedidos encontrados no SIDS para os anos de 2012 a 2020. Para cada semestre foram fornecidos dois arquivos no formato texto com a extensão *txt*. O primeiro arquivo é denominado "Rooms.txt" e sua primeira linha é apresentada na Tabela 3. O segundo arquivo é denominado "Lessons.txt" e sua primeira linha é apresentada na Tabela 4.

No arquivo "Rooms.txt" os campos utilizados para a modelagem tem respectivamente os mesmos nomes que os utilizados na Tabela 1: Prédio, Tipo e Capacidade. No arquivo "Lessons.txt" os campos utilizados para a modelagem tem os nomes *Bld*, *Type* e *Vacanc* respectivamente para Prédio, Tipo e Capacidade na Tabela 2.

Nos dados obtidos, os pedidos já tem um horário específico para ser atendido, não havendo mudanças de horários de pedidos pelo algoritmo. As salas foram esvaziadas e são tratadas como se estivessem o dia inteiro livre.

Tabela 3. Arquivo Rooms.txt

Id	Prédio	Capacidade	Tipo	Special	Nome
1	1	45	1	1	101
...

Tabela 4. Arquivo Lessons.txt

ID	Group	Solicit	Course	Entity	Day	Hour	Bld	Type	Room	Vacanc	Matric	Priori	Special
1	1	1	81	33	3	8	4	1	125	60	51	1	1
...

4.2. Atribuição

O SIDS divide a semana em 7 dias e 17 horários. Foi montado um grafo para cada horário e executado o algoritmo de fluxo para cada um deles, obtendo um total de 119 grafos. A função *assignPerTime* é responsável por fazer essa separação.

Essa função recebe um conjunto de salas e pedidos de acordo com os dados da subseção anterior e cria um subconjunto P dos pedidos em que $day = lesson.day$ e $hour = lesson.hour$. Após isso ela manda esse subconjunto para a função *assignLessonsToRoom* que irá modelar os dois conjuntos para uma rede de fluxo.

```

1 def assignPerTime(rooms, allLessons):
2     for day in range(1,8):
3         for hour in range(1, 18):
4             currentLessons = []
5             for lesson in allLessons:
6                 if(lesson.day == day and
7                    lesson.hour == hour):
8                     currentLessons.append(lesson)
9                 assignLessonsToRoom(rooms, currentLessons)

```

```

1 def assignLessonsToRoom(Rooms, Lessons):
2     edges = []
3     totalSize = len(Lessons) + len(Rooms) + 2
4     destiny = totalSize - 1
5     source = 0
6
7     for room in Rooms:
8         createEdge(edges, room, destiny, 0, 1)
9     for lesson in Lessons:
10        if(room.bld == lesson.bld and
11           room.roomType == lesson.roomType):
12            custo = abs(room.cap - lesson.vacan)
13                - 100 * lesson.priori
14            createEdge(edges, lesson, room, custo, 1)
15    for lesson in Lessons:
16        createEdge(edges, source, lesson, 0, 1)
17
18    graph = Graph(totalSize)
19    flow = graph.minCostFlow(source, destiny, edges)
20
21    assignment = graph.getFlowResult()

```

Essa função pode ser subdivida em três partes, tendo a inicialização entre as linhas 2 e 5. Para inicialização o número de vértices do grafo é acrescido de mais duas unidades, para acomodar os dois vértices extras que são a origem e o destino. A segunda parte, entre as linhas 7 e 16, cria arestas entre os pedidos e salas com o valor custo que foi definido anteriormente. Após as arestas do meio serem criadas, adicionamos as demais arestas entre g e o conjunto P . Finalizamos criando um grafo e aplicando o fluxo. Após isso, precisamos apenas encontrar as arestas entre pedidos e salas que tem fluxo passando por elas, obtendo assim uma alocação máxima de pedidos.

4.3. Algoritmo e Complexidade

O algoritmo de fluxo máximo com custo mínimo utilizado neste trabalho é apresentado pela função *minCostFlow*. Sua complexidade é de $\mathcal{O}(n^2m^2)$, onde n é o número de vértices e m o número de arestas. Na função *assignLessonsToRoom* iteramos pelas S salas e pelos K pedidos para aquele horário. Como criar arestas e comparação é $\mathcal{O}(1)$, obtemos uma complexidade de $\mathcal{O}(S \cdot K)$.

Na função *assignPerTime*, iteramos 119 vezes pelos P pedidos totais, obtendo uma complexidade de $\mathcal{O}(119 \cdot P) = \mathcal{O}(P)$. Como rodamos o fluxo para cada horário, obtemos a seguinte complexidade $\mathcal{O}(119 \cdot (P + S \cdot K + n^2 \cdot m^2))$. Como 119 é uma constante, podemos removê-la, obtendo a complexidade final de $\mathcal{O}(P + S \cdot K + n^2 \cdot m^2)$.

```

1  def minCostFlow(source , destiny , edges ):
2      costMatrix = [0,0]
3      capacityMatrix = [0,0]
4      createGraph(edges)
5      flow = 0
6      distance = []
7      path = []
8      while(flow < INFINITY):
9          BellmanFord(source , distance , path)
10         if(distance[destiny] == INFINITY):
11             break
12         currentFlow = INFINITY - flow
13         currentVertex = destiny
14         while(currentVertex != source):
15             j = currentVertex
16             i = path[currentVertex]
17             currentFlow = min(currentFlow , capacityMatrix[i][j])
18             currentVertex = i
19
20         flow += currentFlow
21         currentVertex = destiny
22         while(currentVertex != source):
23             j = currentVertex
24             i = path[currentVertex]
25             capacityMatrix[i][j] -= currentFlow
26             capacityMatrix[j][i] += currentFlow
27             currentVertex = i
28     return flow

```

O algoritmo *minCostFlow* acima computa o maior fluxo com custo mínimo para o conjunto de arestas dada para a função. Nas linhas 2 a 7 um grafo é inicializando, junto com uma matriz de custo e outra de capacidade de tamanho $n \cdot n$ sendo n o número de vértices do grafo. Essas matrizes guardam o custo de um transicionar de um vértice i para j e a capacidade de um vértice i para j , nos índices ij , respectivamente.

É criada a rede de fluxo na linha 4 e o fluxo é inicializado com 0 na linha 5. Dois vetores, distancia e caminho, são inicializados nas linhas 6 e 7 respectivamente. Esses dois vetores correspondem, na posição i , a distancia do vértice i até o vértice “source” no vetor “distance”, que é o vértice anterior ao vértice i no vetor “path”.

Nas próximas linhas temos o algoritmo em si. É usado o algoritmo de Belmman-Ford, linha 10, para encontrar o menor caminho entre dois vértices num grafo. Nesse caso entre o vértice “source” e “destiny”. Note que esse Bellman-Ford é ligeiramente modificado e considera que se a capacidade entre ij for 0, não há caminho entre os dois.

No caso de não existir um caminho entre os dois vértices, “source” e “destiny”, já temos o fluxo máximo e o algoritmo encerra, linhas 11 e 12. No caso de o caminho existir, o algoritmo procede para aumentar o fluxo o máximo possível, que no caso é a menor capacidade no caminho entre a origem e o destino encontrados no algoritmo de Bellman-Ford, linhas 13 a 20. Após esse mínimo ser encontrado, ele é adicionado ao fluxo. Após isso resta finalizar diminuir a capacidade de ij e adicionar na capacidade de ji para manter a rede residual atualizada.

5. Resultados

Analizamos dados de vários semestres que podem ser observados na Figura 5. Por motivos de comparação, usamos a alocação original, em que foi rodado um programa auxiliar para verificar quantos pedidos não foram alocados. Observe que em semestres onde a alocação do algoritmo foi pior que a manual, foram apenas semestres onde não havia mais salas para o algoritmo alocar pedidos. Além disso, a alocação manual foi melhor pois ocorreu um erro na alocação manual que atribui salas aos pedidos com tipos diferentes aos requisitados. A solução obtida pela implementação sempre alocou todas as salas disponíveis e para os pedidos não atendidos não havia mais salas.

Testamos outras configurações de restrições, não criando arestas entre pedidos e salas se a capacidade do pedido excedesse ou fosse menor que 20, 50 e 75% da sala, como visto na Figura 6. Como o percentual de pedidos alocados diminuiu quando se aplica essas restrições, o algoritmo não usou as restrições de capacidade na hora da alocação. Todavia, os resultados com essas restrições são mostrados na Figura 6.

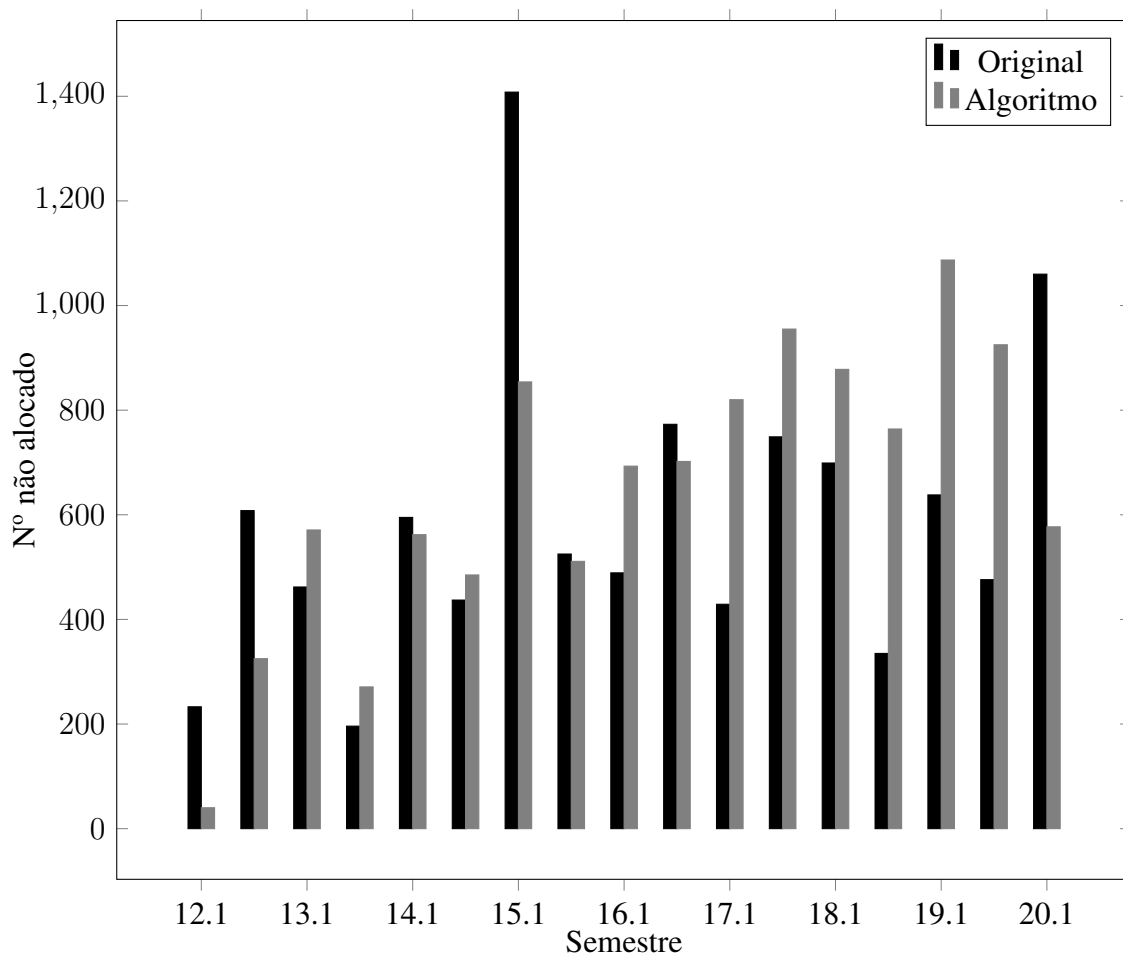


Figura 5. Pedidos alocados

Se observa que o algoritmo alocou todos os pedidos possíveis, enquanto a original teve pedidos não alocados devido a outros motivos que não temos acesso. Um pré-processamento dos dados pode levar a um resultado melhor, visto que os dados utilizados traziam pedidos para aulas de mestrado e estágio, que nem sempre recebem uma sala.

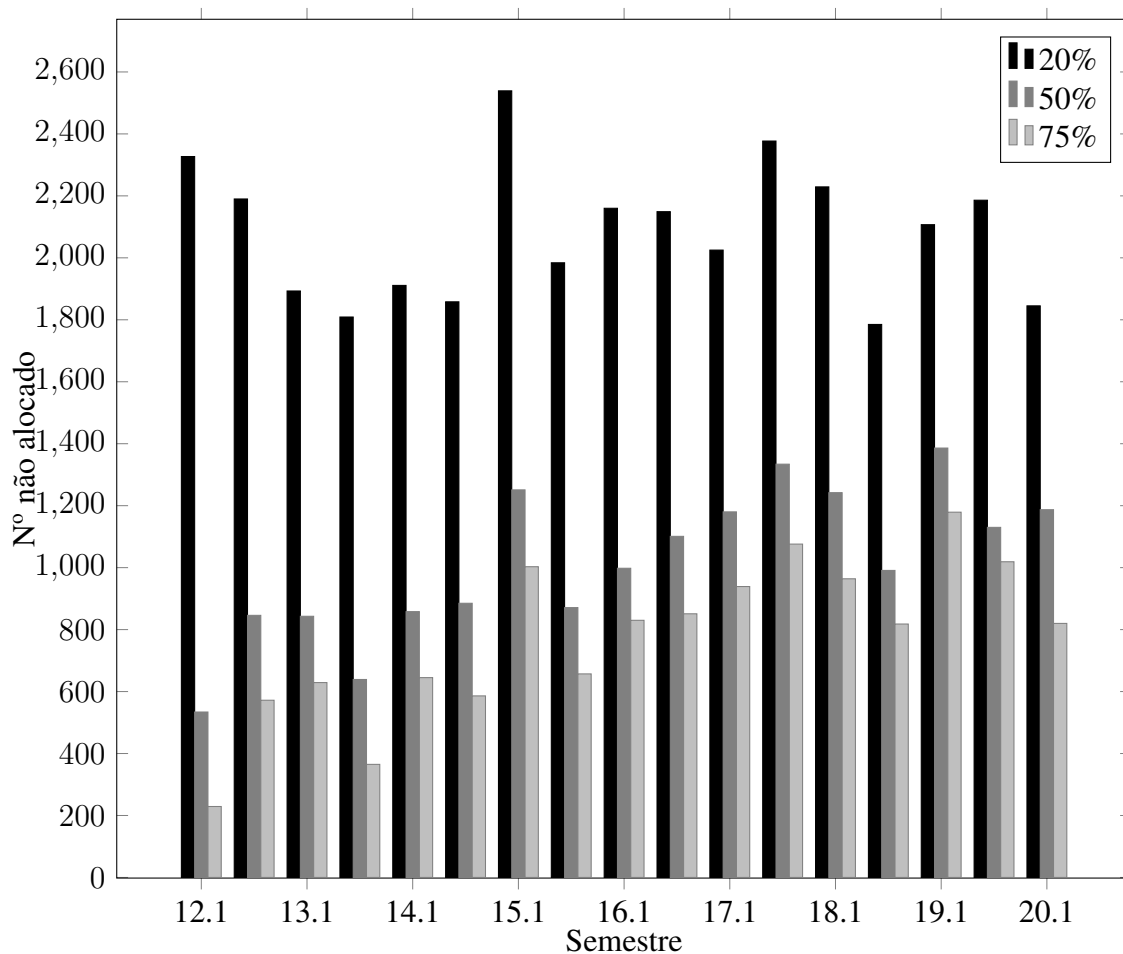


Figura 6. Pedidos alocados com diferentes percentagens.

A implementação foi executada em uma máquina com as seguintes especificações:

Ubuntu 18.04 64 bits, 4GB RAM, Intel® Core™ i5-7200U CPU @ 2.50GHz 4, Intel® HD Graphics 620 (Kaby Lake GT2).

A aplicação gerou uma solução para cada semestre com tempo não superior a 55 segundos. Vale também destacar que com os dados obtidos as soluções produzidas são alocações maximais em todos os casos, ou seja, os pedidos não atendidos são por falta de salas. Algumas considerações que são usadas na UFG não foram utilizadas neste modelo e serão desenvolvidas posteriormente, uma delas é que a alocação de alguns pedidos podem ser agrupados na mesma sala.

6. Conclusão

Essa aplicação foi desenvolvida para ser utilizada com o SIDS, podendo ser executada diretamente com os dados oferecidos no SIDS. Como a implementação do algoritmo tem o tempo de execução muito pequeno ela pode ser usada para pré-processamento, descobrindo se a alocação será válida antes do período de matrícula. Desse modo, ficaria mais fácil mudar algum pedido de horário caso não tenha sala disponível.

A implementação também pode ser utilizada para reduzir o trabalho dos servidores, que poderão se atentar apenas a resolver as disciplinas que não tiveram salas alocadas.

Visto que em todas as alocações realizadas pela implementação com os dados obtidos, no máximo 13 pedidos não foram alocados. Assim, os servidores terão menos trabalho e poderão se dedicar a outras atividades.

Outro ponto foi observado é que o programa retorna um arquivo compatível com o SIDS, que pode ser utilizado na visualização da alocação. Tendo em vista os pontos anteriores, a automatização do processo de alocação pode ser benéfica para a UFG, reduzindo o uso de mão de obra numa atividade repetitiva. Visto que o tempo de alocação do algoritmo é extremamente menor que o tempo original, podem ser testadas várias alocações diferentes, mudando o peso das arestas.

Pré-alocações manuais também podem ser feitas antes do algoritmo, para caso alguma aula precise de uma sala específica. Essas alocações podem ser feitas rapidamente, mesmo adicionando novos pedidos, a alocação antiga se manteria, tornando o processo simples. Com esses resultados e trabalhando com os mantenedores do sistema, produzimos uma solução que atende as crescentes demandas da UFG gerando uma solução rápida e boa.

Referências

- Bondy, J. A. e Murty, U. S. R. (1976). *Graph Theory with applications*. Elsevier Science Publishing, 1st edition.
- Burke, E. e Newall, J. (1999). A multistage evolutionary algorithm for the timetable problem. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 3(1):63–74.
- Even, S., Itai, A., e Shamir, A. (1975). On the complexity of time table and multi-commodity flow problems. Em *16th Annual Symposium on Foundations of Computer Science (sfcs 1975)*, páginas 184–193.
- Foxley, E. e Lockyer, K. (1968). The construction of examination timetables by computer. *The Computer Journal*, 11(3):264–268.
- Kogler, J. (2018). Minimum-cost flow - successive shortest path algorithm. https://cp-algorithms.com/graph/min_cost_flow.html, Acesso em Julho de 2020.
- Lemos, A., Melo, F. S., Monteiro, P. T., e Lynce, I. (2019). Room usage optimization in timetabling: A case study at Universidade de Lisboa. *Operations Research Perspectives*, 6:100092.
- Netto, J. (2020). TCC em ciência da computação no INF/UFG: Implementação do problema de alocação de salas na UFG em Python. <https://github.com/joaobnetto/ICPython>, Acesso em Agosto 2020.
- Sales, E. S., Müller, F. M., e Simonetto, E. O. (2015). Solução do problema de alocação de salas utilizando um modelo matemático multi-índice. Porto de Galinhas, Pernambuco - PE. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional.
- Smith, O. P. (2020). Sistema de distribuição de Salas. https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/90/o/Tutorial_SiDS_v3.14.pdf, Acesso em Julho 2020.
- van Rossum, G., Warsaw, B., e Coghlan, N. (2001). Style guide for python code. <https://www.python.org/dev/peps/pep-0008/>, Acesso em Agosto 2020.

Um estudo dos impactos da Inclusão Digital no cotidiano acadêmico de alunos Indígenas e Quilombolas

Jerlianni B. de Oliveira, Luciana de Oliveira Berretta e Raimunda Delfino do Santos

¹Instituto de Informática – Universidade Federal de Goiás (UFG)
Goiânia – GO – Brasil

Abstract. *This paper aims to study the impact that digital literacy has on the daily lives of students Indigenous and Quilombolas who have difficulties using computer resources in academic practice. This way, three research steps were used for the construction of this work, namely, a) the exploratory research to survey bibliographic material in which the search for literacy, digital literacy and computing in education; b) descriptive research for observations and participation in the Digital Literacy for Indigenous and Quilombolas class; c) qualitative research for continuous assessment of students development. Based on the data collected in the course of this research and the reports of the participants, it was proved that this type of initiative can help students to feel more included digitally.*

Resumo. *Este trabalho tem como objetivo estudar o impacto do letramento digital no cotidiano de alunos Indígenas e Quilombolas que apresentam dificuldades ao utilizarem os recursos computacionais na prática acadêmica. Para a construção deste trabalho foram realizadas 3 etapas de pesquisa, sendo: a) a pesquisa exploratória para levantamento de material bibliográfico em que foi priorizada a busca sobre letramento, letramento digital e inclusão digital; b) pesquisa descritiva para observações e participação nas aulas do projeto Letramento Digital para Indígenas e Quilombolas; c) pesquisa qualitativa para avaliação contínua do desenvolvimento dos alunos. Com base nos dados coletados no decorrer desta pesquisa e nos relatos dos participantes, comprovou-se que esse tipo de iniciativa pode auxiliar estudantes a se sentirem mais incluídos digitalmente.*

1. Introdução

O uso do computador, da internet e das ferramentas neles contidas tornaram-se essenciais para tarefas simples do cotidiano, abrangendo a comunicação entre as pessoas e as instituições. O mesmo passou a acontecer no meio escolar e acadêmico onde, cada vez mais os alunos que ingressam no ensino superior devem acessar diariamente plataformas digitais, *e-mails*, sistemas de gestão acadêmica, pois boa parte dos trabalhos solicitados e dos materiais didáticos disponibilizados está em plataformas institucionais *online* de ensino. Se considerarmos o contexto atual, de isolamento físico e de ensino remoto, a necessidade de saber usar as ferramentas tecnológicas tornou-se ainda mais evidente.

Nesse sentido, notamos que o avanço das tecnologias de informação e de comunicação (TICs) provocou grandes mudanças sociais e culturais e essas mudanças afetaram os hábitos da educação básica e superior, do mercado de trabalho e do estilo de vida cotidiano [Pereira 2017].

Na contemporaneidade percebemos que aqueles alunos que não têm ou não conseguem interagir eficientemente com essas tecnologias experimentam uma exclusão digital, que traz como consequência uma discrepância no acompanhamento e no progresso acadêmico, pois essas dificuldades podem trazer prejuízos para os estudos, desistências de disciplinas, desmotivação do aluno em investir e aprofundar seu conhecimento nas matérias cursadas, levando, em alguns casos, ao trancamento (desistência temporária) ou cancelamento (desistência permanente) do curso.

Considerando a importância de verificar os impactos da inclusão digital entre alunos da universidade e a necessidade da difusão do conhecimento da área de informática para auxiliar estudantes que apresentam dificuldades ao utilizarem os recursos computacionais na prática acadêmica, este trabalho tem como objetivo geral estudar o impacto que o letramento digital representa no processo de formação acadêmica dos estudantes indígenas e quilombolas contemplados pelas ações do projeto Letramento Digital para Estudantes Indígenas e Quilombolas da UFG. Para tanto realizamos os seguintes passos: a) analisamos as atividades produzidas pelos estudantes contemplados pelas ações do referido projeto; b) investigamos quais são as principais dificuldades dos alunos, quanto ao uso do computador; e analisamos o desenvolvimento dos alunos durante as aulas;

2. Alfabetização, Letramento e Inclusão Digital

A palavra alfabetização faz parte do nosso cotidiano, sendo popularmente entendida como ato de aprender a ler e a escrever, durante o período de aprendizagem escolar e também ação realizada durante os primeiros anos de ensino. Dessa maneira, de acordo com [Marcuschi 2010] “a alfabetização é sempre uma aprendizagem mediante o ensino, e compreende o domínio ativo e sistemático das habilidades de ler e escrever”. Quanto a esse conceito, tanto [Soares 2010], quanto [Tfouni 2010] concordam com os termos reforçando a ideia, mostrando que a alfabetização é obtida por meio do processo de escolarização, e portanto, da instrução formal. “A alfabetização pertence, assim, ao âmbito do individual”, [Tfouni 2010].

Quanto ao letramento, [Buzato 2003], destaca que pessoas alfabetizadas não são necessariamente “letradas”, pois, mesmo sabendo “ler e escrever”, isto é, codificar e decodificar a escrita, muitas pessoas não aprenderam a formular uma argumentação, a interpretar um gráfico, a encontrar um livro descrito em um catálogo, etc. A isso, é chamado de letramento, que se constrói na prática social, e não apenas na aprendizagem do código linguístico.

Segundo [Mortatti 2004], a palavra letramento começou a ser utilizada no Brasil nos anos 80 por pesquisadores da área da Educação e da Linguística, e vem ganhando, gradativamente reconhecimento e espaço, tanto na sociedade quanto na educação, pois está relacionada com a língua escrita, suas funções e seu uso em uma sociedade que depende do sistema de escrita.

A Alfabetização e o letramento já foram usados como sinônimos pela semelhança entre seus significados, porém [Tfouni 2006] afirma que enquanto a alfabetização se atenta à aquisição da escrita por uma ou mais pessoas, o letramento foca nos aspectos sociais e históricos desta aquisição por uma sociedade. Sendo assim, o letramento abrange mais espaço cultural do que a alfabetização. E [Soares 2010] reforça que letramento é o que as pessoas fazem ao utilizar as habilidades de leitura e de escrita no cotidiano,

bem como a maneira pela qual usam-nas no meio social, sendo, portanto um conjunto de habilidades sociais.

Os conceitos de letramento e de alfabetização, mesmo que apresentem significados e abrangências diferentes, fazem parte do processo da educação de um indivíduo, que busca melhorar suas práticas individuais e sociais para melhor se adaptar às mudanças tecnológicas.

Já [Buzato 2003], adota o termo Letramento Digital, por entender que não se trata apenas de ensinar a pessoa a ler e escrever, ou mesmo a usar um teclado ou mouse, interfaces gráficas e programas de computador; mas de inseri-la em práticas sociais nas quais a escrita, mediada pelo computador, tem um papel de grande significado. Logo, letramento digital seria a habilidade de avaliar, filtrar, criticar as informações obtidas e buscadas de forma eletrônica.

[Araujo 2008] diz que essa nova concepção de letramento reflete-se na expansão das tecnologias da informação e comunicação, e com elas, a troca de informação e a disseminação da comunicação torna tudo mais dinâmico e acessível à sociedade, assim, pode ser considerada a inclusão digital: um dos processos que antecedem o letramento digital, pois mesmo em uma sociedade democrática, muitas oportunidades não são iguais para todos os cidadãos. Porém, essa inclusão digital da população, não é feita simplesmente comprando computadores e ensinando a utilizar alguns softwares. Assim, segundo [Silva et al. 2005]: “uma pessoa alfabetizada em informação seria aquela capaz de identificar a necessidade de informação, organizá-la e aplicá-la na prática, integrando-a a um corpo de conhecimentos existentes e usando-a na solução de problemas”.

3. Trabalhos Relacionados

Como critério de busca dos trabalhos relacionados, foram priorizados trabalhos que abordam a importância do uso da tecnologia da informação durante o processo de ensino-aprendizagem, mais especificamente trabalhos que abordam o Letramento Digital e a Informática na Educação. Todas as pesquisas foram obtidas em plataformas *online*, através das palavras-chave educação, letramento, letramento digital, informática na educação.

Dentro da linha de trabalhos voltados ao **Letramento Digital**, podemos citar [Moreira 2013], que dedica-se ao aprendizado de discentes de Letras e ao letramento, dando significância ao uso das tecnologias da informação e comunicação dentro da sala de aula e no impacto para a formação de novos professores sem o conhecimento prévio. Assim como a própria escritora disse na conclusão “O professor de Língua Portuguesa precisa do conhecimento do letramento para agir de acordo com sua função profissional, e, sobretudo, social, arraigada nas necessidades sociais.”

Já [Carvalho 2013], orientou sua pesquisa baseada na observação não participante e entrevista informal. Sua pesquisa foi realizada com profissionais das redes públicas (federal e estadual) e privada, sendo eles professores, alunos de licenciatura, bibliotecários e profissionais de TI. Seu objetivo foi verificar as práticas de letramento digital dessas escolas, tendo maior atenção quanto ao uso dos recursos informacionais dentro da sala de aula, buscando assim conhecer melhor o contexto das escolas de ensino fundamental no, que se refere ao uso das TIC's.

[Vizentin 2016] faz uma análise por meio de pesquisa bibliográfica, buscando os

conceitos de letramento digital nas escolas, abordando também sua importância nas escolas e na sociedade. Em seu trabalho, a autora busca a contextualização dos conceitos de alfabetização, letramento e letramento digital, fazendo a sua diferenciação e explanando os desafios trazidos pela era digital para escola e para os educadores.

Seguindo na linha da **Informática na Educação** podemos citar [Silva 2012], que realizou sua pesquisa através de revisão bibliográfica e artigos publicados na internet, buscando fazer uma análise da importância do computador, no que diz respeito à facilitação do processo de ensino-aprendizagem, através da inserção da informática na prática docente. Seu objetivo era compreender de que forma a informática adentrou a educação e quais são os benefícios para os discentes do ensino fundamental.

Sobre esse tema, [Frigeri 2009] seguiu na pesquisa sobre o uso das TICs de forma quanti-qualitativa e bibliográfica, tendo como objetivo analisar como o computador e a internet podem auxiliar os alunos de ensino infantil e fundamental a aprenderem melhor o que está sendo ensinado nas aulas. Nessa pesquisa, a autora buscou identificar as condições necessárias para a inserção da computação na grade e se os docentes possuíam formação quanto a essa inserção da informática na educação.

Já [Correia and Santos 2013] dedicam-se a um trabalho de caráter exploratório-descritivo realizado através de pesquisa bibliográfica, buscando como as TIC's podem mudar e melhorar o ensino através do ensino à distância (EAD). Nesse sentido, os referidos autores exploram os pontos principais para melhorar a interação entre aluno-professor através de uma melhor gestão das TICs no processo de construção das aulas.

[Soares-Leite and do Nascimento-Ribeiro 2012] apresentam uma visão ampla e completa acerca da inclusão das tecnologias da informação e comunicação (TICs) dentro da educação, trazendo como diferencial a apresentação dos problemas que as TICs trazem, como a falta de recursos necessários para esse integração na educação e os desafios, que seria a formação docente necessária para manejar e gerenciar essas tecnologias para fascinar os alunos, dando-lhes um ensino atrativo e completo.

Nos trabalhos apresentados, as semelhanças encontradas com o presente trabalho são resumidos na importância do Letramento Digital dentro do processo de ensino-aprendizagem, a informática na educação como um componente necessário para o desenvolvimento educacional dos alunos e na importância da difusão do conhecimento de informática nas escolas. As principais diferenças consistem na forma pelas quais os trabalhos foram desenvolvidos, sendo alguns completamente bibliográficos, e no público-alvo ao qual a pesquisa foi direcionada.

4. Metodologia

Este trabalho foi desenvolvido por meio de 3 etapas de pesquisa. A primeira parte foi realizada de acordo com o método exploratório. Nessa etapa foi pesquisado o referencial teórico que fundamenta o projeto Letramento Digital para estudantes Indígenas e Quilombolas da UFG. Sobre o tema Educação e Letramento foram usadas as seguintes obras: [Soares 2010], [Tfouni 2010] e [Mortatti 2004]. Já no que tange à discussão acerca do Letramento Digital e da Informática na Educação, nos baseamos em [Coscarelli 2017] e [Tajra 2019].

A segunda parte da pesquisa foi efetuada por meio da prática docente e da

mediação pedagógica, através da monitoria do projeto Letramento Digital para Estudantes Indígenas e Quilombolas, realizando atividades de acordo com o cronograma e planejamento do projeto, sendo elas: (1) planejamento das aulas e atividades; (2) apresentação das aulas, que são feitas através de slides e atividades no *classroom* e também vídeos para complementar o conteúdo abordado; (3) relatório do que ocorreu em sala, sendo descrito a produção e o acompanhamento em atividades realizadas pelos alunos. A construção dos relatórios semanais das aulas foi feita com base nas observações das aulas a partir da reunião e coleta de dados sobre: (1) ocorrido em sala; (2) quais atividades foram desenvolvidas; (3) se essas atividades foram concluídas e (4) quais assuntos foram abordados.

Além disso, a equipe de monitores recebia, mensalmente, aulas de formação teórico-metodológica, ofertadas pela coordenadora do projeto e pela Antropóloga e professora de Didática e Políticas Educacionais da Universidade Federal de Roraima. As aulas eram baseadas na discussão do referencial teórico acerca da educação, da alfabetização, do letramento, do letramento digital, das políticas educacionais, da identidade do povo brasileiro e da ética. Antes de cada aula os membros da equipe eram convidados a ler, previamente o texto que seria discutido.

Na última etapa foi aplicado um questionário para coletar a opinião dos alunos em relação desenvolvimento do projeto, com perguntas como: (1) De que forma as aulas do projeto afetam seu cotidiano escolar? e (2) Quais foram suas impressões durante as aulas? Outrossim, foi feita a análise de todos os artefatos produzidos durante o período letivo.

5. Planejamento e Execução do Projeto

5.1. Público Alvo

O presente trabalho foi realizado com alunos indígenas e quilombolas, contemplados pelo projeto Letramento Digital para Estudantes Indígenas e Quilombolas da UFG e desenvolvido no Instituto de Informática dessa mesma universidade. Para esta pesquisa foram acompanhadas duas turmas, uma de 2019/1 composta por 23 alunos e outra em 2019/2 composta por 15 alunos. Todos os estudantes com faixa etária entre 20 a 25 anos e matriculados em diferentes períodos de cursos de diferentes áreas, como por exemplo, Biblioteconomia, Ciências Ambientais, Engenharia Ambiental, Geografia, Jornalismo, Administração, Física Médica, dentre outros.

5.2. Atividades e Ferramentas

Para auxiliar no ensino/complemento de conhecimentos/habilidades em informática básica e melhor entender as dificuldades que esses alunos têm em relação ao uso do computador, priorizamos os seguintes tópicos contidos na ementa do projeto norteador deste trabalho: (1) noções básicas de digitação; (2) uso e produção de texto; (3) produção de apresentações, usando o *Google Apresentações*; (4) produção de planilhas e gráficos; (5) noções básicas do funcionamento do computador; (6) uso do Sistema Integrado de Gestão de Atividades Acadêmicas (SIGAA).

De forma a atender às necessidades pedagógicas e sociais dos estudantes, foram escolhidas ferramentas que são disponibilizadas gratuitamente ou que possuem vínculo com a universidade. Dessa maneira, mesmo com o término das aulas do projeto, os alunos podem continuar utilizando as ferramentas aprendidas, sem a necessidade de custear licenças de softwares proprietários.

Para as atividades de digitação ou datilografia, foi selecionado o *site* **ense-lang.org** (disponível em: <https://goo.gl/sPz3TH>), que oferece lições com diferentes graus de dificuldades, cada lição aumenta uma ou duas letras a serem digitalizadas e ensina a forma correta de posicionar as mãos no teclado.

Para o ensino de programas como processador de texto, planilha de cálculo, apresentação gráfica e gerenciador *e-mails* foram escolhidos os seguintes softwares disponibilizados pela *Google* e que podem ser acessados através do *e-mail* institucional:

- *Gmail*: serviço de webmail gratuito, em que é realizado o cadastramento de forma *online*, abrindo acesso para ferramentas como *Google Drive*, para armazenamento de documentos em nuvem, *Google Hangout* para videoconferência, para cadastramento em *sites* de compras ou redes sociais, tais como *Facebook*, *Twitter*, *Instagram*;
- *Google Drive*: espaço em nuvem para serem salvos documentos, fotos ou armazenamento de dados de dispositivos como celulares. Habilitado com várias ferramentas para criação, modificação e compartilhamento de documentos, podendo ser organizados em pastas;
- *Google Documentos*: ferramenta para edição de texto, em que todas as alterações realizadas são automaticamente salvas em nuvem, podendo ser acessados pelo *Google Drive*;
- *Google Planilhas*: ferramenta para edição de planilhas, ocasionalmente usadas em pesquisas e balanços de informações, onde podem ser feitos gráficos e tabelas, auxiliando assim na melhor visualização dos dados, em que todas as alterações realizadas são automaticamente salvas em nuvem, podendo ser acessados pelo *Google Drive*;
- *Google Apresentações*: ferramenta para edição de slides, muito usadas para apresentações de seminários, em que todas as alterações realizadas são automaticamente salvas em nuvem, podendo ser acessados pelo *Google Drive*;
- *Classroom*: ferramenta utilizada para comunicação entre aluno e professor, funcionando de forma *online* para compartilhamento de documentos e tarefas, em que podem ser atribuídas notas e tempo de entrega das atividades.

Com o objetivo de ser uma ação complementar, cada aula tem um tema, é acompanhada de uma atividade prática, a qual pode ser feita através de pesquisa ou de produção de textos.

5.3. Gerenciamento das Atividades

Todas atividades realizadas pelos alunos foram depositadas na ferramenta do *Google* intitulada *Classroom* e classificadas como “atividade em sala” ou “atividade avaliativa”. As atividades classificadas como “em sala” foram as práticas realizadas durante as aulas e referiam-se aos conteúdos abordados. As atividades avaliativas foram atividades realizadas fora de sala de aula, para reposição de alguma aula perdida em razão de participação em algum evento da universidade e, por último a atividade avaliativa do final do curso.

Dessa forma, ao criar uma atividade, é possível classificar o tipo, fazer uma breve texto com instruções, incluir data limite de entrega e uma pontuação para cada atividade. O *Classroom* também permite visualizar quantos alunos receberam e quantos entregaram

a atividade, a descrição, quando foi postada e quando será encerrada a atividade, caso tenha sido definido um prazo.

Com os dados obtidos pela plataforma é possível levantar informações sobre a realização das atividades pelos alunos ao longo do curso. Essas informações e outras estatísticas sobre o curso serão apresentadas na seção de resultados.

6. Resultados

Os resultados descritos por esta pesquisa foram alcançados a partir dos dados coletados durante as aulas em relatórios semanais feitos pela pesquisadora. Foram analisados 1) o índice de alunos que permaneceram no curso; 2) a interação dos alunos durante as aulas; 3) todas as atividades submetidas no *Classroom*; 4) o relato dos alunos de 2019-1 sobre as aulas; 5) as respostas do questionário dos alunos de 2019-2.

6.1. Turma 2019/1

A turma de 2019-1 iniciou com 25 alunos, dos quais 12 concluíram o curso, ou seja, 48% dos alunos realizaram todas as atividades propostas. Desses 12 alunos, 9 submeteram um relato de sua experiência em relação ao que foi aprendido.

Com o intuito de verificar se os alunos aprenderam e se apropriaram das ferramentas ensinadas, foi realizada uma comparação dos relatos obtidos no primeiro dia, em que descrevem sobre suas dificuldades quanto ao uso do computador. Para tanto, analisamos o relato solicitado nos últimos dias de aula, em que eles descreveram de que maneira o projeto os ajudou no cotidiano acadêmico. Nessa comparação, foi acrescentada a percepção da pesquisadora, através dos relatórios semanais das aulas. Não serão incluídos todos os relatos, no entanto, serão destacados os que apresentam respostas com maior abrangência e apresentam pontos em comum com a maioria dos relatos, transcritos a seguir:

Relato 1: “ *Bom pra começar tenho bastante dificuldades de manusear um computador, pois não tive uma informática básica.*”

- *Não tenho uma noção de como ligar um computador.*
- *Como fazer uma pesquisa.*
- *Dificuldades na digitação.*
- *Formatar um texto no word.*
- *Esqueço com muita facilidade das regrinhas como minimizar e outras.*
- *Não tenho ideia de como fazer um slide.*
- *Não sei como imprimir texto do e-mail.*
- *Resumindo tenho que aprender do zero pois no meu curso exigem muito uma informática básica.”*

No relato anterior, pode ser percebido que o aluno tinha dificuldades consideradas mais “básicas” quanto ao uso do computador, as quais poderiam ser resolvidas durante aulas, por meio do uso da ferramenta, durante aulas práticas, dando ênfase à importância do Letramento Digital para o desenvolvimento das atividades acadêmicas. Notamos, pois, no referido relato que “são sujeitos que precisam negociar sentidos entre si, permeados por novos modos de se relacionar com o mundo e com o conhecimento”, [Silva 2016].

Com base nas dificuldades relatadas, destacamos o tópico “*tenho que aprender do zero pois no meu curso exigem muito uma informática básica.*”, que mostra como

a exclusão digital é tão presente e tem sido fonte de grande dificuldade nas atividades acadêmicas, que exigem o conhecimento classificado como “mínimo” para o acompanhamento das matérias.

No que tange às outras dificuldades demonstradas acima, destacamos o fragmento “*Formatar um texto no word*”. É descrito no relatório da pesquisadora que “monitora mostrou as opções de título, alteração da letra entre outras opções que o documentos possui e os alunos participaram ativamente, ajudando a monitora na descrição de cada opção indicada ...”, neste fragmento demonstra o interesse dos alunos, que puderam participar e tirar suas dúvidas durante a explicação.

Também destacamos o fragmento “*Dificuldades na digitação*”, que foi suprido através da prática em cada atividade desenvolvida em sala e no uso do *site ense-lang.org*. No relatório da pesquisadora é descrito que “foi abordada a importância da datilografia no dia a dia e como esse recurso pode representar um diferencial no currículo de um aluno. Através do link usado em outros módulos do projeto para treino de datilografia, os alunos tiveram o tempo de 15 minutos para praticar e se acostumarem com a forma de posicionar as mãos no teclado. Foi uma aula dinâmica e prática, durante a qual pudemos perceber um maior aproveitamento dos alunos.”

Já no fragmento abaixo, descrito no relato 2, notamos que, para esse aluno, aprender a usar o computador e suas tecnologias é importante não só para torná-lo apto a desempenhar suas tarefas escolares, mas para fazer atividades fora do contexto escolar. É o que os teóricos pesquisados chamam de Letramento Crítico: apropriar-se do recursos tecnológicos para práticas sociais, trabalho etc, [Silva 2016].

Relato 2: “*Entre as tecnologias encontradas hoje no dia-a-dia, o computador pra mim se revela como o maior desafio, por abranger além do conhecimento técnico, a compreensão de utilizá-lo como uma ferramenta pedagógica.*”

Um dos meus obstáculos seria usar o computador para adquirir conceitos computacionais, como princípios funcionais do computador, noções de programação e implicações sociais do computador na sociedade.”

A esse respeito, [Coscarelli 2017] descreve que podemos e devemos usar o computador como meio de comunicação, como fonte de informação, que ajudará os alunos a responder perguntas, a levantar novos questionamentos, a desenvolver projetos e a confeccionar diversos produtos.

Dessa maneira, para sabermos se as aulas estão ajudando a diminuir essas dificuldades informadas, solicitamos aos alunos que redigissem um breve texto falando sobre as aulas do projeto Letramento Digital para Estudantes Indígenas e Quilombolas da UFG e sobre a relevância desse projeto em seu cotidiano acadêmico. Destacamos algumas frases retiradas dos depoimentos dos alunos as quais demonstram a importância do projeto e a satisfação dos alunos em relação às aulas: “*Os professores explicam bem, tiram todas nossas dúvidas.*”; “*Aprendi muito sobre o computador e a importância da tecnologia*”; “*Eu tinha dúvidas sobre o sistema SIGAA*”; “*Bom para quem não tem afinidade e tem dificuldades em mexer no computador e suas plataformas*”; “*O projeto Letramento Digital está sendo fundamental para o desenvolvimento do meu aprendizado*”; “*Uma das partes mais interessante foi a parte de armazenamento de trabalhos no documento, as ferramentas do sistema SIGAA*”; “*Aprendemos também todas as ferramentas do sistema*”

sigaa, a fazer slides e as operações do word e sua importância”; “Essa aula do projeto letramento digital está sendo muito importante na minha vida acadêmica e também na minha vida pessoal”.

6.2. Turma 2019/2

Já a turma de 2019-2 iniciou com 15 alunos e foi encerrada com 11, ou seja, aproximadamente 74% dos alunos realizaram todas as atividades propostas. Os 11 alunos responderam o questionário *online* à monitora, por meio da plataforma *Classroom*, com questões referentes à opinião dos alunos em relação às aulas, em relação ao aprendizado das ferramentas, à satisfação em relação ao que foi proposto, entre outras.

Baseado nas respostas do questionário podemos verificar a diversidade de cursos em que os alunos da turma de 2019-2 estão matriculados, sendo 27,3% dos alunos do curso de Geografia, 18,2% de Ciências Ambientais e Biblioteconomia e 9,1% dos alunos de cada um dos seguintes cursos: Administração, Física Médica, Engenharia Ambiental e Jornalismo. Desses cursos aproximadamente 82% são bacharelado e 18% Licenciatura.

Destaca-se que 63,6% dos alunos da turma de 2019-2 também participaram das aulas do semestre anterior, o que demonstra o interesse e a motivação dos alunos pelo projeto. Acredita-se que o número de novos alunos foi baixo. De acordo com a nossa análise, isso ocorreu devido à falta de divulgação do projeto Letramento Digital para Estudantes Indígenas e Quilombolas, no segundo período de 2019. Os alunos que souberam que o projeto teria continuação, foram avisados no grupo feito no primeiro semestre no WhatsApp e, ao receberem o aviso, divulgaram para colegas e amigos.

Levantou-se que pelo menos 27% dos alunos, antes de tornarem-se alunos do projeto Letramento Digital para Estudantes Indígenas e Quilombolas, nunca tiveram contato com nenhuma das ferramentas apresentadas. No primeiro dia de aula, assim como foi feito na turma anterior, foi solicitado um texto sobre as dificuldades referentes ao uso do computador e o sistema da universidade. Destacamos algumas frases retiradas dos depoimentos dos alunos: *“Não tenho costume de mexer com computador.”; “Para entrar no sistema SIGAA sempre preciso de ajuda.”; “Eu tenho dificuldades com formatação, digitação, fazer trabalho no excel, fazer planilhas, criar slide e word. ; “...ainda tenho muita dificuldade com esse mundo digital, quando cheguei na faculdade pensei... já era agora não sai é nada por que tudo é online.”; “Eu tenho grande dificuldade com word, com pontuação, como montar slide, etc. Mas aos poucos estou indo.”; Este sistema sigaa me mata.”*

Assim como na turma anterior, percebemos que o baixo nível de letramento digital, no que tange ao uso das ferramentas computacionais e do sistema acadêmico da UFG, ocasiona, a esse grupo de estudantes pesquisados, inúmeras dificuldades para vivenciarem, com plenitude, o seu cotidiano acadêmico. O que os faz necessitar constantemente de ajuda para conseguirem completar as atividades exigidas, durante sua rotina universitária.

Durante o período letivo, percebemos que as aulas que contemplam a interação dos alunos e o dialogismo são mais proveitosas e facilitam também a aprendizagem dos alunos, pois e lhes possibilitam participar como sujeitos ativos, em seu próprio processo de ensino-aprendizagem. Destacamos, pois, algumas observações feitas pela pesquisadora nos relatórios semanais de aula: *“A aula foi mais teórica, mas houve boa interação*

dos alunos, que apresentaram curiosidade e interesse por esse tema.”; “Foi uma aula que misturou a prática com a teoria, colocando os alunos a pesquisarem e entrarem nas ferramentas e curiosidades apresentadas pelos monitores. Houve grande participação dos alunos, que descobriram funcionalidades do Google como google pacman ou google atari, que são homenagens aos jogos dos anos 80 do Pacman e Atari, para assim jogarem e se divertirem.”

Dos programas utilizados na universidade, aproximadamente 27% dos estudantes afirmaram não ter dificuldade em nenhum, 64% em pelo menos um e 9% dificuldade em todos.

Dentre as dificuldades citadas pelos alunos podemos destacar as seguintes afirmações *“as plataformas possuem muitas ferramentas e só conseguimos mexer com ajuda”*; *“Falta de explicação de como usar”*; *“aprendemos algumas coisas mas não compreendemos completamente a plataforma”*; *“não temos acesso aos computadores para termos mais prática ao interagir com os sistemas”*.

De acordo com o relato da pesquisadora, *“No intuito de auxiliar os alunos que não possuem computador em casa, a sala foi aberta com uma hora de antecedência, para que os alunos pudessem reforçar o aprendizado”*.

No relato acima, podemos perceber a preocupação dos integrantes do projeto com prática dos alunos, no que diz respeito ao uso do computador. Assim, os alunos puderam ter acesso à internet, expor suas dúvidas e, com a ajuda dos monitores, saná-las; assistirem à aula de reforço, além de receberem auxílio para usarem os programas que, porventura, ainda tivessem dificuldades. Notou-se um grande empenho dos alunos, que usaram esse tempo extra para realizarem suas tarefas e sanarem suas dúvidas sobre os conteúdos já estudados até aquele momento.

Ao término do semestre letivo, aproximadamente 82% dos alunos atribuíram nota 10 às aulas e afirmaram que o curso tem ajudado em seu cotidiano acadêmico. Alguns relataram que estão conseguindo usar as ferramentas aprendidas para criação de apresentações de seminário, produção de relatórios de aula, elaboração de planilha e gráficos, além de terem adquirido maior habilidade no que se refere à digitação. Um dos alunos destacou que atualmente consegue até ajudar amigos e parentes com o conhecimento adquirido. Além disso, 90,9% dos participantes recomendam o projeto a um amigo, afirmando que *“o curso consegue ensinar bem o básico da computação, auxiliando na vida acadêmica e no cotidiano social”*, e que *“a experiência quanto os programas melhorou bastante depois que participou do projeto”*, o que demonstra a satisfação dos alunos em relação ao curso.

7. Considerações Finais

O desenvolvimento do presente estudo nos possibilitou tanto realizar uma análise das aulas ofertadas pelo projeto Letramento Digital para Indígenas e Quilombolas, quanto mostrar a importância da inclusão digital entre alunos da universidade, bem como a necessidade da difusão do conhecimento da área de informática para auxiliar estudantes que têm dificuldades de utilizar os recursos computacionais nas práticas acadêmicas.

Nosso estudo nos proporcionou também verificar em que medida a inclusão digital dos estudantes envolvidos acontece, por meio de aulas que ministramos e se elas

foram capazes de possibilitar o letramento digital. Notamos que as aulas auxiliaram a diminuir as dificuldades relacionadas ao uso do computador; empoderaram os alunos, quanto ao desempenho das atividades acadêmicas que são realizadas *online*. As ações do Letramento Digital para Indígenas e Quilombolas foram capazes de proporcionar também maior interesse dos alunos no curso que eles realizam, dando-lhes a sensação de empoderamento, quanto ao uso dos recursos tecnológicos. Acreditamos que as referidas ações foram capazes de possibilitar uma diminuição nas desistências de matérias e até mesmo do curso.

Dada a importância da inclusão digital e pelo retorno recebido dos alunos, consideramos, pois, ser necessário desenvolver mais projetos de extensão, de pesquisa e de ensino de forma a permitir que mais pessoas tenham condições de usufruir as potencialidades das ferramentas tecnológicas de comunicação e informação.

Esta pesquisa não teve a pretensão de esgotar o tema pesquisado, pois sabemos que há muito a ser pesquisado acerca desse assunto e esperamos que o nosso trabalho possa incitar o surgimento de outros.

Referências

- Araujo, R. S. (2008). Letramento digital: conceitos e pré-conceitos. *Anais Eletrônicos*.
- Buzato, M. E. K. (2003). Letramento digital abre portas para o conhecimento.
- Carvalho, R. S. (2013). Letramento digital: para o desenvolvimento de habilidades informacionais de alunos do ensino fundamental em escolas do setor privado, municipal e federal localizadas no município do rio de janeiro.
- Correia, R. L. and Santos, J. G. (2013). Importância da tecnologia da informação e comunicação (tic) na educação a distância (ead) do ensino superior (ies). pages 1–16.
- Coscarelli, C. V. (2017). Alfabetização e letramento digital. In *Letramento Digital: aspectos sociais e possibilidades pedagógicas*, pages 25–40, Belo Horizonte : Ceale. Autêntica Editora.
- Frigeri, L. P. (2009). Informática na educação: um estudo sobre a utilização das tecnologias digitais na rede de ensino de engenho velho - rs.
- Marcuschi, L. A. (2010). *Da fala para a escrita: atividades de retextualização*. Cortez, São Paulo.
- Moreira, A. C. M. (2013). Letramento digital e o uso da tecnologia: formação docente para/na mediação do conhecimento sistemático da língua materna.
- Mortatti, M. R. L. (2004). *Educação e letramento*. UNESP, São Paulo.
- Pereira, J. T. (2017). Educação e sociedade da informação. In *Letramento Digital: aspectos sociais e possibilidades pedagógicas*, pages 13–24, Belo Horizonte : Ceale. Autêntica Editora.
- Silva, A. C. (2012). A informática inserida na educação: Metodologia diferenciada para o ensino fundamental.
- Silva, E. M. O. (2016). O letramento crítico e o letramento digital: a web no espaço escolar. *Revista X*, 2:32–50.

- Silva, H., Jambeiro, O., Lima, J., and Brandão, M. A. (2005). Inclusão digital e educação para a competência informacional: uma questão de ética e cidadania. pages 28–36.
- Soares, M. (2010). *Letramento: um tema em três gêneros*. Autêntica Editora, Belo Horizonte.
- Soares-Leite, W. S. and do Nascimento-Ribeiro, C. A. (2012). A inclusão das tics na educação brasileira: problemas e desafios. *magis, Revista Internacional de Investigación en Educación*, 5.
- Tajra, S. F. (2019). *Informática na educação : o uso de tecnologias digitais na aplicação das metodologias ativas*. Érica, São Paulo.
- Tfouni, L. V. (2006). *Adultos não-alfabetizados em uma sociedade letrada*. Cortez, São Paulo.
- Tfouni, L. V. (2010). *Letramento e alfabetização*. Cortez, São Paulo.
- Vizentin, C. (2016). A importância do letramento digital na escola e na sociedade e os seus diferentes conceitos.

Redução de Dimensionalidade para Reconhecimento de Padrões Eletromiográficos de Movimentos dos Dedos da Mão

Ana Cláudia Barbosa Rezende¹, Henrique Pires Corrêa¹, Flávio Henrique Teles Vieira¹

¹ Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação
Universidade Federal de Goiás (UFG)
Av. Universitária, n.º. 1488 – Goiânia – GO – Brasil

cana@ufg.br, pires_correa@ufg.br, flavio_vieira@ufg.br

Abstract. *The recognition of electromyographic signal patterns (EMG) is an important tool in the detection of abnormalities and prosthesis control. In addition, data projection and dimensionality reduction act directly on the classification, which can assist in the recognition of patterns. We propose the implementation and comparative analysis of the methods of linear discriminant analysis (LDA) and principal component analysis (PCA), together with the probabilistic classifier K - nearest neighbor (KNN), for the classification of a database of EMG signals of finger movements. Results point to a better performance of the PCA together with the KNN in reducing the dimensionality and classification of EMG signals.*

Resumo. *O reconhecimento de padrões de sinais eletromiográficos (EMG) é ferramenta importante na detecção de anormalidades e controle de próteses. Ademais, a projeção dos dados e redução de dimensionalidade atuam diretamente na classificação, que pode auxiliar no reconhecimento de padrões. Propõe-se a implementação e análise comparativa dos métodos análise discriminante linear (LDA) e análise de componentes principais (PCA), em conjunto com o classificador probabilístico K - vizinho mais próximo (KNN), para classificação de uma base de dados de sinais EMG de movimentos dos dedos da mão. Resultados apontam melhor desempenho do PCA em conjunto com o KNN na redução de dimensionalidade e classificação dos sinais EMG.*

1. Introdução

Os sinais de eletromiografia de superfície (sEMG) têm sido utilizados em sistemas de controle mioelétrico e protético das mãos. Esses esforços concentram-se, principalmente, no que tange os movimentos dos dedos. Na verdade, para conseguir um dispositivo protético hábil, os movimentos dos dedos devem ser incluídos no sistema de controle (TENORE et al., 2008).

O reconhecimento de padrões é passo importante na caracterização correta dos sinais EMG. Muitos destes conjuntos de sinais possuem alta dimensionalidade, assim, torna-se desejável extrair de forma efetiva as informações compactadas nas múltiplas dimensões, e simultaneamente, favorecer a classificação e melhorar o sistema de reconhecimento de padrões (YAN et al., 2006). Alguns dos métodos de projeção e classificação

de sinais incluem técnicas de aprendizado de máquina, como redes neurais artificiais, sistemas difusos (*fuzzy*) e modelagens probabilísticas (PCA ou *Principal Component Analysis*, LDA ou *Linear Discriminant Analysis* e classificador KNN ou *KNearest Neighbors*) (YOUSEFI; HAMILTON-WRIGHT, 2014)).

Khushaba et al. (2011) desenvolvem um método computacional melhorado de projeção de características de sinais sEMG para controle protético de movimentos combinados dos dedos da mão. O método baseia-se na análise de preservação de vizinhança difusa com decomposição QR (também conhecido como fatoração QR), denominado FNPA (*Fuzzy Neighborhood Preserving Analysis*), em sinais sEMG coletados por apenas dois eletrodos. Resultados práticos indicam a importância do FNPA em comparação a outros métodos de projeção, com uma precisão média de 91%.

Os pesquisadores Zhang et al. (2014) apresentam um estudo comparativo sobre reconhecimento de padrão em sinais sEMG para uma mão robótica antropomórfica, com base nas técnicas de PCA e LDA. São implementados três esquemas diferentes de projeção (PCA, LDA e PCA + LDA) e o classificador de distância mínima (MDC ou *Minimum Distance Classifier*) é empregado na identificação de nove tipos de movimentos da mão. Os resultados indicam que a projeção PCA + LDA não apresenta melhora significativa em termos de desempenho no reconhecimento de padrões em comparação com a projeção realizada somente com o LDA.

Yang et al. (2019) propõem uma técnica que minimiza a sobreposição entre classes, que estão próximas umas das outras no espaço de entrada, no processo de redução de dimensão e projeção de características dos sinais. Com uma abordagem de redução de dimensionalidade supervisionada linear (SLDR ou *Supervised Linear Dimensionality Reduction*), a técnica denotada DR-MSP (*Dimension Reduction via Maximizing Pairwise Separation Probability*), realiza a maximização de separação da probabilidade dos pares para a redução de dimensionalidade em conjuntos de sinais de referência. Resultados práticos demonstram desempenho superior do DR-MSP em comparação a outros métodos SLDR para redução de dimensionalidade.

Devido à natureza de alta variação do sinal EMG, as informações apreendidas desses sinais tendem a se dispersar dentro do conjunto original (CHU; MOON; MUN, 2006). Os métodos de redução de dimensionalidade baseados na projeção das características demonstraram ser capazes de consolidar essas informações de modo efetivo (CHAN; GREEN, 2007). O uso desses também se justifica pela abordagem utilizada para extrair os sinais EMG de diferentes músculos. Geralmente os sinais são coletados por meio de múltiplos canais, levando a um grande conjunto de características que podem afetar a classificação e conseqüentemente dificultar o reconhecimento de padrões.

Esta pesquisa propõe um estudo comparativo de três métodos de redução de dimensionalidade de sinais sEMG de movimentos individuais e combinados dos dedos da mão. Especificamente, foram implementados os métodos PCA e LDA, para o processo de projeção das características dos sinais. Ademais, realizou-se a análise das taxas de erro de classificação e variância dos sinais em função da redução de dimensionalidade obtidas por cada uma das técnicas de projeção, PCA e LDA, em conjunto com o classificador probabilístico KNN.

2. Análise Discriminante Linear (LDA)

O LDA é uma generalização do discriminante linear de Fisher, um método de reconhecimento de padrões e aprendizado de máquina para encontrar uma combinação linear de características que caracterizam ou separam duas ou mais classes de objetos ou eventos.

Dadas amostras de duas classes C_1 e C_2 , para encontrar a direção, definida por um vetor ω , de modo que quando os dados, x , são projetados em ω , os exemplos das duas classes sejam separados o máximo possível. A projeção de x na direção de ω é dada pela Equação 1 (ALPAYDIN, 2010):

$$z = \omega^T x \quad (1)$$

A Equação 2 define a matriz inter-classe (S_b), enquanto as Equações 3 e 4 definem as matrizes intra-classe para cada uma das classes (S_1 e S_2).

$$S_b = (m_1 - m_2)(m_1 - m_2)^T \quad (2)$$

$$S_1 = \sum_{t=1}^N r^t (x^t - m_1)(x^t - m_1)^T \quad (3)$$

$$S_2 = \sum_{t=1}^N (1 - r^t)(x^t - m_2)(x^t - m_2)^T \quad (4)$$

em que x^t representa as amostras das classes, m_1 é a média das amostras da classe C_1 , m_2 é a média das amostras da classe C_2 , N o número total de amostras, respectivamente. r^t é um fator de classificação das amostras, em que $r^t = 1$ caso $x^t \in C_1$ e $r^t = 0$ caso $x^t \in C_2$. A matriz intra-classe total é calculada segundo a Eq. 5:

$$S = S_1 + S_2 \quad (5)$$

Assim, o vetor ω pode ser encontrado conforme apresenta a Eq. 6:

$$\omega = cS^{-1}(m_1 - m_2) \quad (6)$$

em que c é uma constante. Todavia, como o mais importante é a direção e não a magnitude de ω , assume-se $c = 1$.

Para o caso de C classes, considerando $C > i > 2$, as Equações 7 e 9 apresentam como calcular as matrizes inter-classe (S_b), intra-classe (S_i) da i -ésima classe:

$$S_i = \sum_t r_i^t (x^t - m_i)(x^t - m_i)^T \quad (7)$$

$$S = \sum_{i=1}^C S_i \quad (8)$$

$$S_b = \sum_{i=1} N_i (m_i - m)(m_i - m)^T \quad (9)$$

em que $N_i = \sum_t r_i^t$. A matriz de dispersão inter-classes após a projeção é $W^T S_b W$ e a matriz de dispersão intra-classe após a projeção é $W^T S W$. Para maior dispersão inter-classes e menor dispersão intra-classes:

$$J(W) = \frac{|W^T S_b W|}{|W^T S W|} \quad (10)$$

Os maiores autovetores de $S^{-1}S_b$ são a solução. S_b é a soma de K matrizes de ordem 1, a saber, $(m_i - m)(m_i - m)^T$, e apenas $C - 1$ deles são independentes. Portanto, S_b tem uma classificação máxima de $C - 1$. Assim, define-se um novo subespaço, $(C - 1)$ - dimensional, onde o discriminante deve ser construído. Apesar do LDA utilizar a separabilidade de classes como seu critério de optimalidade, qualquer classificação ou método pode ser usado neste novo subespaço para estimar os discriminantes.

3. Análise de Componentes Principais (PCA)

A análise de componentes principais (PCA) é um método não supervisionado em que o critério a ser maximizado é a variância. O componente principal é ω_1 , de modo que as amostras, após a projeção para ω_1 , são espalhadas de forma que a diferença entre os dados se tornam mais aparentes. Para uma solução única e para tornar a direção o fator principal, tem-se $\|\omega_1\| = 1$. Segundo a Equação 1, se $z = \omega^T x$ e $Cov(x) = \Sigma$, então (ALPAYDIN, 2010):

$$Var(z_1) = \omega_1^T \Sigma \omega_1 \quad (11)$$

Busca-se ω_1 de modo que $Var(z_1)$ seja maximizado e restrito a $\omega_1^T \omega_1 = 1$. Escrevendo segundo um problema de Lagrange, tem-se a Equação 12:

$$\max_{\omega_1} \omega_1^T \Sigma \omega_1 - \alpha (\omega_1^T \omega_1 - 1) \quad (12)$$

A Equação 12 é válida se ω_1 for um autovetor de Σ e α o autovalor correspondente. Assim, seleciona-se o maior autovetor com o maior autovalor para a maximização da variância. Portanto, o componente principal é o autovetor da matriz de covariância dos dados de entrada com o maior autovalor, $\lambda_1 = \alpha$.

O segundo componente principal, ω_2 , também deve maximizar a variância, ter comprimento unitário e ser ortogonal a ω_1 . Este último requisito é válido se após a projeção $z_2 = \omega_2^T x$ não seja correlacionado com z_1 . ω_2 deve ser o autovetor de Σ com o segundo maior autovalor, $\lambda_2 = \alpha$. Da mesma forma, pode-se demonstrar que as outras dimensões são dados pelos autovetores com autovalores decrescentes. O primeiro autovetor (aquele com o maior autovalor), ω_1 , ou seja, o componente principal, explica a maior parte da variância; o segundo explica o segundo maior; e assim sucessivamente. A Equação 1 pode ser redefinida como apresenta a Equação 13:

$$z = W^T(x - m) \quad (13)$$

em que as k colunas de W são os k autovetores principais do estimador para Σ . Realiza-se a subtração da média das amostras m de x antes da projeção para centralizar os dados na origem. Após esta transformação linear, obtém-se um espaço k -dimensional cujas dimensões são os autovetores, os autovalores associados a estes autovetores representam as variâncias das amostras. Para normalizar as variâncias, realiza-se a divisão destas pelas raízes quadradas dos autovalores.

4. Metodologia

A base de dados utilizada contém medições de sinais EMG do antebraço de dez indivíduos adultos sem distúrbios neurológicos ou musculares (KHUSHABA et al., 2012).

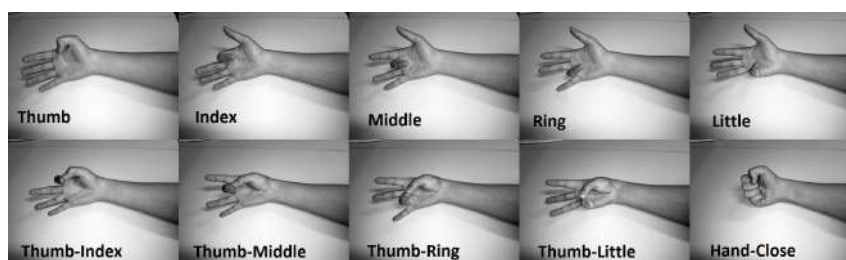


Figura 1. Dez classes de movimentos individuais e combinados dos dedos.
Fonte: (KHUSHABA et al., 2012)

Dez movimentos individuais e combinados dos dedos foram realizados, como apresenta a Figura 1, incluindo a flexão de cada um dos dedos individuais, ou seja, polegar (*Thumb*), indicador (*Index*), médio (*Middle*), anelar (*Ring*), mínimo (*Little*) e o movimento de oposição entre os dedos polegar e indicador (*Thumb-Index*), polegar e médio (*Thumb-Middle*), polegar e anelar (*Thumb-Ring*), polegar e mínimo (*Thumb-Little*) e, finalmente, a mão fechada (*Hand-Close*). Foi solicitado que cada um dos dez indivíduos participantes realizassem seis repetições de cada um dos dez movimentos, estas repetições foram denominadas como observações.

A Figura 2 ilustra as etapas de processamento dos sinais sEMG até a obtenção dos dez movimentos classificados. Inicialmente todas as observações foram submetidas ao mesmo procedimento de segmentação, em uma etapa de janelamento do sinal com sobreposição.

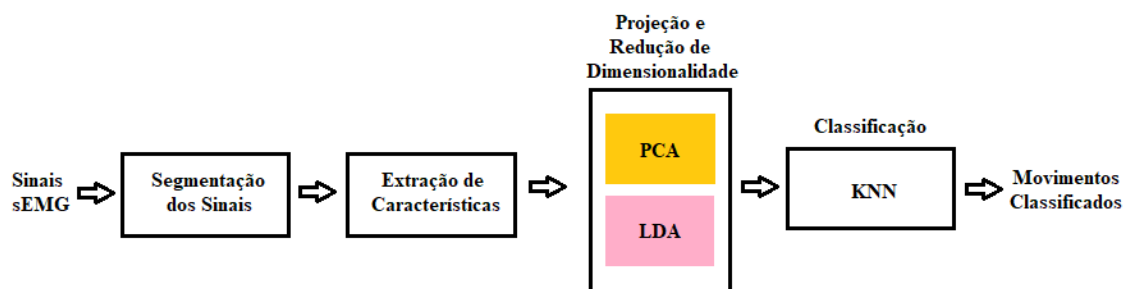


Figura 2. Diagrama das etapas de processamento dos sinais sEMG.

Na próxima etapa, fase de extração de características, foram calculadas no domínio do tempo, valor médio absoluto (*Mean Absolute Value* ou MAV), alteração na inclinação do sinal (*Slope Sign Change* ou SSC), comprimento da forma de onda (*Waveform Length* ou WL) e número de cruzamentos em zero (*Zero Crossing* ou ZC) (HUDGINS; PARKER; SCOTT, 1993), raiz do valor quadrático médio (*Root Mean Square* ou RMS) (ENGLEHART; HUDGINS, 2003), integral de valor absoluto (*Integral Absolute Value* ou IAV) (SARIDIS; GOOTEE, 1982), descritores de Hjorth de atividade, mobilidade e complexidade (*Hjorth Time Domain* ou HTD) (HJORTH, 1970), assimetria (*Skewness* ou SS) (CACIOPPO; DORFMAN, 1987), e mais onze características provenientes do modelo Autoregressivo de ordem 11 (*Autoregressive coefficients* ou AR) (GRAUPE; CLINE, 1975), totalizando vinte e uma características. Posteriormente, todas essas características foram concatenadas em uma única matriz, definida como a matriz de entrada X_{inp} , contendo todas as informações de todos os movimentos realizados por um mesmo indivíduo, ver Equação 14.

$$X_{inp} = [X_1 X_2 \dots X_{21}] \quad (14)$$

$$Y_{inp} = [Y_1 Y_2 \dots Y_{10}] \quad (15)$$

em que X_i , $i = 1, 2, \dots, 21$, são vetores contendo os valores obtidos para cada uma das 21 características para todos os movimentos. Juntamente com X_{inp} foi definido um vetor de rótulos de mesmo comprimento, denominado Y_{inp} , ver Equação 15. Cada um dos dez movimentos realizados durante a coleta foi denominado como uma classe, Y_1 rotula quais dados em X_{inp} pertencem à classe 1, Y_2 rotula os dados pertencentes à classe 2 e assim sucessivamente. Esses vetores foram utilizados como entradas dos algoritmos de projeção e redução de dimensionalidade LDA e PCA. O cálculo dos vetores de projeção ω e dos vetores projetados z foram realizados por meio das Equações referentes a cada um dos métodos e apresentados anteriormente nas Seções 2 e 3.

Os dados de entrada sofreram redução de dimensionalidade original, equivalente a 21 dimensões, para 20 dimensões, em seguida 19 dimensões, e assim sucessivamente até a redução a apenas 1 dimensão. Devido a restrição do LDA, de classificação máxima no subespaço $C - 1$, ver Seção 2, o mesmo realizou redução de dimensionalidade de 21 para valores inferiores a 10 dimensões. A etapa de classificação dos sinais foi realizada pelo algoritmo KNN, para quatro valores distintos de K vizinhos mais próximos, $K = 1$, $K = 3$, $K = 5$ e $K = 7$.

Os índices utilizados para análise e comparação dos métodos de redução de dimensionalidade PCA e LDA foram as taxas médias de erro de classificação a variância entre as taxas de erro de classificação para cada indivíduo em função da dimensionalidade dos dados, utilizando o classificador KNN.

5. Resultados

A Tabela 1 apresenta um resumo das informações e parâmetros utilizados para a redução de dimensionalidade e classificação dos sinais sEMG da base de dados. A Figura 3 apresenta amostras de um dos sinais sEMG, no domínio do tempo, classificados nesta pesquisa.

Tabela 1. Resumo das características e parâmetros utilizados.

Tipo do sinal	EMG
Características do sinal	21
Tamanho da janela-sobreposição	256-128 ms
Número de classes	10
Número de indivíduos	10
Algoritmos de Redução de Dimensionalidade	LDA e PCA
Algoritmo de Classificação	KNN (K = 1, 3, 5 e 7)

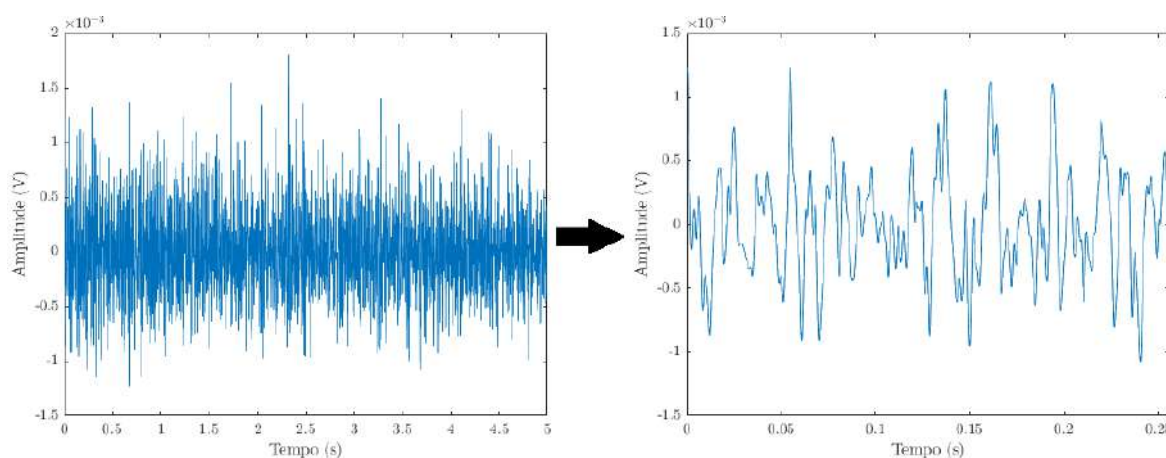


Figura 3. Amostras do sinal EMG no domínio do tempo de um dos dez indivíduos da base de dados. A imagem esquerda apresenta o sinal sEMG inteiro coletado durante a realização de um dos dez movimentos dos dedos, citados previamente na Seção 4, em um intervalo de 5 s. Na imagem direita é apresentada uma das segmentações do sinal, que foi janelado em intervalos de 256 ms com sobreposição de 128 ms, para posteriormente passar pelo processo de extração de características.

Reduzir os dados a apenas uma dimensão apresentou taxas médias elevadas de erro de classificação para todos os métodos avaliados, conforme apresentado nas Figuras 4 e 5. Isso demonstra a complexidade e importância das informações presentes nas múltiplas dimensões dos sinais, e também indica a dificuldade enfrentada no processo de redução de dimensionalidade em preservar as informações mais relevantes e significativas e projetá-las em um único subespaço ótimo.

O LDA apresentou pequena vantagem em relação ao PCA no processo de preservar informações relevantes dos sinais e reduzir dimensionalidade. Observou-se que para o intervalo entre duas a sete dimensões, o LDA apresentou menor taxa média de erro de classificação comparado ao PCA, utilizando os mesmos classificadores. Todavia, da perspectiva de melhor desempenho de classificação, o PCA em conjunto com o KNN alcançou menores taxas médias de erro de classificação para maiores dimensões, como pode-se visualizar entre o intervalo de dez a vinte dimensões.

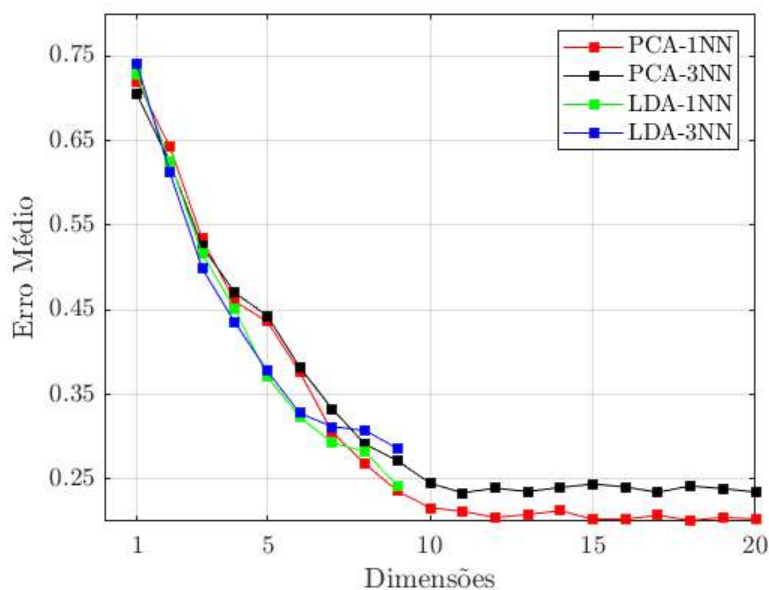


Figura 4. Taxa média de erro de classificação em função da dimensionalidade para PCA, LDA e KNN (K = 1 e 3).

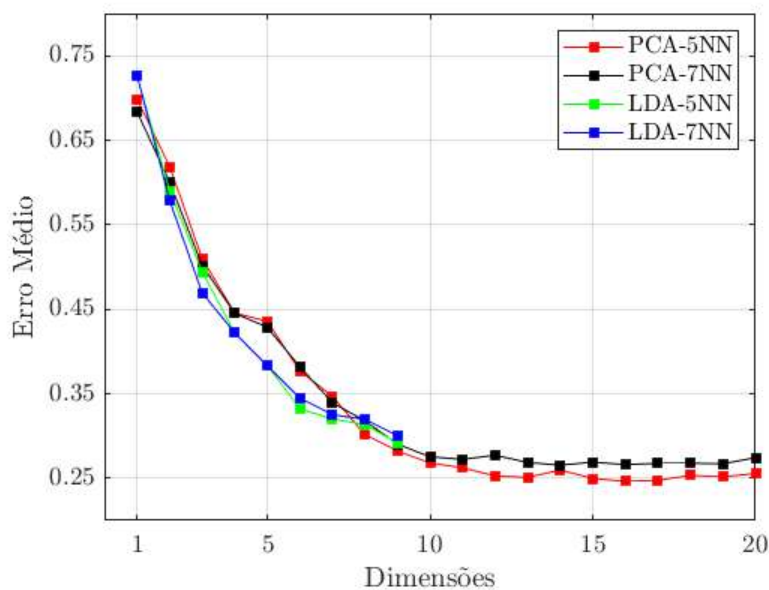


Figura 5. Taxa média de erro de classificação em função da dimensionalidade para PCA, LDA e KNN (K = 5 e 7).

A Figura 6 apresenta a variância entre as taxas de erro de classificação para os dez indivíduos em função da dimensionalidade para os métodos PCA e LDA com o classificador KNN (K = 1, 3, 5 e 7). O LDA foi o que apresentou maior variância, especificamente para o caso de nove dimensões. Entretanto para menor número de dimensões, intervalo de um a quatro, apresentou menor variância entre as taxas de erro de classificação obtidas para cada um dos dez indivíduos. O PCA apresentou queda na variância com o aumento de dimensionalidade.

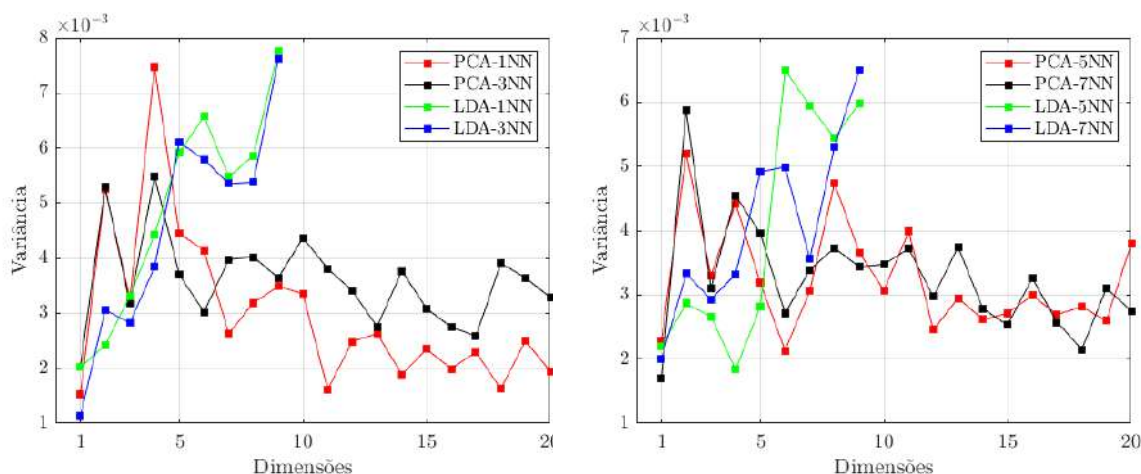


Figura 6. Variância entre as taxas de erro de classificação em função da dimensionalidade para PCA, LDA e KNN (K = 1, 3, 5 e 7).

6. Conclusões

Dentre os métodos de redução de dimensionalidade avaliados, o PCA-KNN apresentou melhor desempenho comparado ao LDA-KNN, da perspectiva de ter alcançado as menores taxas médias de erro de classificação para maiores dimensões. O LDA também apresentou bom desempenho com relação à redução de dimensionalidade, inclusive superando o PCA em taxas médias de erro de classificação para menores dimensões.

A partir de aproximadamente 12 dimensões, as taxas médias de erro de classificação praticamente não se alteram, ou seja, o PCA pode reduzir de 21 para 12 dimensões, sem perdas relevantes de informações que possam prejudicar a classificação e ganhando em desempenho computacional. As menores taxas de erro de classificação foram obtidas para $K = 1$ no algoritmo de classificação KNN.

Como trabalhos futuros, pretende-se testar outros métodos supervisionados e não-supervisionados de redução de dimensionalidade, como o FNPA e o DR-MSP. Ademais, explorar e comparar o desempenho de outras técnicas de classificação de sinais, como máquina de vetores de suporte (SVM ou *Support Vector Machines*) e a máquina de aprendizado extremo (ELM ou *Extreme Learning Machine*). Busca-se também ampliar e aprimorar a pesquisa dos sinais EMG de movimentos dos dedos da mão, incorporando e testando um número maior de bases de dados de sinais EMG da mesma natureza. De modo que ao final seja proposto um novo modelo computacional mais robusto e eficiente de projeção, redução de dimensionalidade e classificação de padrões de sinais EMG de dedos das mãos, para aplicações em próteses e sistemas de controle mioelétricos.

Referências

- ALPAYDIN, E. *Introduction to Machine Learning*. [S.l.]: MIT Press, 2010.
- CACIOPPO, J. T.; DORFMAN, D. D. Waveform moment analysis in psychophysiological research. *Psychological Bulletin*, American Psych. Assoc., v. 102, n. 3, p. 421, 1987.

- CHAN, A. D.; GREEN, G. C. Myoelectric control development toolbox. *CMBES Proceedings*, v. 30, 2007.
- CHU, J.-U.; MOON, I.; MUN, M.-S. A supervised feature projection for real-time multifunction myoelectric hand control. In: IEEE. *2006 International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. [S.l.], 2006. p. 2417–2420.
- ENGLEHART, K.; HUDGINS, B. A robust, real-time control scheme for multifunction myoelectric control. *IEEE transactions on biomedical engineering*, IEEE, v. 50, n. 7, p. 848–854, 2003.
- GRAUPE, D.; CLINE, W. K. Functional separation of emg signals via arma identification methods for prosthesis control purposes. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, IEEE, n. 2, p. 252–259, 1975.
- HJORTH, B. Eeg analysis based on time domain properties. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, Elsevier, v. 29, n. 3, p. 306–310, 1970.
- HUDGINS, B.; PARKER, P.; SCOTT, R. N. A new strategy for multifunction myoelectric control. *IEEE transactions on biomedical engineering*, IEEE, v. 40, n. 1, p. 82–94, 1993.
- KHUSHABA, R. N. et al. Electromyogram (emg) based fingers movement recognition using neighborhood preserving analysis with qr-decomposition. In: IEEE. *2011 Seventh International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing*. [S.l.], 2011. p. 1–105.
- KHUSHABA, R. N. et al. Toward improved control of prosthetic fingers using surface electromyogram (emg) signals. *Expert Systems with Applications*, Elsevier, v. 39, n. 12, p. 10731–10738, 2012.
- SARIDIS, G. N.; GOOTEE, T. P. Emg pattern analysis and classification for a prosthetic arm. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, IEEE, n. 6, p. 403–412, 1982.
- TENORE, F. V. et al. Decoding of individuated finger movements using surface electromyography. *IEEE transactions on biomedical engineering*, IEEE, v. 56, n. 5, p. 1427–1434, 2008.
- YAN, S. et al. Graph embedding and extensions: A general framework for dimensionality reduction. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, IEEE, v. 29, n. 1, p. 40–51, 2006.
- YANG, L. et al. Nonparametric dimension reduction via maximizing pairwise separation probability. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, IEEE, v. 30, n. 10, p. 3205–3210, 2019.
- YOUSEFI, J.; HAMILTON-WRIGHT, A. Characterizing emg data using machine-learning tools. *Computers in biology and medicine*, Elsevier, v. 51, p. 1–13, 2014.
- ZHANG, D. et al. A comparative study on pca and lda based emg pattern recognition for anthropomorphic robotic hand. In: IEEE. *2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. [S.l.], 2014. p. 4850–4855.

A Influência da Tensão Elétrica na Qualidade da Solda a Arco Submerso em Chapas Finas

Gustavo de Castro Lopes¹, Matheus Abrão Abdala¹, Júlio Cezar Pedrosa da Silva¹

¹Instituto Federal de Goiás (IFG) - Câmpus Goiânia
Goiânia – GO – Brasil

gustavodecastrolopes96@gmail.com, julio.silva@ifg.edu.br

Abstract. *This work aims to analyze the quality of the weld between thin plates, by the submerged arc welding process, using different electrical parameters, in order to observe the influence of these parameters during the process, which is used in large scale in the manufacture and maintenance of equipments and structures. For this purpose, the welds were made on thin 6 mm plates using five different electrical current ranges pre-established; in addition, the welded parts were examined in a non-destructive test by the magnetic particle method so that it was possible to check for possible defects in the weld region. A strong relationship was observed between the electric current working range, the surface quality of the weld and the ease of handling the equipment; lower currents (until 300 A) enabled better handling, also leading to better quality surface of the piece; the more intense currents (400 A or more) were difficult to handle, high penetration and therefore showed clearer weld defects.*

Resumo. *Este trabalho consiste na análise da qualidade da solda entre chapas finas, realizada pelo processo de soldagem a arco submerso, com a utilização de diferentes parâmetros elétricos, com o objetivo de observar a influência desses parâmetros durante o processo, que é utilizado em larga escala na fabricação e manutenção de peças, equipamentos e estruturas. Para isso, foram feitas soldas em chapas finas de 6 mm utilizando-se cinco diferentes faixas de corrente elétrica pré-estabelecidas; além disso, as peças soldadas foram examinadas em ensaio não-destrutivo pelo método de partícula magnética para que fosse possível verificar os possíveis defeitos na região da solda. Foi observada uma forte relação entre a faixa de corrente elétrica de trabalho, a qualidade superficial da solda e a facilidade de manuseio do equipamento; correntes mais baixas (até 300 A) possibilitaram um melhor manuseio, acarretando também uma melhor qualidade superficial da peça; já as correntes mais intensas (400 A ou mais) apresentaram difícil manuseio, alta penetração e, portanto, apresentaram defeitos de solda mais nítidos.*

1. Introdução

O presente projeto tem como finalidade o desenvolvimento de pesquisa voltada para a área de soldagem a arco submerso, tendo em vista a vasta aplicação do processo e a pouca produção científica do mesmo. Existem alguns processos de soldagem como eletrodo revestido, MIG (*Metal Inert Gas*), TIG (*Tungsten Inert Gas*), mas pouco se abordam, tanto nas literaturas quanto em artigos, sobre o processo de arco submerso, apesar de

o mesmo apresentar maior taxa de deposição de metal que as demais e seus cordões de solda apresentam melhor qualidade superficial. Dos poucos trabalhos relacionados a esse processo, destacam-se [Jorge et al. 2015] que realizou um estudo das propriedades mecânicas e microestruturais de juntas soldadas de aço carbono obtidas pelo processo a arco submerso, visando o aumento da produtividade na fabricação de tubulações para equipamentos de ancoragem. Pode-se destacar também o trabalho de [Pardal et al. 2011], que apresentou os resultados da caracterização e avaliação da resistência à corrosão de uma junta soldada correspondente a uma tubulação de aço inoxidável duplex (AID) UNS S31803 de 35 mm de espessura de parede soldada pelos processos de soldagem TIG (GTAW) na raiz e arco submerso (SAW) no enchimento e acabamento.

O processo de soldagem a arco submerso é vastamente utilizado em peças de elevada espessura, como por exemplo na construção naval, possuindo um cordão de solda com excelente qualidade superficial [Borba et al. 2015]. Esse fator torna o arco submerso um processo bastante versátil e interessante. Assim, torna-se bastante útil o conhecimento dos parâmetros que afetam a qualidade do cordão de solda, analisando diferentes tensões e correntes de trabalho, ocorrendo uma possível formação de defeitos. Desta forma, foram realizados cordões de solda, utilizando o processo a arco submerso, variando esses parâmetros e posteriormente foi avaliada a qualidade da solda através de ensaio não-destrutivo.

1.1. Objetivos

Analisar a qualidade da solda a arco submerso em diferentes faixas de corrente elétrica, aplicada em chapas finas, utilizando-se do ensaio não-destrutivo por partícula magnética. Especificamente, pretende-se:

- Realizar um estudo bibliográfico;
- Efetuar o corte e preparação das chapas para fazer a soldagem;
- Executar a soldagem variando as faixas de corrente elétrica;
- Inspeccionar a qualidade das soldas utilizando o ensaio não-destrutivo por partículas magnéticas.

2. Fundamentação Teórica

No processo de soldagem por arco submerso, o calor necessário para a fusão do material é gerado por um arco elétrico que é formado entre a peça de trabalho e o final do consumível, no qual ambos estão cobertos por uma camada de fluxo granular. Portanto, o arco fica coberto e escondido, não produzindo radiação visível [Fortes 2004].

Durante a soldagem, o calor produzido pelo arco elétrico funde uma parte do fluxo juntamente com a ponta do eletrodo. A zona de soldagem fica sempre envolta e protegida pelo fluxo escorificante, sobrepondo-se ainda por uma camada de fluxo não fundido. O eletrodo permanece um pouco acima do metal-base e o arco elétrico se desenvolve nesta posição. Com o deslocamento do eletrodo ao longo da junta, o fluxo fundido separa-se do metal de solda líquida na forma de escória.

O metal de solda possui um ponto de fusão mais elevado que a escória e então solidifica-se enquanto esta ainda permanece fundida, protegendo o metal de solda recém solidificado, que é muito reativo com oxigênio e nitrogênio da atmosfera. Com o resfriamento posterior remove-se o fluxo não fundido, e a escória rapidamente se destaca do

metal de solda [Wainer et al. 1992]. O esquema básico do funcionamento está ilustrado na Figura 1.

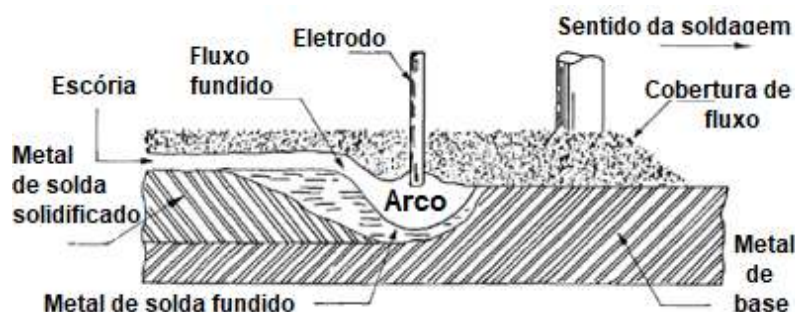


Figura 1. Ilustração do funcionamento do processo de soldagem com arco submerso. Fonte: Adaptado de [Wainer et al. 1992]

Os eletrodos utilizados no arco submersos são normalmente revestidos de cobre, visando evitar oxidações superficiais durante seu armazenamento. Eles são fabricados em faixas de composição química especificadas e trefiladas até os diâmetros desejados. É um processo que fornece elevado rendimento, pois não há perdas de metal por projeção. Soldas feitas por arco submerso apresentam boa ductilidade e tenacidade ao impacto, além de boa uniformidade e acabamento na aparência dos cordões de solda. As propriedades mecânicas na solda são compatíveis as do metal de base utilizado, além disso o processo possui elevada taxa de deposição.

A soldagem a arco submerso possui como vantagens a elevada velocidade de soldagem; alta taxa de deposição; boa integridade do metal de solda; processo de fácil manuseio sem emissão de faíscas, respingos e fumos; melhor ambiente de trabalho e maior segurança para o soldador; produção de uma boa escória, que protege de impurezas e de fácil retirada. Entretanto possui limitações como a posição de soldagem, possível somente para posição plana e horizontal, e limitação em relação ao tipo de junta, sendo possível trabalhar somente com juntas em linha. A Figura 2 apresenta os componentes básicos do equipamento de soldagem com arco submerso.

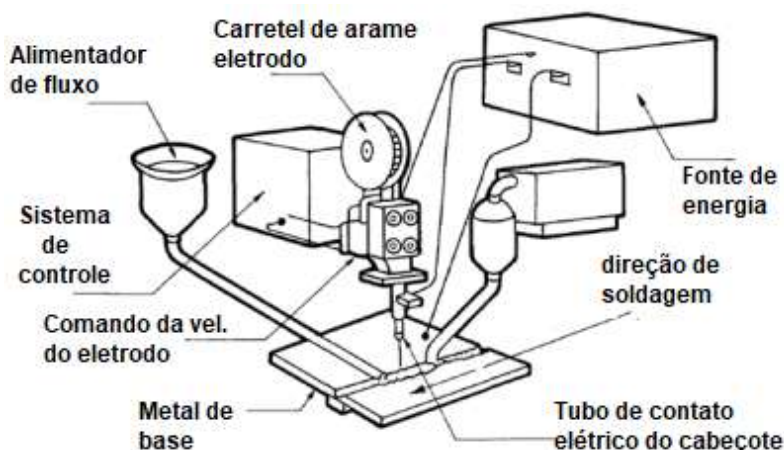


Figura 2. Equipamentos de Soldagem a Arco Submerso. Fonte: Adaptado de [Wainer et al. 1992]

Para realizar a inspeção da qualidade da solda obtida, realizou-se o ensaio não-destrutivo por partícula magnética. Esse ensaio consiste em submeter a peça a um campo magnético. As descontinuidades existentes na peça, isto é, os defeitos, irão causar um campo de fuga do fluxo magnético existente na peça. As partículas magnéticas serão atraídas, devido ao surgimento de polos magnéticos e ficarão aglomeradas na região que houver uma descontinuidade. A aglomeração indicará o contorno do campo de fuga, fornecendo a visualização do formato e da extensão do defeito presente [Andreucci 2009].

3. Metodologia

Para a realização desse trabalho, foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

- Chapa de aço com espessura de 6 mm;
- Máquina de soldagem a arco submerso;
- Equipamento para o ensaio de partícula magnética;
- Equipamento para o ensaio de líquido penetrante.

Primeiramente realizou-se uma sequência de testes na máquina de soldagem a arco submerso (Figura 3) para definição exata dos parâmetros (corrente elétrica e tensão). Em seguida, foram selecionadas algumas chapas de espessura de 6 mm e depois utilizou-se uma serra alternativa para cortá-las pela metade, obtendo chapas de comprimento menores, conforme Figura 4. Posteriormente, partiu-se para a soldagem a arco submerso.



Figura 3. Máquina de soldagem a arco submerso



Figura 4. Chapas de 6 mm para realizar a soldagem

O processo de soldagem foi realizado utilizando um único carretel de arame como eletrodo, entretanto variou-se a corrente de trabalho na faixa de 200 A a 600 A. O avanço da mesa foi feito de forma manual através da manivela, contudo a velocidade de avanço foi mantida constante para todos os cordões de solda. Em seguida, os cordões de solda foram analisados utilizando-se o ensaio não-destrutivo de partícula magnética.

Para realizar o ensaio de partícula magnética, selecionaram-se o equipamento e as peças com os cordões de solda. Em seguida, para cada chapa, aplicou-se o fluido com as partículas magnéticas no cordão de solda e então utilizou-se o um aparelho para magnetizar a chapa. Por fim, utilizou-se uma luz negra para visualizar as descontinuidades presentes em cada peça e então registrou-se por foto o resultado realizado em cada peça.

4. Resultados

A partir da sequência de testes realizada na máquina de soldagem a arco submerso, foi possível obter um melhor controle nos parâmetros elétricos do equipamento, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros Elétricos do Equipamento para Soldagem a Arco Submerso

Potenciômetro [%]	Corrente [A]	Tensão [V]
26	200	40
40	300	38
52	400	34
70	500	32
>80	600	32

De acordo com a metodologia aplicada, foi possível realizar o processo de soldagem na faixa de corrente desejada, conforme ilustram as Figuras 5 a 9. Na Figura 5, pode se observar que houve uma soldagem contínua; no entanto, nem toda a peça apresentou penetração completa, se manifestando apenas no final da peça. Esse perfil de solda pode apresentar alguns problemas quando a peça for submetida a ensaios de tração ou outro esforço mecânico. Em síntese, pode ser inferido que, mesmo para essa pequena espessura, é inviável a utilização da soldagem a arco submerso nessas condições.

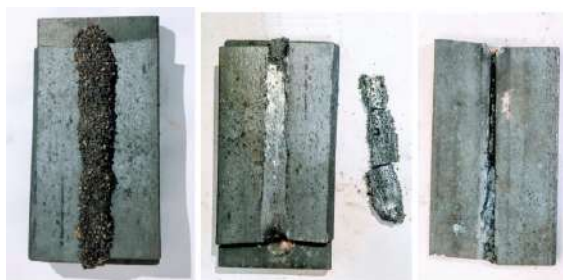


Figura 5. Soldagem na chapa a 200 A (com escória; sem escória; fundo da peça)

A Figura 6 mostra a soldagem realizada com uma corrente de 300 A. Não houve uma penetração total nas amostras realizadas a essas condições, no entanto, o cordão apresentou um aspecto visual extremamente interessante: é possível verificar que não existem bolhas superficiais na peça; ter uma escória cheia de bolhas, mas exibindo um cordão perfeitamente executado, sem nenhum defeito nítido, proporciona um aspecto visual muito positivo e uniforme. Esse cordão apresenta uma melhora com relação ao anterior, em termos de continuidade e de homogeneidade, seja visual, superficial ou mesmo de penetração nas amostras.



Figura 6. Soldagem na chapa a 300 A (com escória; sem escória; fundo da peça)

A Figura 7 apresenta a soldagem realizada com corrente de 400 A. Nesta etapa, observou-se uma descontinuidade mais nítida do cordão. Apesar de ter-se obtido uma penetração quase completa, o aspecto do cordão é visivelmente descontínuo, deslocado, até malfeito; essa descontinuidade se deu, em parte, pois a peça se moveu um pouco sobre a mesa, em função da alta taxa de energia envolvida no processo. Contudo, verificou-se uma peça mais heterogênea que as anteriores, mas com defeitos superficiais e de penetração.



Figura 7. Soldagem na chapa a 400 A (com escória; sem escória; fundo da peça)

A Figura 8 exibe a soldagem realizada com corrente de 500 A. Essa etapa apresentou a pior qualidade de solda entre todas as realizadas. É visível que em todos os testes realizados nessas condições há uma grande descontinuidade no processo, o que vai contra qualquer definição de soldagem, assim como qualquer possível aplicação de uma peça nessas condições, sejam elas ornamentais ou estruturais. Portanto, conclui-se que, nessas condições, a soldagem de uma chapa fina se torna completamente inviável e indesejável; houve uma completa penetração visual, mas esta não compensa a falta de homogeneidade apresentada ao longo do cordão de solda



Figura 8. Soldagem na chapa a 500 A (com escória; sem escória; fundo da peça)

A Figura 9 apresenta uma das amostras para condição de corrente de 600 A. Embora a peça se apresente visualmente melhor que a anterior, a peça também apresenta heterogeneidade visual muito acentuada, com presença de grandes bolhas na parte inferior da peça, uma grande descontinuidade do cordão sendo interrompido nas extremidades de forma natural porém desordeira, uma penetração completa porém que não parece acrescentar muito a peça além de deformações.



Figura 9. Soldagem na chapa a 600 A (sem escória; fundo da peça)

Após a análise visual, percebe-se que os cordões realizados a 300 A apresentam maior qualidade que os demais; no entanto, para uma verificação mais completa, foi realizado um ensaio não-destrutivo em cada uma das peças, que visa exibir os defeitos internos ao cordão de solda. Os resultados obtidos são mostrados em seguida, a partir do ensaio de partícula magnética, conforme as Figuras 10 a 14.

Na Figura 10 vemos que foi formada uma pequena região de mordedura, um defeito que costuma ser ocasionado pela alta energia utilizada em uma peça de espessura muito pequena. Algumas bolhas podem ser vistas, assim como uma trinca na parte inferior, bem discreta. Com o ensaio de partícula magnética pode-se observar que, apesar dos citados, não há grandes defeitos na peça, superficiais ou subsuperficiais.

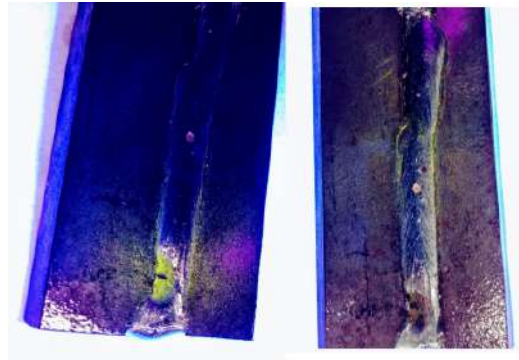


Figura 10. Ensaio por partícula magnética nas chapas a 200 A

Na Figura 11 percebe-se o aumento das mordeduras nas laterais dos cordões de solda, além do aumento considerável da zona termicamente afetada; ambos ocorridos já eram esperados, devido ao aumento da corrente, e, conseqüentemente, da energia de soldagem. A peça da direita apresenta uma região central mais funda e com menos reforço que o restante da peça, além da presença de uma trinca. A solda feita a 400 A, exibida abaixo na Figura 12, apresentou poucos defeitos, sendo bem superior às demais. Conforme esperado, a peça apresentou mais mordeduras que as anteriores e um aumento da zona termicamente afetada. Também foi observada uma série de bolhas que, apesar de pouco expressivas, são uma falha em larga escala, além de observar-se reforço reduzido no final do cordão de solda. A peça apresenta heterogeneidade visual, porém não apresenta trinca visual certa, como nos casos anteriores.

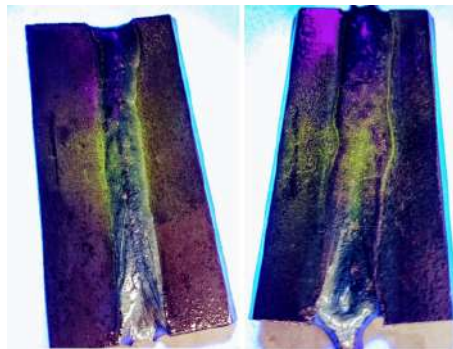


Figura 11. Ensaio por partícula magnética nas chapas a 300 A

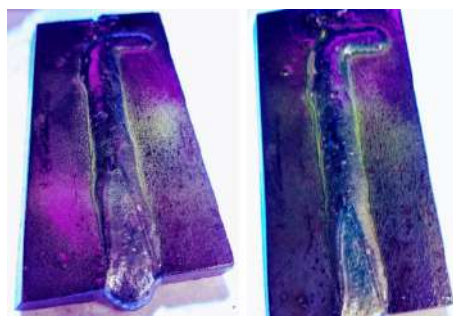


Figura 12. Ensaio por partícula magnética nas chapas a 400 A

As Figuras 13 e 14 apresentam os resultados para as soldagens de 500 A e 600 A, respectivamente; estas etapas apresentaram condições bem parecidas de soldagem, e isso se refletiu nos resultados, também bem semelhantes.

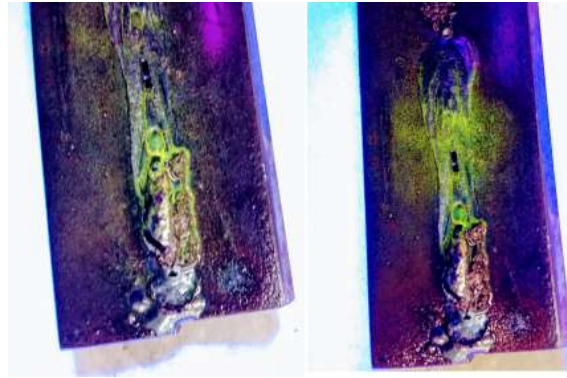


Figura 13. Ensaio por partícula magnética nas chapas a 500 A

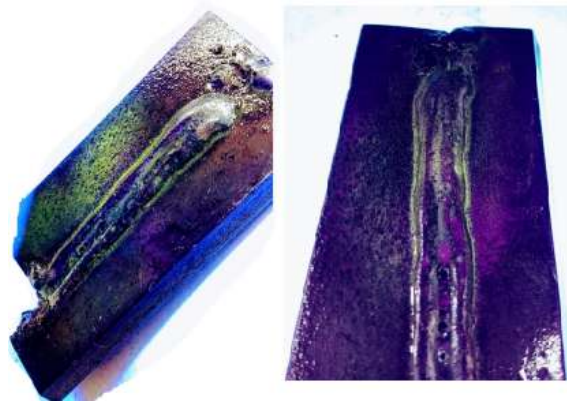


Figura 14. Ensaio por partícula magnética nas chapas a 600 A

Como pode ser visto nas Figuras 13 e 14, as duas condições de soldagem geraram peças com grandes defeitos estruturais, como misturas bastante significativas e zonas termicamente afetadas que englobam quase toda a peça. Ambas apresentaram também poros bastante consideráveis, assim como trincas ao longo da peça.

Essas últimas condições apresentam discontinuidades sérias para a soldagem, o que as torna, indesejáveis e completamente inviáveis, além de proporcionarem uma perfuração na chapa, que só não foi mais contínua e acentuada devido a existência de cobre-junta, que permitiu continuidade sem perfuração da peça. No entanto, deve-se salientar que, a partir de 400 A, mostrou-se uma grande dificuldade de realizar a solda, grudando-se a peça na cobre-junta, que só saiu com aplicação de força manual bem ríspida e agressiva, auxiliada por ferramentas.

5. Conclusão

Observou-se que na soldagem a arco submerso a qualidade superficial do cordão de solda depende da faixa de corrente de trabalho. As soldas realizadas com corrente elétrica até 300 A resultaram em melhor facilidade de operação do processo, além de qualidade

superficial superior em relação a correntes maiores (400 A a 600 A). Ademais, não houve penetração total nos procedimentos realizados com as correntes de 200 A e 300 A.

As peças tratadas nessas faixas de corrente apresentaram trincas e mordeduras, além de alta presença da zona termicamente afetada; também foi observada uma falta de reforço em alguns pontos do cordão, além da presença de bolhas. Entretanto, não foram observados defeitos tão sérios, como era de se esperar inicialmente para uma soldagem a arco submerso em chapas de espessura tão pequena.

O processo de soldagem foi mais difícil em correntes a partir de 400 A, as chapas sofriam um impacto inicial da abertura do arco e deslocavam-se durante a soldagem, prejudicando a continuidade do processo, a qualidade superficial do cordão de solda e comprometendo a posição do cordão de solda. Além disso, iniciou-se, nessa faixa de corrente, a penetração total da solda em partes do cordão, chegando em alguns casos a perfurar parte da chapa, como ocorreu no procedimento realizado a 600 A.

Referências

- Andreucci, R. (2009). Ensaio por partículas magnéticas. *Editores Associação Brasileira De Ensaio Não Destrutivos e Inspeção*. São Paulo.
- Borba, T. M. D., Flores, W. D., Turani, L. d. O., and Cardoso Junior, R. (2015). Avaliação da soldabilidade do aço naval eh36 tmcp soldado por arco submerso com elevado aporte de calor. *Soldagem & Inspeção*, 20(1):92–104.
- Fortes, C. (2004). *ESAB - Processos de Soldagem: Arco Submerso*. Disponível em: <https://www.esab.com.br>.
- Jorge, J. C. F., Souza, L. F. G. d., Marouco, E. d. S., Santos Filho, O. R. d., and Diniz, J. L. C. (2015). Propriedades mecânicas e microestruturais de juntas soldadas pelo processo a arco submerso com elevado aporte térmico. *Soldagem & Inspeção*, 20(3):347–358.
- Pardal, J. M., Souza, G. C. d., Tavares, S. S. M., Fonseca, M. d. P. C., Ferreira, M. L. R., Martins, L. M., and Samra Filho, O. A. (2011). Caracterização e avaliação da resistência à corrosão na soldagem de tubulação de aço inoxidável duplex uns s31803 pelo processo a arco submerso. *Soldagem & Inspeção*, 16(4):310–321.
- Wainer, E., Brandi, S. D., and de Mello, F. D. H. (1992). *Soldagem: processos e metalurgia*. Editora Blucher.

Aplicação de Simulação Monte Carlo na Análise dos Impactos da Geração Distribuída Sobre um Alimentador Radial

Henrique P. Corrêa¹, Flávio Henrique T. Vieira¹, Marcelo S. de Castro¹

¹Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação, UFG, Goiânia 74605-010, Brazil

pires_correa@ufg.br, flavio_vieira@ufg.br, mcastro@ufg.br

Abstract. *This work presents a case study concerning the operation of a distribution feeder with associated distributed generation, with the objective of discussing the importance of probabilistic modeling in the analysis of power systems with distributed generation. The impact over voltage profile is analyzed probabilistically by means of the Monte Carlo method, with multiple scenarios of feeder length and loading being considered. The results reinforce the fact that, even for simple systems, the stochastic character of distributed generation may not be ignored without incurrance in severe modeling errors.*

Resumo. *Este trabalho apresenta um estudo de caso relativo à operação de um alimentador de distribuição com geração distribuída, visando-se promover uma discussão sobre a importância da modelagem probabilística na análise de sistemas de potência com geração distribuída. O impacto sobre o perfil de tensão é analisado probabilisticamente via método Monte Carlo, considerando-se diferentes cenários de comprimento e carregamento do alimentador. Os resultados reforçam que, mesmo em sistemas simples, o caráter estocástico da geração distribuída não pode ser ignorado, sob pena de erros severos na modelagem.*

1. Introdução

A crescente conscientização de consumidores e concessionárias de distribuição com relação à preservação ambiental por meio da utilização de energia renovável, aliada ao aumento de eficiência das tecnologias de geração fotovoltaica e à regulamentação da geração distribuída via resolução ANEEL nº 482 [ANEEL b], vem provocando aumento ininterrupto na quantidade de unidades de geração fotovoltaica distribuída instaladas no país. Esta tendência pôde de fato ser comprovada em 2018, quando foi informado pela ANEEL que o número de conexões havia ultrapassado o montante de vinte mil unidades geradoras [ANEEL a]. Dentre estas, a modalidade fotovoltaica representou aproximadamente dois terços das adesões, o que reforça a relevância desta tecnologia no cenário nacional.

O aumento da potência de geração instalada pode ensejar múltiplos benefícios operacionais para as concessionárias de distribuição, dentre os quais encontram-se: melhoria dos níveis de tensão, alívio no carregamento dos alimentadores de distribuição e postergação de interrupções decorrentes de investimentos em reforços dos alimentadores [Daly and Morrison 2001]. Todavia, é amplamente reconhecido na literatura técnica que o excesso de geração distribuída instalada é capaz de causar problemas operacionais graves. Dentre estes, os mais frequentemente destacados na literatura são: aumento excessivo da tensão eficaz, níveis inadmissíveis de distorção harmônica e falhas na proteção

em decorrência de reversões no fluxo de potência [Gomez et al. 2013]. Logo, a instalação de unidades geradoras não pode ser indiscriminada.

Nesse sentido, é necessário o estabelecimento de técnicas computacionais que permitam estimar os impactos na qualidade de energia em função da potência total instalada, permitindo-se que concessionárias obtenham estimativas quando da análise da geração fotovoltaica distribuída presente em seus sistemas. Os principais fatores que dificultam a estimação dos impactos como função da potência instalada são a intermitência da fonte solar e a aleatoriedade de alocação da potência total ao longo do sistema. O primeiro fator encontra-se associado às rápidas variações de irradiância que ocorrem ao longo do dia, da qual a potência gerada por painéis fotovoltaicos é, aproximadamente, linearmente dependente. O segundo, por outro lado, deve-se ao fato da potência total encontrar-se distribuída entre muitas unidades geradoras de diferentes potências, para as quais existe um número muito elevado de possíveis locais de instalação ao longo da rede.

Pela discussão prévia, o aspecto estocástico da geração fotovoltaica distribuída não recomenda a utilização de métodos determinísticos para a análise de sua influência sobre a qualidade da energia. Logo, é necessária a aplicação de métodos computacionais que contemplem as múltiplas instâncias possíveis de geração e, a partir destas, possam prover estimativas probabilísticas dos parâmetros de interesse, dentre os quais é destacado o perfil de tensão no presente trabalho. No que segue, é apresentado um estudo de caso com o objetivo de exemplificar como o método Monte Carlo pode ser aplicado pelas concessionárias neste contexto. O estudo é parametrizado em função de comprimento e carregamento do alimentador, permitindo-se visualizar a influência destes na rede.

2. Fonte dos Dados Utilizados - Projeto P&D 364

É notável a tendência de aumento nos estímulos a investimentos, tanto operacionais quanto da perspectiva de pesquisa e desenvolvimento, que visam enquadrar as redes de distribuição no conceito de redes inteligentes. Dentre as principais mudanças tidas como caracterizadoras deste enquadramento, encontram-se a implementação de soluções de telemetria para monitoramento individual de energia e potência dos consumidores e a integração plena de tecnologias de geração distribuída conectadas à rede.

Nesse contexto, o projeto *P&D 364 - Projeto 51 Telhados em Nova Veneza - GO: Sistema Solar Fotovoltaico de Microgeração Distribuída Conectada à Rede de Baixa Tensão da Celg-D em 51 UCs Dentro do Conceito de Redes Elétricas Inteligentes*, conduzido pela Universidade Federal de Goiás em parceria com a Enel Distribuição Goiás, foi elaborado com o objetivo de se implementar e estudar a operação de uma estrutura de rede inteligente contemplando 51 unidades consumidoras do município de Nova Veneza. Um dos principais focos do projeto foi implantar usinas fotovoltaicas, sobre telhados, em unidades estaduais de ensino situadas em diferentes cidades do estado de Goiás. Como ilustração dos resultados alcançados, são exibidas, na Figura 1, fotografias de módulos fotovoltaicos instalados em duas das unidades consumidoras envolvidas no projeto.

No projeto, a seleção das unidades consumidoras para instalação dos painéis foi balizada por critérios socioeconômicos. Todavia, é reconhecido que a avaliação dos impactos da geração sobre a qualidade da energia é de grande importância. Nesse sentido, as simulações deste trabalho visaram, no âmbito do *P&D 364*, utilizar dados dos painéis e alimentadores para avaliar os impactos sobre o perfil de tensão em decorrência da geração.

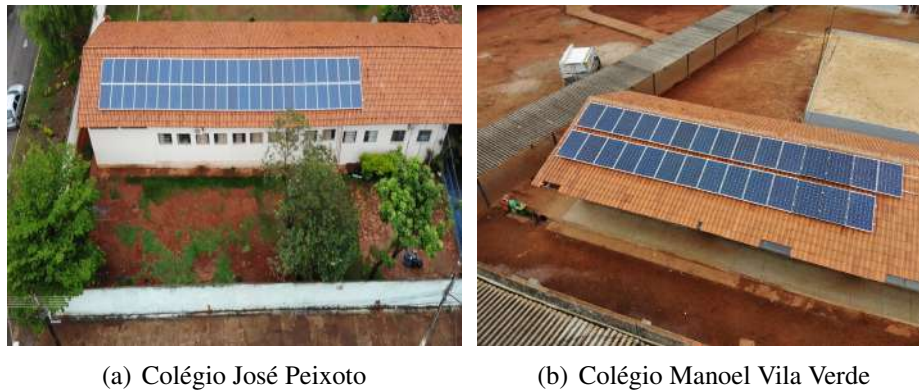


Figura 1. Sistemas fotovoltaicos instalados no âmbito do P&D 364

3. Simulação Monte Carlo

O método Monte Carlo consiste em gerar aleatoriamente um número elevado S de instâncias para simulação, cujos resultados são armazenados e subsequentemente utilizados na obtenção das funções densidade de probabilidade relativas às variáveis de interesse. No presente estudo, as variáveis visadas são as magnitudes de tensão nas barras do alimentador, doravante designadas por V_i , com $i = 1, 2, \dots, N$, em que N é o número total de barras. Anteriormente à execução das S iterações, os fatores estocásticos a serem considerados (irradiância e alocação de geradores distribuídos) devem ser modelados por meio de funções massa de probabilidade [Robert and Casella 2010], as quais serão especificadas na próxima seção.

Seja uma variável aleatória discreta X com função massa de probabilidade $f_X(x)$ e domínio $\mathcal{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_K\}$, com probabilidades $P(x_i) = p_i$, $K \in \mathbb{N}^*$, associada a qualquer um dos parâmetros aleatórios. Para realizar a amostragem de X e obter-se as amostras x_s , com $s = 1, 2, \dots, S$, utiliza-se o método da transformada inversa [Robert and Casella 2010, Abdelaziz 2017], o qual é descrito a seguir. Dada uma variável aleatória contínua distribuída uniformemente $U(0, 1)$, gera-se aleatoriamente um número $0 < u < 1$. Verifica-se, então, para qual l as seguintes desigualdades são satisfeitas:

$$F_X(x_{l-1}) = \sum_{i=1}^{l-1} p_i < u \leq \sum_{i=1}^l p_i = F(x_l) \quad (1)$$

onde $F_X(x)$ é a distribuição cumulativa de X . Dado l para o qual (1) é satisfeita, a amostra aleatória $X = x_l$ é selecionada. Após este procedimento ser repetido para todas os parâmetros aleatórios considerados (neste caso, irradiância e alocação de unidades geradoras) e as correspondentes amostras serem obtidas, estas são utilizadas como entradas para simulação do sistema estudado (em outros termos, solução do fluxo de carga da rede). As variáveis de interesse obtidas via simulação são armazenadas e o procedimento descrito é repetido até que sejam realizadas S iterações.

Sejam as amostras conjuntas dos parâmetros estocásticos denotadas por s_j , $j = 1, 2, \dots, S$. A saída do método Monte Carlo consiste em magnitudes de tensão nas barras do sistema $V_i^n(s_j)$, $i = 1, 2, \dots, N$, para cada amostra s_j . Os S valores de $V_i(s_j)$ podem ser utilizados para estimar a distribuição da magnitude de tensão na barra i , ou seja, $f_{V_i}(v)$,

$v \in \mathbb{R}^+$. Para isso, um valor de incremento ΔV deve ser escolhido para particionar o intervalo $(0, \max_j V_i(s_j)]$ em subintervalos disjuntos:

$$(0, \max_j V_i(s_j)] = \bigcup_{r=1}^L \left((r-1)\Delta V, r\Delta V \right] \quad (2)$$

onde $L = \frac{\max_j V_i(s_j)}{\Delta V}$. Para os subintervalos obtidos, a distribuição discreta estimada $\hat{f}_{V_i}(r)$, $r = 1, 2, \dots, L$, pode ser computada via frequências relativas:

$$\hat{f}_{V_i}(r) = \frac{\#\{V_i(s_j) | (r-1)\Delta V < V_i(s_j) \leq r\Delta V\}}{S} \quad (3)$$

em que o símbolo $\#$ denota o número de elementos de um conjunto. Para cada subintervalo, a média dos extremos é considerada como o valor representativo. Logo, para o subintervalo $((r-1)\Delta V, r\Delta V]$, este valor é igual a $\frac{2r-1}{2}\Delta V$ e, portanto:

$$\hat{f}_{V_i}(r) = \hat{P} \left\{ V_i(s_j) = \frac{2r-1}{2}\Delta V \right\} \quad (4)$$

Finalmente, após a execução dos S fluxos de carga, as distribuições $\hat{f}_{V_i}(r)$ são obtidas para todos $i = 1, 2, \dots, N$.

4. Modelagem do Alimentador e Fator de Penetração

Para a modelagem do alimentador radial e unidades geradoras distribuídas, foram utilizados dados reais obtidos no âmbito do projeto *P&D 364*. Dentre os dados disponíveis no projeto, são utilizadas as seguintes especificações de alimentador e módulo fotovoltaico, referentes à instalação executada na escola estadual José Peixoto, em Nova Veneza, para efeito de modelagem do sistema considerado:

- Alimentador radial e trifásico com impedância $2,1288 + j2,1972\Omega/\text{km}$, suprido por transformador 13,8kV/380V de potência nominal 75kVA.
- Módulo fotovoltaico CS6P-265P, de potência 265W [CanadianSolar].

Com o objetivo de se contemplarem múltiplos cenários de comprimento e carregamento do alimentador, foram arbitrados os seguintes valores a serem simulados em todas as suas combinações comprimento/carregamento possíveis:

- Comprimentos de alimentador (L): 100m e 300m.
- Carregamento do alimentador (P_c): 25kVA e 75kVA.

Em particular, o valor de carregamento 25kVA foi selecionado com o objetivo de contemplar-se a possibilidade de ocorrer excesso de geração, ou seja, a combinação de intensa geração fotovoltaica distribuída com baixa demanda ao longo do alimentador.

Assume-se que a carga é equilibrada entre as fases e uniformemente distribuída em três parcelas ao longo do alimentador. A modelagem adotada para o alimentador assume impedâncias idênticas por fase e um sistema a três fios (sem condutor neutro). Ademais,

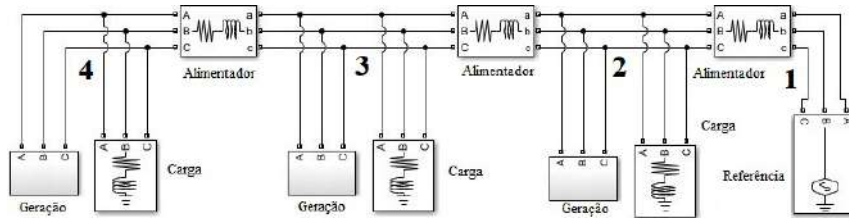


Figura 2. Ilustração da modelagem considerada para o alimentador

os terminais de baixa tensão do transformador são modelados por um barramento infinito. Logo, o sistema pode ser representado por um circuito com $N = 4$ nós: um nó de referência e três nós de carga igualmente espaçados, como ilustrado na Figura 2.

Finalmente, para cada uma das quatro combinações de comprimento e carregamento do alimentador, são consideradas múltiplas instâncias do nível de penetração da geração distribuída. Para quantificar a geração instalada e, por consequência, o grau de penetração, foi utilizada a seguinte definição de fator de penetração:

$$FP = \frac{P_{fotovoltaica} \text{ (kW)}}{S_{transformador} \text{ (kVA)}} \quad (5)$$

em que $P_{fotovoltaica}$ é a potência fotovoltaica total instalada e $S_{transformador}$ é a potência nominal do transformador que supre o alimentador. Para cada combinação comprimento/carregamento, foram simulados os casos $FP \in \{0,25 + 0,25 \cdot i; i = 1, 2, \dots, 5\}$. Os passos listados a seguir sumarizam o procedimento de simulação adotado:

1. Especifique o comprimento e carregamento do alimentador;
2. Especifique o fator de penetração;
3. Dado o fator de penetração, aloque aleatoriamente painéis fotovoltaicos nas barras até que se alcance a correspondente potência instalada;
4. Por meio da distribuição de irradiância, gere aleatoriamente a porcentagem da potência nominal que será injetada pelos painéis;
5. Repita as etapas 3 e 4 até que sejam completadas S iterações do método Monte Carlo, obtendo as densidades de probabilidade das tensões nas barras;
6. Retorne à etapa 1 até que sejam exauridas todas as combinações $L/P_c/FP$.

A título de simplificação, foi assumido que a irradiância solar obedece a uma distribuição uniforme. Nesse sentido, a potência ativa gerada em cada barra pode ser modelada diretamente, de acordo com a seguinte equação:

$$P_{G,i} = [P_{G,i}]_o \cdot \frac{U'(0, 100)}{100} \quad (6)$$

em que $U'(0, 100)$ é a distribuição uniforme discreta e $[P_{G,i}]_o$ é a potência nominal alocada na barra i . Logo, a potência injetada pode variar de 0% a 100% da potência instalada, em incrementos de 1%. Supõe-se que, em (6), tem-se $i = 2, 3, 4$, ou seja, não há alocação de geração distribuída na barra de referência. Por fim, note-se que é assumida geração em fator de potência unitário, ou seja, sem injeção ou consumo de potência reativa.

Para a alocação de cada painel fotovoltaico, assume-se igual probabilidade para as três barras do sistema. Logo, quando da alocação de um painel, uma amostra da seguinte variável é gerada, cujo valor define a barra em que será feita a alocação:

$$X_{aloc} = U'(2, 4) \quad (7)$$

em que há, portanto, probabilidade igual a $1/3$ de que cada painel seja alocado em qualquer uma das barras de carga. Por fim, definida a barra em que o painel será alocado, uma variável aleatória análoga é utilizada para determinar a fase em que este será conectado:

$$X_{fase} = U'(1, 3) \quad (8)$$

onde os valores $X_{fase} = 1, 2, 3$ correspondem às fases A, B e C , respectivamente.

5. Resultados de Simulação

Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos por meio das simulações Monte Carlo. Para cada valor de FP considerado, o número de iterações foi $S = 3000$ e o incremento selecionado para a tensão foi $\Delta V = 0,001$ V. Os resultados são apresentados nas Figuras 3 a 6, na forma das densidades de probabilidade estimadas para as magnitudes de tensão. Por concisão, apenas os resultados da fase A são apresentados.

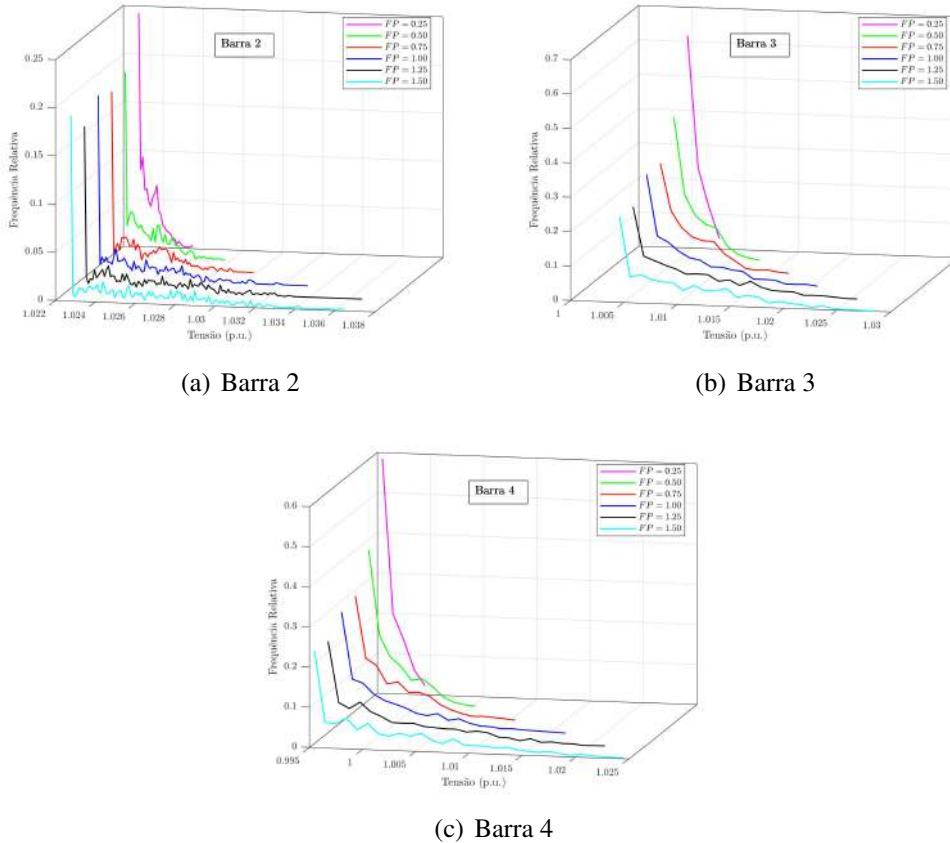


Figura 3. Resultados da simulação Monte Carlo com $L = 100\text{m}$ e $P_c = 75\text{kVA}$

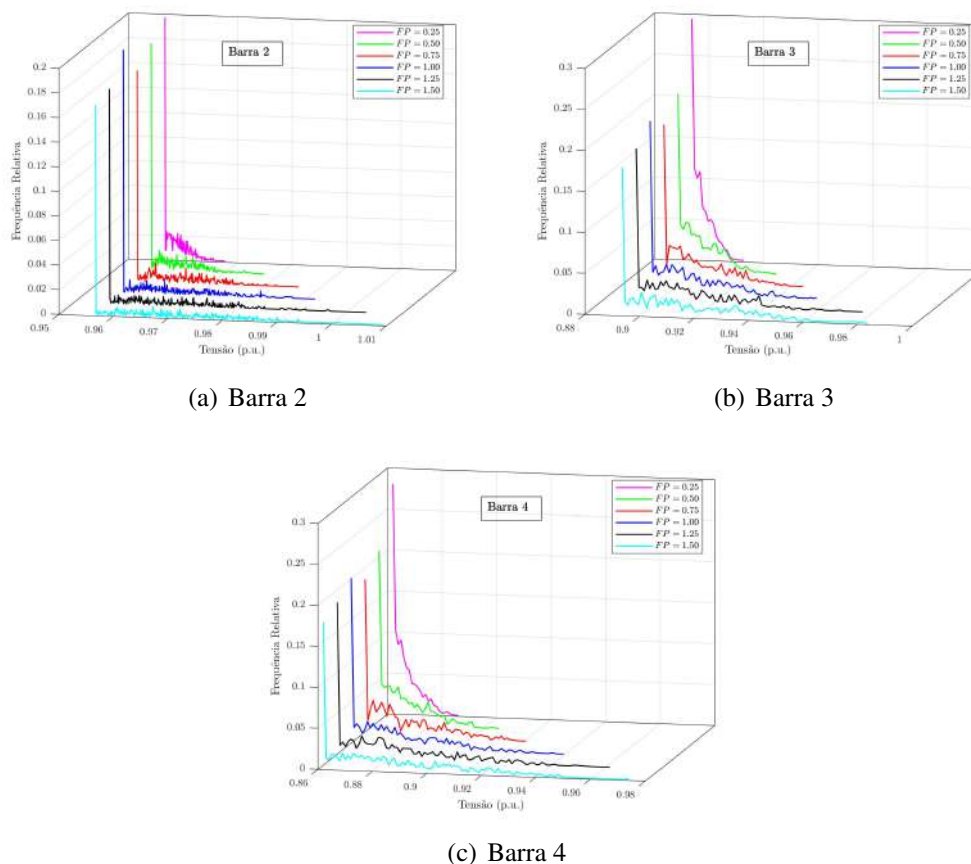


Figura 4. Resultados da simulação Monte Carlo com $L = 300m$ e $P_c = 75kVA$

Nos itens elencados abaixo, são apresentados e discutidos os aspectos mais relevantes que puderam ser observados nos resultados obtidos.

- O principal efeito surtido pelo aumento do carregamento do alimentador é o deslocamento das distribuições de probabilidade para maiores valores no eixo das magnitudes de tensão; por outro lado, as variâncias das distribuições para um mesmo fator de penetração tendem a permanecer similares. Ou seja, a diminuição do carregamento de alimentador tende a produzir maiores valores de tensão, embora a dispersão destes permaneça aproximadamente constante.
- O comprimento L influi sobre dois aspectos relevantes: maiores comprimentos tendem a simultaneamente aumentar a dispersão da distribuição e deslocá-la para menores valores no eixo das tensões. O primeiro efeito advém do aumento de impedância entre os pontos de geração, o que implica que as diferentes configurações de alocação da geração passam a ter efeitos mais significativos sobre o perfil de tensão, aumentando a diversidade dos valores de tensão obtidos. O deslocamento das distribuições para a esquerda deve-se às maiores quedas de tensão em função de maior comprimento do alimentador; nesse sentido, a vizinhança da distribuição de tensões é determinada de maneira análoga àquela exposta no item anterior.
- Em circunstâncias de carregamento nominal, especialmente para comprimentos maiores de alimentador, verifica-se que a geração distribuída propicia melhoria nos perfis de tensão, não apresentando riscos significativos de sobretensão nas bar-

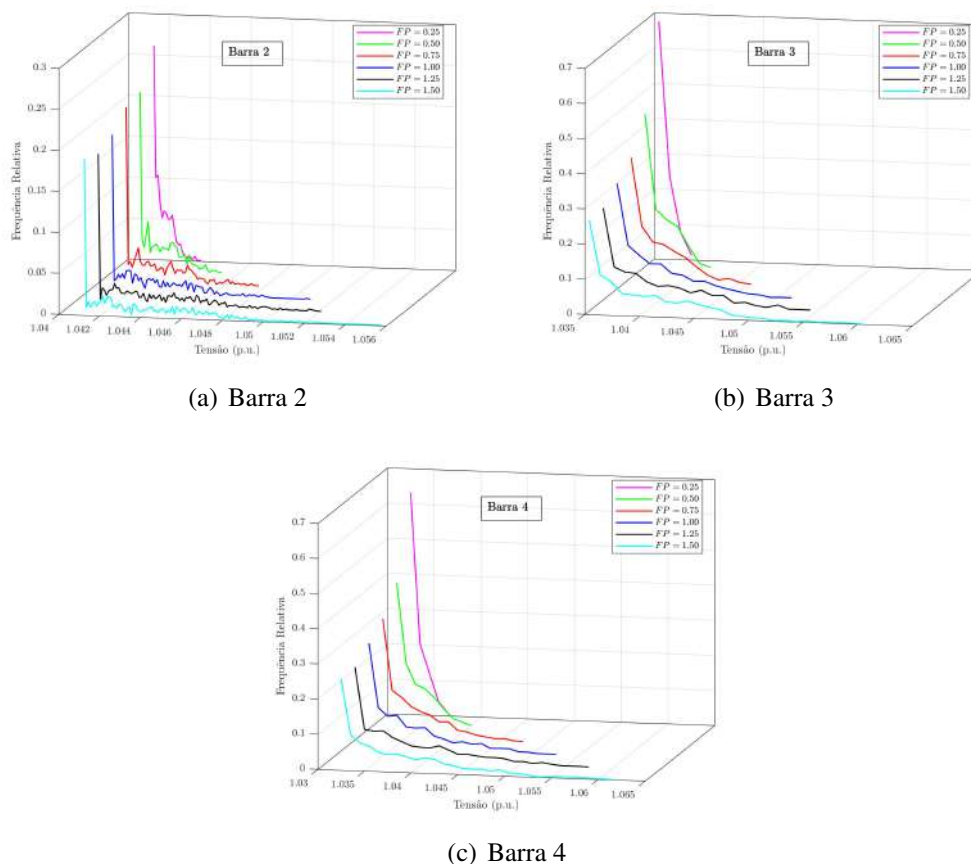


Figura 5. Resultados da simulação Monte Carlo com $L = 100\text{m}$ e $P_c = 25\text{kVA}$

ras inclusive para elevados fatores de penetração. Isso se justificava pelo fato de carregamentos relativamente elevados tenderem a conduzir as tensões do sistema para valores abaixo de 1 p.u., o que é compensado pelo alívio de carga propiciado pela instalação dos painéis fotovoltaicos.

- A posição de uma barra, com relação à barra de referência, influencia acentuadamente sua respectiva distribuição de tensão. Os resultados demonstram que, quanto mais próxima da barra de referência se encontra uma determinada barra, menos dispersa tende a ser sua distribuição de tensões. Isso pode ser explicado pelo fato de que os menores níveis de impedância entre a origem do sistema e barras próximas desta fazem com que as tensões destas sejam mais fortemente vinculadas à tensão da referência, independentemente de geração ou carregamento.
- Os resultados confirmam a asserção de que não é suficiente a análise determinística dos impactos da geração distribuída sobre alimentadores de distribuição. De fato, nos casos simulados em que houve maior reincidência de um mesmo valor de tensão em uma das barras, a frequência relativa permaneceu próxima a 70%. Logo, a dispersão dos valores de tensões como função da aleatoriedade de geração não pode ser negligenciada em uma análise precisa da geração distribuída.
- De modo geral, os resultados demonstram que a probabilidade de ocorrência de sobretensões é aumentada para alimentadores com carregamento leve e alta penetração de geração distribuída. Por outro lado, a geração distribuída traz efei-

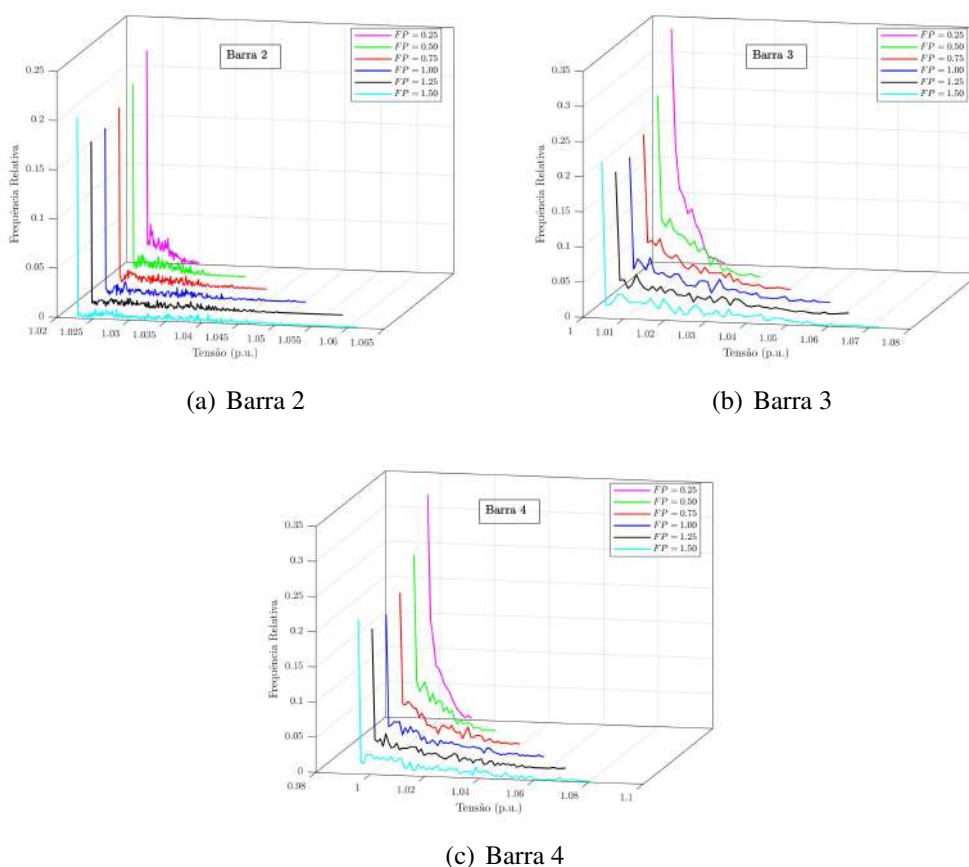


Figura 6. Resultados da simulação Monte Carlo com $L = 300\text{m}$ e $P_c = 25\text{kVA}$

tos benéficos para alimentadores longos com carga elevada, nos quais o risco de sobretensão não se torna significativo mesmo para elevados fatores de penetração.

6. Considerações Adicionais

No estudo de caso analisado neste trabalho, algumas simplificações foram utilizadas na modelagem do alimentador de distribuição, as quais consistem na suposição de: cargas equilibradas, impedâncias idênticas em todas as fases dos trechos de alimentador e sistema a três condutores (ou seja, sem a presença do condutor neutro). Os resultados indicam que foi possível, mesmo utilizando-se destas simplificações, evidenciar os efeitos do comportamento estocástico da geração sobre as tensões nas barras do alimentador.

Todavia, uma análise mais precisa dos sistemas de distribuição requer a modelagem de todos os fatores que foram desconsiderados por meio das suposições acima mencionadas. De fato, sabe-se que as cargas tendem a ser significativamente desequilibradas na distribuição, principalmente devido à abundância de ramais monofásicos e bifásicos derivados dos alimentadores principais [Kim 2018]. Ademais, em decorrência das linhas de distribuição serem dispostas assimetricamente e não serem transpostas ao longo de suas extensões, pode ocorrer desequilíbrio considerável entre as impedâncias mútuas e próprias das fases [Liu and Milanovic 2015, Yan and Saha 2013]. Por fim, o condutor neutro é utilizado na maior parte dos sistemas de distribuição em baixa tensão, sendo sua incorporação aos modelos de alimentador necessária em análises detalhadas.

Todavia, modelar explicitamente o condutor neutro e estudar o comportamento das tensões em seus nós em função das impedâncias de aterramento e da geração distribuída pode ser oneroso computacionalmente. De fato, uma simulação de fluxo de carga seria necessária para cada possível combinação de valores para as impedâncias de aterramento. Unindo este requisito às múltiplas iterações do método Monte Carlo, o tempo de processamento pode tornar-se inaceitável. Em trabalhos futuros, pretende-se desenvolver métodos para atenuar a complexidade computacional associada a este tipo de simulação.

7. Conclusão

Neste trabalho, foi apresentado um estudo de caso baseado em dados do *P&D 364* em que foram analisados, via simulação Monte Carlo, os impactos da geração fotovoltaica distribuída sobre as magnitudes de tensão em um alimentador radial. O objetivo do estudo foi demonstrar a importância de se considerar fatores estocásticos na modelagem da geração distribuída. Os resultados obtidos demonstraram que as variações de tensão no alimentador, decorrentes da aleatoriedade inerente à geração distribuída, não podem ser ignoradas sem incidência em erros significativos de modelagem.

Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido dentro das pesquisas realizadas no Projeto de P&D número PD-06072-0364/2015 da Aneel, financiado pela Celg Distribuidora.

Referências

- Abdelaziz, M. (2017). Gpu-opencl accelerated probabilistic power flow analysis using monte-carlo simulation. *Electric Power Systems Research*, 147:70 – 72.
- ANEEL. 'Geração distribuída ultrapassa 20 mil conexões' (2018). Assessoria de Imprensa da Agência Nacional de Energia Elétrica.
- ANEEL. *Resolução Normativa nº 482 de 2012*. Agência Nacional de Energia Elétrica.
- CanadianSolar. *Datasheet do módulo CS6P-260/265/270P*. CanadianSolar.
- Daly, P. A. and Morrison, J. (2001). Understanding the potential benefits of distributed generation on power delivery systems. In *2001 Rural Electric Power Conference. Papers Presented at the 45th Annual Conference (Cat. No.01CH37214)*, pages A2/1–A2/13.
- Gomez, J. C., Vaschetti, J., Coyos, C., and Ibarlucea, C. (2013). Distributed generation: impact on protections and power quality. *IEEE Latin America Transactions*, 11(1):460–465.
- Kim, Y. (2018). Development and analysis of a sensitivity matrix of a three-phase voltage unbalance factor. *IEEE Transactions on Power Systems*, 33(3):3192–3195.
- Liu, Z. and Milanovic, J. V. (2015). Probabilistic estimation of voltage unbalance in mv distribution networks with unbalanced load. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 30(2):693–703.
- Robert, C. and Casella, G. (2010). *Introducing Monte Carlo Methods with R*. Springer.
- Yan, R. and Saha, T. K. (2013). Investigation of voltage imbalance due to distribution network unbalanced line configurations and load levels. *IEEE Transactions on Power Systems*, 28(2):1829–1838.

Implantação do Zabbix na UFAL Campus Arapiraca

José Junio da S. Calú¹, Felipe da S. Leite¹, Rômulo N. de Oliveira¹, Cárliston B. T. Galdino¹

¹Núcleo de Tecnologia da Informação – Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
CEP – 57309-005 – Arapiraca – AL – Brasil

{junio.calu, felipe.leite}@arapiraca.ufal.br
{romulo, carlisson}@nti.ufal.br

Abstract. *Managing a network efficiently, using appropriate tools is essential to ensure the good quality of the services offered. From this, it becomes possible to avoid problems such as deterioration of equipment, underutilization of bandwidth, or even delays for solving incidents. In this sense, this article seeks to demonstrate how the Zabbix tool can assist in the management of a network infrastructure, taking as its case study its implementation in a federal institution of higher education. The solution is low-cost and has shown promise, offering relevant data and reports to management, enabling preventive actions to be carried out on the various assets of the network.*

Resumo. *Administrar uma rede de maneira eficiente, utilizando de ferramentas adequadas é fundamental para garantir a boa qualidade dos serviços oferecidos. A partir disso, passa a ser possível evitar problemas como deterioração de equipamentos, subutilização de banda, ou mesmo atrasos para solução de incidentes. Nesse sentido, este artigo busca demonstrar como a ferramenta Zabbix pode auxiliar na gerência de uma infraestrutura de rede, tomando como estudo de caso a sua implantação em uma instituição federal de ensino superior. A solução é de baixo custo e se apresentou promissora, oferecendo dados e relatórios relevantes para a administração, possibilitando a realização de ações preventivas nos diversos ativos da rede.*

1. Introdução

Durante o primeiro estágio do que seria a Internet, nos anos 60, e nas duas décadas seguintes, a necessidade de se estabelecer uma política de gerenciamento de rede era praticamente inexistente [Stevenson 1995]. As primeiras redes de computadores interconectavam apenas universidades para fins de pesquisa. Mesmo na década de 70, com o uso do computador se expandindo para outras áreas além da pesquisa acadêmica, e com mainframes sendo utilizados no processamento de dados por parte de empresas e governos, a demanda por um gerenciamento de rede ainda não era prioridade. No mainframe o administrador tinha o controle total de tudo que se passava dentro da empresa. Em um único sistema ou computador o administrador tinha formas de monitorar de perto o espaço em disco, CPU disponível, número de utilizadores presentes, tempo de resposta das transações, etc, que é uma realidade bem diferente da atual [Leiner et al. 2009, Kurose et al. 2013, p. 555].

Com a difusão dos computadores pessoais, também tivemos que lidar com o gerenciamento de diversos recursos, como por exemplo: tráfego de dados, integridade de

informação, banco de dados, sistemas distribuídos, etc. Houve também a possibilidade do uso de computadores em locais mais afastados do “data center”, onde antes o antigo mainframe limitava a distância do terminal. As instituições passaram a ter conjuntos de ilhas de computadores, isolados uns dos outros, não necessariamente próximos aos servidores de rede [Cisco Systems 2004, p. 132]. Essa expansão da rede interna institucional trouxe alguns problemas: administração dos sistemas e usuários, a segurança da informação, e o monitoramento da disponibilidade e do comportamento dos serviços oferecidos. No contexto de redes de computadores, com o aumento da banda de tráfego e a forte dependência da rede para os sistemas integrados e sistemas web, cada vez mais se tornava evidente a necessidade de uma solução para o gerenciamento eficiente e com baixo *overhead* [Ford et al. 1999, p. 45].

O objetivo das tecnologias de gerenciamento de rede é reduzir os riscos e garantir segurança e disponibilidade, requisitos essenciais para os sistemas corporativos [Yemini 1993, p. 1]. Nesse sentido, a Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Campus Arapiraca, possui centenas de ativos de rede. Isso acaba resultando em uma quantidade exorbitante de variáveis a serem analisadas durante o processo de resolução de um problema na rede. Diante da complexidade, esses problemas podem até mesmo passar despercebidos aos olhos do gerente de rede, seja pela falta de uma visão panorâmica do quadro, ou de dados precisos para se traçar um diagnóstico das causas de um incidente. E foi isso que se constatou, tão logo posto em estado de produção o Zabbix [Zabbix 2020]. Vieram à tona desde de problemas menos graves como servidores virtuais “reclamando” de insuficiência de memória RAM, até problemas mais graves como a identificação de deterioração a nível de hardware em dispositivos custosos do ponto vista financeiro à instituição.

Dada a importância do gerenciamento de rede, e após uma breve contextualização histórica de como se deu a evolução das redes de computadores até os dias atuais, este trabalho traz como contribuição um estudo de caso sobre a implantação da ferramenta de monitoramento Zabbix na UFAL, Campus Arapiraca.

2. Zabbix

O Zabbix é uma plataforma de gerenciamento de rede desenvolvida por Alexei Vladishev em meados do ano 2000 e agora mantida pela Zabbix LLC [Zabbix 2020]. O Zabbix suporta tanto o *trapping* (coleta passiva de dados) SNMP (Simple Network Management Protocol) quanto o *polling* (coleta ativa). Possui ainda suporte aos protocolos: IPMI, JMX, Monitoramento VMware, ICMP Ping e SSH. Traz a possibilidade de monitoramento individual de Portas TCP. Tem um agente próprio para instalação em dispositivos que não deem suporte ao SNMP, podendo ser configurado para funcionar em modo ativo ou modo passivo. Seu Web *Frontend* provê recursos para autenticação de usuários, visualização e criação de gráficos, mapas, alertas de incidentes, entre outros.

A comunidade do Zabbix é ativa, onde se compartilham, *templates*, modelos de monitoramento prontos contendo itens de coleta, gráficos e configurações de alerta aplicáveis à dispositivos ou elementos já conhecidos pela comunidade [Benicio 2015, p. 41]. A ferramenta também fornece uma API para atualizações em massa e integração com ferramentas de terceiros. As notificações de incidentes podem ser visualizadas no Web *Frontend* ou configuradas para serem recebidas por email, SMS, Jabber, Ez Texting

ou scripts de alertas customizáveis.

Para instalação do Zabbix, a Zabbix LLC mantém um repositório para as distribuições GNU/Linux mais populares, como Ubuntu, Debian e Fedora, com pacotes pré-compilados da ferramenta em sua versão mais recente e estável. Configurado o repositório, o procedimento se resume a utilizar o gerenciador de pacotes da distribuição para baixar as dependências compatíveis com o SGBD suportado pelo Zabbix (MySQL, Oracle, PostgreSQL, SQLite ou IBM DB2), criar um banco de dados, instalar o Apache, habilitar o servidor Zabbix no gerenciador de serviços de inicialização do sistema (SysVinit, SystemD ou Upstart) e concluir o procedimento fornecendo alguns informações adicionais no Web *Frontend*.

2.1. Zabbix e SNMP

O SNMP [Case et al. 1990] é um dos principais protocolos usados pelo Zabbix para coleta de métricas de monitoramento de dispositivos. Criado em 1990 e descrito no RFC 1157, por se tratar de um protocolo aberto, rapidamente se tornou padrão de monitoramento na Internet, com os fabricantes de dispositivos de rede o embutindo já na produção em fábrica [Stevenson 1995].

O monitoramento SNMP depende de uma análise do MIB (Management information base) para identificar recursos monitoráveis de um dispositivo, como por exemplo: estatísticas de tráfego de rede de uma interface *ethernet*, estados de operação dessa mesma interface (Up ou Down), logs de sistema, etc. Existem MIBs do tipo aberto (definidos em RFCs) e os proprietários criados pelos fabricantes de dispositivos. Um MIB nada mais é do que um banco de dados formado por uma coleção de objetos gerenciáveis dispostos em formato de árvore. Os arquivos contidos no banco de dados MIB são arquivos de texto plano, geralmente nomeados com a extensão “.mib”. Cada objeto gerenciável é descrito nesses arquivos segundo a notação ASN.1 e contém um identificador de objetos (OID), um tipo, uma faixa de valores possíveis, seu relacionamento com outros objetos, o tipo de operação aceita pelo objeto (requisições SNMP Get ou Set), podendo também conter uma breve descrição textual sobre sua utilidade [Kurose et al. 2013, 566].

Para facilitar a tarefa de análise de um MIB e o entendimento de cada OID contido nele, foram criados os MIB *Browsers*, ferramentas utilizadas para “navegar” pela árvore MIB. A maioria dos MIB *Browsers* possuem um recurso integrado para enviar requisições Gets ou Sets SNMP [Extreme Networks 2020].

2.2. Zabbix e Agentes Zabbix

Na ausência de um agente SNMP nativo no dispositivo alvo do monitoramento, o Zabbix disponibilizada agentes próprios como alternativa. O servidor Zabbix se comunica com esses agentes na porta TCP 10050 por meio de um protocolo próprio de troca de informações em formato JSON, onde as métricas de monitoramento coletadas são extraídas diretamente das diretivas do sistema operacional onde o agente é instalado.

Para se poder monitorar usando o Agente Zabbix, três etapas são necessárias: cadastro manual do host no Web *Frontend*, associação do *template* de monitoramento compatível com o sistema operacional, e instalação do agente através do repositório da Zabbix LLC. Esse procedimento pode ser resumido a uma ou duas etapas, configurando os agentes logo na instalação para trabalharem no modo ativo de monitoramento. No

modo ativo os agentes se auto registram no Servidor Zabbix, bastando que o administrador defina o IP do servidor no parâmetro “ServerActive” do seu arquivo de configuração.

3. Métodos

A abordagem de implantação da plataforma, adotada pela equipe de TI da instituição pode ser resumida em três fases: pesquisa de mercado, instalação do servidor Zabbix, e reuniões em equipe para eliciação dos elementos de rede a serem monitorados. Como pode ser visto com mais detalhes na Figura 1.

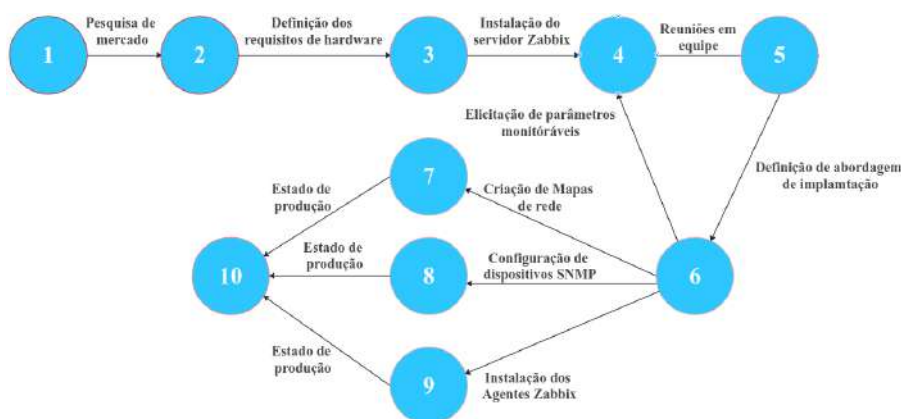


Figura 1. Gráfico PERT do fluxo de trabalho de implantação do Zabbix [Autor 2020]

Na primeira fase buscou-se respaldo na literatura já existente, onde comparativos entre plataformas de gerenciamento como [Kovacs 2016], [dos Santos and Martins 2016] e [Black 2008] podem ser encontrados. Black (2008) compara oito ferramentas de gerenciamento, e sintetiza em uma tabela os prós e contras de cada uma (Tabela 1). A ferramenta Nagios, apesar de parecer completa, possui limitações como o suporte não *standard* ao SNMP e Autodiscovery, disponibilizados como plugins mantidos pela comunidade, e uma interface mais simples também fornecida opcionalmente. Com uma ressalva para o software Spiceworks, que apresenta todas as funcionalidades, exceto o suporte gráfico integral, Black (2008) é categórico ao afirmar que o Zabbix promete ser a ferramenta mais completa dentre as GPL (GNU General Public License), pois une todas as opções que as demais, debaixo de uma interface robusta e amigável.

Uma vez definida a plataforma de gerenciamento, foi dado início ao processo de instalação da aplicação. Os requisitos mínimos de hardware são 128MB de memória RAM, 256MB de armazenamento livre em disco. Entretanto, o consumo de memória e CPU aumentam a depender da quantidade de hosts a serem monitorados, e se o gerente almeja manter um longo histórico dos parâmetros de rede coletados, *gigabytes* de espaço em disco deverão ser reservados. Num cenário com mais de mil hosts, por exemplo, a demanda por memória sobe para 8GB, acompanhada de uma CPU de 8 núcleos [Zabbix 2020]. No caso da UFAL, o Zabbix foi instalado em uma máquina virtual com as configurações da Tabela 2.

Finalizada a instalação, deu-se início ao processo de eliciação das métricas a serem coletadas, definidas em reuniões em equipe. Durante as quais definiu-se a seguinte

Tabela 1. Comparação de ferramentas de gerenciamento de redes [Black 2008]

	Cacti	Nágios	ZenOSS	OpManager	BigBrother4	Spiceworks	Look@LAN	Zabbix
SLA Reports	Não	Através de Plugin	Não	Em desenvolvimento	Sim	Sim	Não	Sim
Auto Discovery	Através de plugin	Através de Plugin	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Agente	Não	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Não	Sim
SNMP	Sim	Através de Plugin	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Syslog	Não	Através de Plugin	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Permite scripts externos	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Plugins	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Linguagem que foi escrito	PHP	Perl	Python e Zope	Perl e Python	C	Ruby	C	C e PHP
Gatilhos/alertas	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Front-end web	Controle Completo	Controle Parcial	Controle Completo	Controle Completo	Controle Completo	Controle Completo	Não	Controle Completo
Monitoramento distribuído	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Inventário	Através de Plugin	Através de Plugin	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Método de armazenamento de dados	RRDTool. MySQL. PostgreSQL em desenvolvimento	MySQL. MS-SQL.	RRDTool para dados de performance. MySQL para eventos	MySQL e MSSQL	Oracle. MSSQL. MySQL	MySQL e SQLite	Não	Oracle. MySQL. PostgreSQL e SQLite
Licenciamento	GPL	GLP	Core: GPL-Pro: ComercialEnterprise: Comercial	Comercial. 30 dias para testar o produto	Comercial	GPL	Freeware	GPL
Geração de gráficos/mapas	Sim/Através de plugin	Sim/Sim	Sim/Sim	Sim/Não	Sim/Sim	Sim/Parcial	Sim/Sim	Sim/Sim
Eventos	Através de plugin	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Sim

Tabela 2. Configurações do servidor virtual com Zabbix Server [Autor 2020]

Configurações de Hardware	
Sistema Operacional GNU/Linux	Debian 10 (Buster) 64 bits
Memória RAM	8 GB
Disco Rígido	60 GB (SATA)
4 Processadores	Common KVM processor 2000 MHz
2 Placas de Rede	Intel 82540EM (Placa em modo bridge)

abordagem: instalação dos Agentes Zabbix nos servidores físicos e virtuais; estudo e testes do SNMP em dispositivos com suporte nativo ao protocolo; mapeamento da rede através do recurso de criação de mapas do *Web Frontend* do Zabbix.

Aos Agentes Zabbix podem ser associados *templates* padrão, fornecidos pela própria ferramenta, embora esses modelos sejam genéricos e inadequados para utilização em ambientes de produção, sendo recomendado ao gerente de rede criar seus próprios *templates* de acordo com as especificidades do ambiente no qual está trabalhando.

A fase de testes dos dispositivos SNMP, foi realizada com auxílio do *MIB browser Reasoning* [iReasoning 2020]. Essa ferramenta possibilitou encontrar os OIDs corretos para feitura do *template* destinado aos comutadores e *Access Points* da instituição. Para isso, o procedimento foi, baixar do site do fabricante o MIB proprietário do dispositivo em foco, importá-lo por meio da opção gráfica “Load MIBs” da ferramenta, e buscar (opção “Find in MIB tree”) por palavras-chave que faziam referência ao parâmetro a ser

monitorado. Por exemplo, para encontrar o OID responsável por fornecer as estatísticas de utilização de CPU de um dado modelo de comutador de camada de enlace, pesquisou-se pela palavra-chave “cpu” que retornou o OID “.1.3.6.1.4.1.1916.1.32.1.2.0” já traduzido para sua forma textual “extremeCpuMonitorTotalUtilization”, como observado na Figura 2.

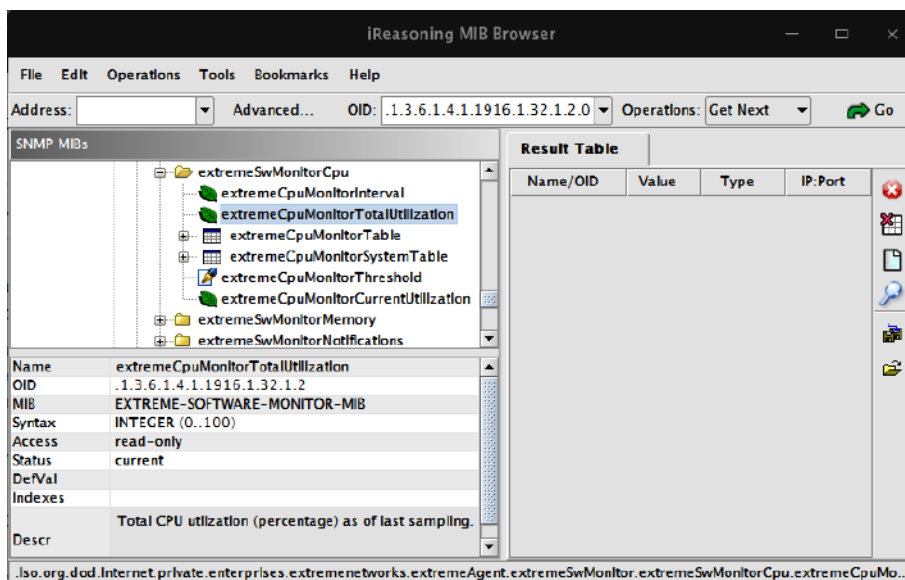


Figura 2. Retorno de uma pesquisa de OID no MIB browser [Autor 2020]

Dessa análise foi possível extrair três dados essenciais para criação de um item de monitoramento de CPU: o tipo da informação INTEGER (um número inteiro no intervalo de 0 a 100), STATUS “current” (indicando que a definição do OID é atual e não obsoleta) e Descr (descrição textual da atribuição do objeto), traduzida como “Utilização total da CPU (porcentagem) desde a última amostragem”, indicando que a informação pretendida foi encontrada.

Um item SNMP deve ter obrigatoriamente preenchidos os campos de Nome, Tipo, Chave, SNMP OID, Tipo de informação e Intervalo de atualização, como pode ser visto na Figura 3.

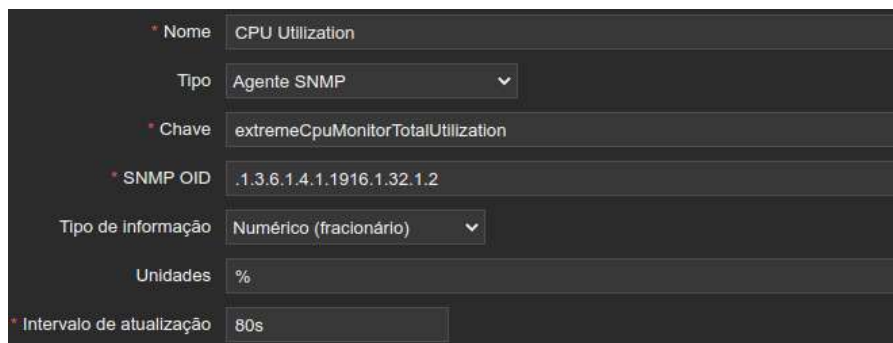


Figura 3. Principais campos para criação de um item SNMP [Autor 2020]

O Zabbix possibilita a aplicação de fatores de conversão sobre os dados recebidos de uma consulta SNMP, ao se especificar, durante a criação do item a unidade de medida

(campo “Unidade”) pretendida. O OID ifOutOctets que fornece o total de bytes enviados por uma interface de rede, por exemplo, é mais interessante de ser visualizado se convertido para Mbps ou Gbps.

Após o encerramento dos procedimentos para viabilizar a coleta de métricas de monitoramento dos ativos de rede da instituição, pôde-se dar início ao mapeamento da topologia da rede, através do recurso de criação de mapas do Zabbix.

4. Resultados

A Figura 4 representa a topologia de rede da UFAL. Os ícones circundados por cores representam alertas, disparados por triggers (Figura 5). As cores variam de cinza (incidentes de menor gravidade) a vermelho (maior gravidade).

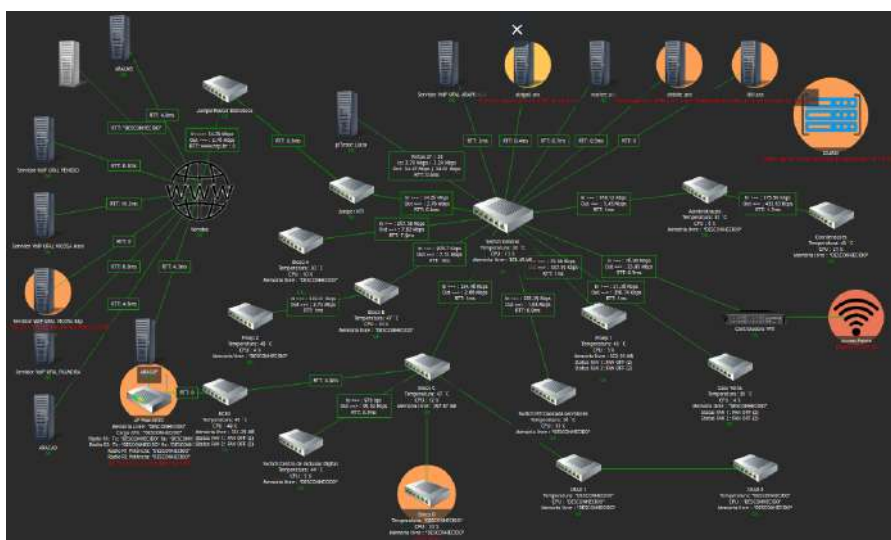


Figura 4. Topologia de rede da UFAL Campus Arapiraca [Autor 2020]

* Nome	Alta utilização da CPU para 5m
Dados operacionais	Utilização atual: {ITEM.LASTVALUE1}
Severidade	Não classificada Informação Atenção Média Alta Desastre
* Expressão	{zabbix:system.cpu.util.min(5m)}>{90}

Figura 5. Trigger de CPU [Autor 2020]

As triggers são expressões lógicas que permitem analisar os dados coletados pelos itens, definindo limites saudáveis de operação para um determinado elemento monitorado [Zabbix 2020]. Na Figura 5, a expressão “{zabbix:system.cpu.util.min(5m)}>{90}” analisa os dados de utilização de CPU coletados através do item de nome (chave) “system.cpu.util” do host “zabbix” nos últimos 5 minutos, com a função “min(5)”, e verifica se esses valores superam 90% nesse intervalo, com o operador “>{90}”, mudando o estado da trigger de “OK” para “INCIDENTE” em caso afirmativo.

A distribuição geográfica dos pontos de acesso sem fio da instituição pode ser visualizada no mapa da Figura 6, que tem como plano de fundo a planta baixa da universidade. Os ícones em vermelho representam *Access Points offline*. Estatísticas de

utilização em tempo real de memória, processamento e número de clientes conectados aos dispositivos podem ser visualizadas como descrição textual abaixo dos ícones.

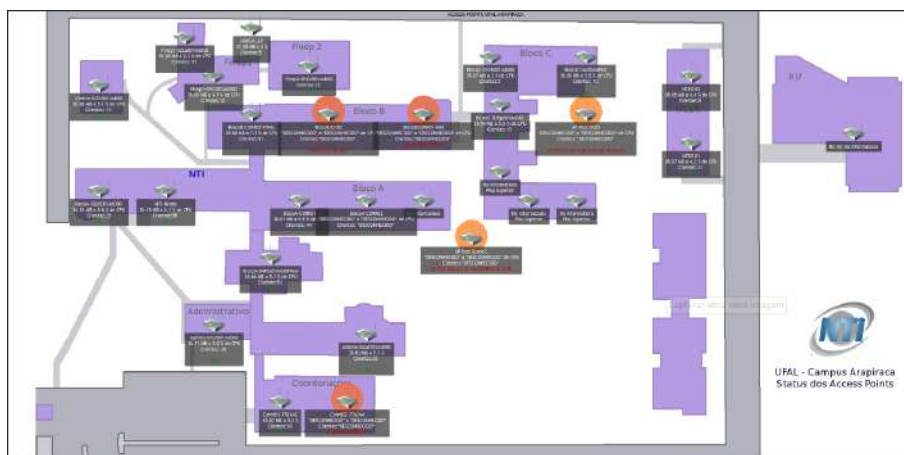


Figura 6. Mapeamento dos Access Points do Campus [Autor 2020]

A distribuição dos servidores da universidade é exibida na Figura 7. Onde cada agrupamento (quadrado) representa uma categoria de serviços. Servidores de armazenamento e compartilhamento de arquivos estão agrupados na categoria “arquivos”, por exemplo.

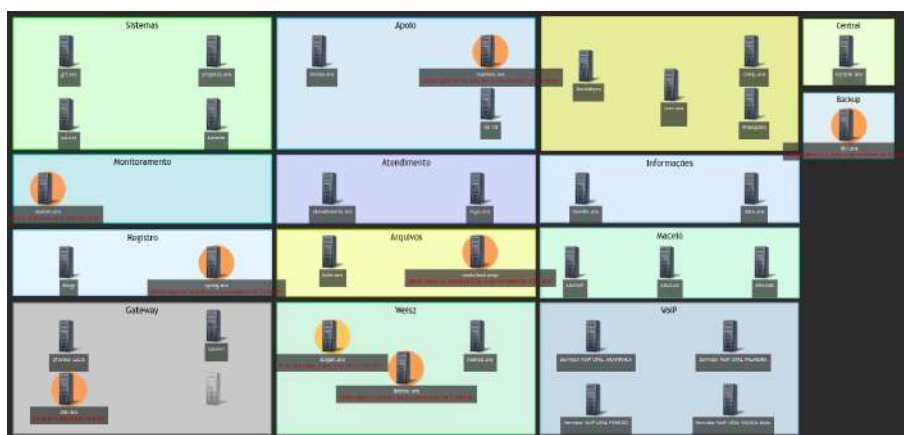


Figura 7. Servidores organizados por categoria [Autor 2020]

Dados de temperatura de um dispositivo de rede, coletados durante um intervalo de 4 meses e 21 dias podem ser visualizados na Figura 8. Picos de temperatura próximos aos 50 graus celsius foram detectados, indicando sobreaquecimento do mesmo. Como medida preventiva, foi construído um anteparo para resfriar o rack outdoor exposto ao sol, que comportava o equipamento.

O gráfico exibido na Figura 9, de 3 meses e 13 dias indica oscilações na qualidade do serviço entregue pelo provedor do link de internet da instituição. Analisada essa métrica, relatórios direcionados ao provedor puderam ser elaborados para que o mesmo melhorasse o serviço fornecido.

O consumo de largura de banda da UFAL durante o período de 3 meses e 21 dias (Figura 10), foi base de discussão sobre a necessidade de aumento da capacidade do link.

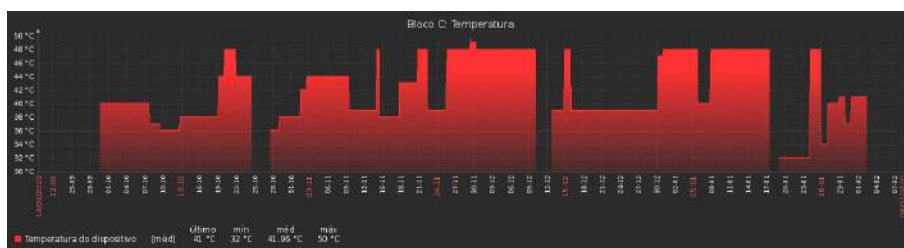


Figura 8. Gráfico de temperatura de um dispositivo de rede [Autor 2020]

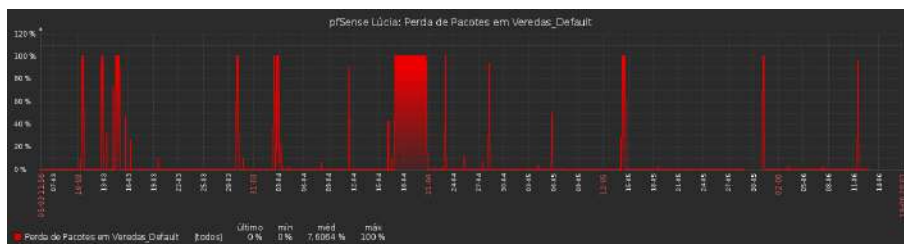


Figura 9. Gráfico de perda de pacotes do link principal da instituição [Autor 2020]

Observadas as projeções diárias do enlace dedicado de fibra óptica com largura de banda de 100 Mbps de que dispõe a instituição, verificou-se um pico de exaustão atingido poucas vezes, dispensando, portanto, a hipótese de acréscimo.

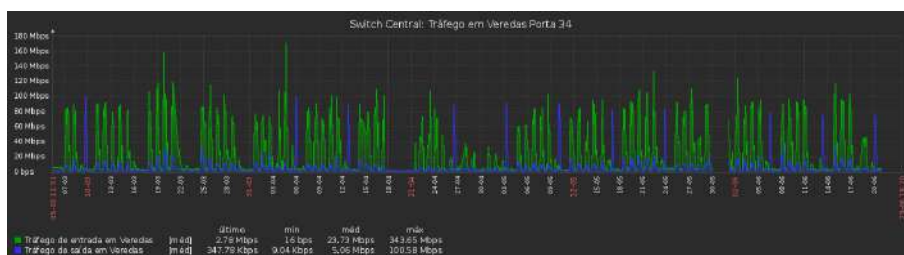


Figura 10. Gráfico de consumo de internet na UFAL Campus Arapiraca [Autor 2020]

5. Conclusão

Uma rede de computadores moderna é composta por um número de dispositivos, serviços e aplicações suficientemente grandes para fugir ao controle de uma gerência puramente humana. Assim, ferramentas automatizadas de gerenciamento de rede são indispensáveis para lidar com esse cenário e, o Zabbix, como plataforma de gerenciamento, se mostrou uma solução viável, sendo de baixo custo, de boa usabilidade e oferecendo uma ampla gama de funcionalidades. Com o Zabbix, a identificação, visualização, correção, antecipação e prevenção de problemas relacionados à rede da instituição, tornou-se possível, melhorando assim a qualidade e disponibilidade dos serviços fornecidos por esta.

Em trabalhos futuros serão abordados estudos sobre o recurso de descoberta de baixo nível (Low-level discovery) [Zabbix 2020] do Zabbix para o mapeamento automático de dispositivos e recursos representados por OIDs contidos em subárvores

SNMP extensas, e a aplicação desse para criação de *templates*. Também serão elaborados estudos para melhoria de desempenho do Zabbix no ambiente de produção da UFAL através do refinamento de configurações [Nelson 2015, p. 23] da ferramenta e de sistemas baseados em GNU/Linux.

Referências

- Benicio, W. E. P. (2015). In IF, editor, *Monitoramento e Gerenciamento de Redes utilizando Zabbix*, page 6. Trabalho de conclusão de curso.
- Black, T. L. (2008). In UFRGS, editor, *Comparação de Ferramentas de Gerenciamento de Rede*, pages 13–60. Trabalho de conclusão de curso de especialização.
- Case, J., Fedor, M., Schoffstall, M. L., and Davin, J. (1990). Rfc1157: Simple network management protocol (snmp). *ACM*, pages 6–7.
- Cisco Systems, I. (2004). *Internetworking technologies handbook*. page 132. Cisco Press, 3th edition.
- dos Santos, L. N. and Martins, H. P. (2016). Comparativo das funcionalidades das ferramentas open-source zabbix e cacti. *FATEC, Caderno de Estudos Tecnológicos*, 4(1).
- Extreme Networks, I. (2020). How to find oid for a particular mib. Disponível em: https://gtacknowledge.extremenetworks.com/articles/How_To/How-to-find-OID-for-a-particular-MIB. Acesso em: 1 de junho de 2020.
- Ford, M., Kim Lew, H., Spanier, S., and Stevenson, T. (1999). *Internetworking technology overview*. Cisco Systems, Inc, pages 45–52.
- iReasoning, I. (2020). Mib browser version 13 user guide. Disponível em: <http://www.ireasoning.com/browser/help.shtml>. Acesso em: 09 de junho de 2020.
- Kovacs, K. (2016). Zabbix vs nagios comparison. *Pridobljeno*, 5(5):2016.
- Kurose, J. F., Ross, K. W., and Zucchi, W. L. (2013). Gerenciamento de rede. In *Redes de Computadores ea Internet: uma abordagem top-down*, pages 555–572. Pearson Addison Wesley, 6 edition.
- Leiner, B. M., Cerf, V. G., Clark, D. D., Kahn, R. E., Kleinrock, L., Lynch, D. C., Postel, J., Roberts, L. G., and Wolff, S. (2009). A brief history of the internet. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 39(5):22–31.
- Nelson, A. (2015). Tuning the zabbix server. In *Zabbix Performance Tuning*, page 23. Packt Publishing, 1th edition.
- Stevenson, D. W. (1995). Network management: What it is and what it isn't. *Carleton University*, 4.
- Yemini, Y. (1993). The osi network management model. *IEEE Communications Magazine*, 31(5):20–29.
- Zabbix, L. (2020). Zabbix documentation 4.0. Disponível em: <https://www.zabbix.com/documentation/4.0/manual>. Acesso em: 3 de junho de 2020.

Sistema para Detecção da Trajetória do Movimento de Golf Swing a Partir de Vídeos Gravados de um Smartphone

Jordan de Oliveira Kau Lyrio¹, Karin Satie Komati², Daniel Ribeiro Trindade¹

¹Coordenadoria de Informática (CIn)

²Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada (PPComp)
Campus Serra do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes)
Serra - ES - Brasil

jordankl93@gmail.com, {kkomati, danielrt}@ifes.edu.br

Abstract. *In golf, the movements performed by the player are very important. Among these, one that stands out is the golf swing movement. There are several applications on the market that help players to improve their golf swing. However, these applications are generally not free or even require the user to wear additional equipment or complex camera configurations to track their movement. In this work we present an algorithm to track the a golfer's golf swing movement. The system uses image processing techniques to detect and display the trajectory of the golf club. Videos recorded with a smartphone are used as input for the system. In order to assess the system's effectiveness, the detected trajectory is compared with the real trajectory, wich is defined manually. For the experiments, seven videos with different swing styles and types of background scenarios were used. The results obtained were satisfactory for most of the cases.*

Resumo. *No golfe, os movimentos realizados pelo jogador são muito importantes. Dentre esses, um que se destaca é o movimento de golf swing. Existem diversas aplicações no mercado que auxiliam os jogadores a melhorarem seu movimento. Entretanto, essas aplicações são pagas ou exigem que o golfista utilize equipamentos acessórios ou configurações complexas de câmera para rastrear seu movimento. Neste trabalho foi desenvolvido um sistema de rastreamento do movimento de golf swing de um golfista. O sistema exibe a trajetória do taco a partir de vídeos gravados da câmera de um smartphone, usando técnicas de processamento de imagens. Para aferir a eficácia do sistema, é comparada a trajetória detectada pelo algoritmo com a trajetória real, essa última definida manualmente. Para os experimentos, foram utilizados sete vídeos de diferentes estilos de tacadas e com diferentes tipos de cenários de fundo. Os resultados obtidos foram satisfatórios para a maioria dos casos.*

1. Introdução

O golfe é um esporte que vem crescendo muito nas últimas décadas, e já é praticado por mais de 60 milhões de pessoas ao redor do mundo [Wheeler and Nauright 2006]. Um dos objetivos do jogo é acertar os buracos espalhados em um campo no menor número de tentativas possíveis ou, dependendo da modalidade, acertar o maior número de buracos em uma seção. A partida se inicia em uma área chamada de *tee*, onde é realizada a tacada

inicial de um percurso. Neste momento, o golfista costuma realizar a tacada drive, que é executada para lançar a bola em longa distância. A área de chegada, chamada de *green*, é onde fica localizado o buraco. Nesta área, os jogadores costumam realizar a jogada de *putting*, que é a tacada feita para colocar a bola no buraco. Para cada tacada realizada, o movimento realizado pelo corpo é fundamental para conseguir uma jogada com alto nível de eficácia [Riveiro et al. 2015].

Dentre as diferentes técnicas de execução de uma tacada, destacam-se os movimentos de *golf putting* e *golf swing*. No *golf putting*, o movimento realizado pelo corpo reproduz uma forma pendular que visa acertar a bola com maior precisão possível a fim de acertar o buraco. No *golf swing*, o movimento realizado pelo corpo do golfista exige uma atividade coordenada dos músculos para geração de energia que será transferida para bola a fim de realizar uma tacada de longa distância [McHardy and Pollard 2005]. Por envolver movimentos complexos e que exigem grande trabalho de coordenação dos principais membros do corpo, os jogadores amadores costumam gastar grande parte do seu tempo tentando aperfeiçoar a realização do *swing* e do *putting*.

Existem diversos tipos de aplicações que analisam de diferentes modos o *swing* de um golfista. Alguns desses sistemas necessitam de roupas especiais para rastrear o movimento corporal do jogador ou de um taco com sensores ligados a ele. No entanto, a necessidade de utilizar dispositivos conectados ao corpo ou ao taco de golfe, em muitos casos, acaba tornando a experiência desagradável, pois tais sensores podem tornar o taco mais pesado ou causar desconforto no momento de realizar o *golf swing*. Além disso, algumas aplicações não são tão acessíveis, por serem muito caras ou exigirem que o golfista já tenha alguma experiência no golfe [Chun et al. 2014].

Este artigo descreve um sistema para detectar o movimento de *swing* de um golfista utilizando como entrada o vídeo da jogada. Isso permite que o usuário utilize *smartphones* para a geração do vídeo. Como resultado o sistema exibe a trajetória do movimento de *swing*. Para alcançar esse resultado foram utilizadas técnicas de processamento de imagens para realizar a detecção do taco e acompanhar a trajetória da ponta do taco nos vários quadros do vídeo. Para aferir o funcionamento do sistema foi calculada a diferença entre as trajetórias reais e as detectadas pelo sistema.

2. Trabalhos Correlatos

No trabalho de [Urtasun et al. 2005] foi proposta uma abordagem que incorpora modelos dinâmicos no processo de rastreamento do corpo humano para produzir uma representação completa em 3D a partir de sequências monoculares. A abordagem utiliza modelos de movimentos específicos do *golf swing* evitando a complexidade computacional de algoritmos multi-hipóteses.

No trabalho de [Karlga and Hwang 2006] foram analisados movimentos do corpo humano com base em um modelo 3D obtido a partir de sequências de vídeo de uma câmera única durante o *golf swing*. São utilizadas as informações bidimensionais do corpo humano, extraídas através de técnicas de segmentação de objetos, e obtenção do modelo 3D usando um algoritmo iterativo de ajuste 3D e Redes Dinâmicas Bayesianas (*Dynamic Bayesian Networks*). A partir das informações de movimentos obtidas do modelo 3D, comparou-se o *golf swing* de diferentes jogadores, independente da

variabilidade da aparência humana, da perspectiva da câmera, da complexidade do movimento humano e diversos outros fatores de complexidade. De acordo com [Karlga and Hwang 2006], os resultados obtidos demonstraram que o sistema é capaz de captar a estrutura do corpo humano tridimensionalmente nos movimentos de *golf swing*. Em [Karlga and Hwang 2007] o algoritmo é aplicado com o diferencial de se analisar as principais partes do corpo humano separadamente e, assim, obter mais precisão na representação do modelo 3D.

No trabalho de [Couceiro et al. 2013] foi apresentada uma metodologia para detecção visual e estimação de parâmetros na análise da variabilidade no desempenho de *golf putting* utilizando uma câmera digital para realizar o rastreamento do movimento. A detecção da posição do taco horizontalmente é obtida utilizando técnicas de visão computacional e de um algoritmo de estimação divididos em duas etapas. Na primeira parte algumas técnicas de estimação não-lineares com desempenho diferentes são analisadas para extração de um modelo senoidal. Na segunda parte são realizados experimentos com jogadores de golfe experientes e, com base nos resultados da primeira parte, é utilizada a técnica *Darwinian Particle Swarm Optimization* (DPSO) para obter uma caracterização da técnica de *putting* de cada jogador. Os resultados obtidos por [Couceiro et al. 2013] mostram que a aplicação proposta é bem funcional e permite recuperar uma série de informações simultâneas sobre o *golf putting* de um jogador.

No trabalho de [Fung et al. 2014] foi desenvolvido um sistema rastreador de movimento humano sem uso de marcadores que é capaz de monitorar as principais partes do corpo de um atleta em um vídeo de transmissão esportiva. Para o sistema, foi proposto um método de rastreamento híbrido que consiste na combinação de três algoritmos para rastrear a cabeça, o corpo, as mãos, os ombros, os joelhos e os pés de um golfista na realização do movimento de *golf swing*. Os três algoritmos utilizados foram fluxo óptico piramidal de Lucas-Kanade (LK), correspondência de modelos baseados em correlação normalizada e subtração de fundo. Com os resultados do rastreamento, uma representação do corpo humano em forma de esqueleto é apresentada para imitar a pose exata do jogador na execução do movimento.

No trabalho de [Riveiro et al. 2015] foi realizada uma pesquisa de campo com instrutores de golfe a fim de se levantar quais recursos um sistema de treinamento baseado em computador deve ter para auxiliar o ensino do *golf swing*. Para orientar o desenvolvimento destes sistemas diversas questões foram levantadas, entre elas qual a característica de um bom movimento de *swing*, como são realizadas as sessões de treinamento e os desafios enfrentados pelos instrutores. Os resultados obtidos por [Riveiro et al. 2015] mostram que um sistema de treinamento de *golf swing* baseado em computador deve possuir características de comparação entre o *swing* de um jogador habilidoso e um jogador novato.

No trabalho de [Gehrig et al. 2003] foi apresentada uma metodologia de rastreamento visual que utiliza um modelo global de movimento. O objetivo do trabalho é recuperar a trajetória da ponta do taco de golfe em espaço-temporal 2D a partir de vídeo de *golf swing*, de modo que informações como velocidade do taco, orientação e aceleração também possam ser extraídas. O método desenvolvido é totalmente automatizado, dispensando a interferência de um usuário ou uso de equipamentos e sensores para realizar a detecção. O sistema também pode ser utilizado em cenários com fundos bastante

complexos. O algoritmo se adapta de forma robusta ao modelo de *swing* através das hipóteses de localização do taco de golfe a partir de quadros únicos e também dispensa o uso de equipamentos de detecção de movimentos.

3. O Sistema Proposto

A Figura 1 apresenta a arquitetura geral do sistema. Para cada quadro do vídeo, há quatro passos sequenciais: a detecção de movimento, a detecção de possíveis tacos, a detecção do taco e a exibição do taco no quadro. Cada um dos passos será detalhado nas subseções a seguir. O sistema foi desenvolvido usando a linguagem Java e as funções disponíveis na biblioteca OpenCV para operações de processamento digital de imagem (PDI) [Gonzalez and Woods 2002].

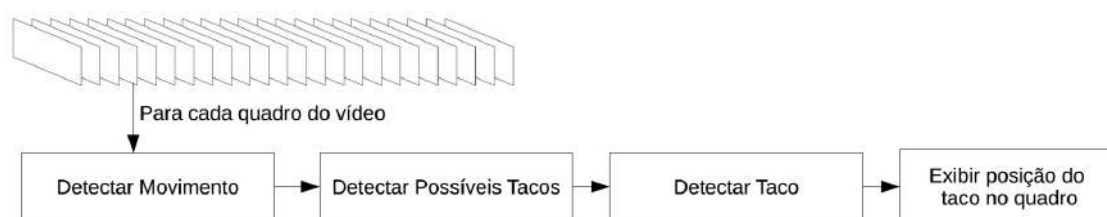


Figura 1. Arquitetura geral proposta.

3.1. Detecção do movimento

Para rastrear o movimento do taco foram aplicadas técnicas de processamento de imagens nos quadros do vídeo. A Figura 2 apresenta o resultado após cada operação de PDI realizada.

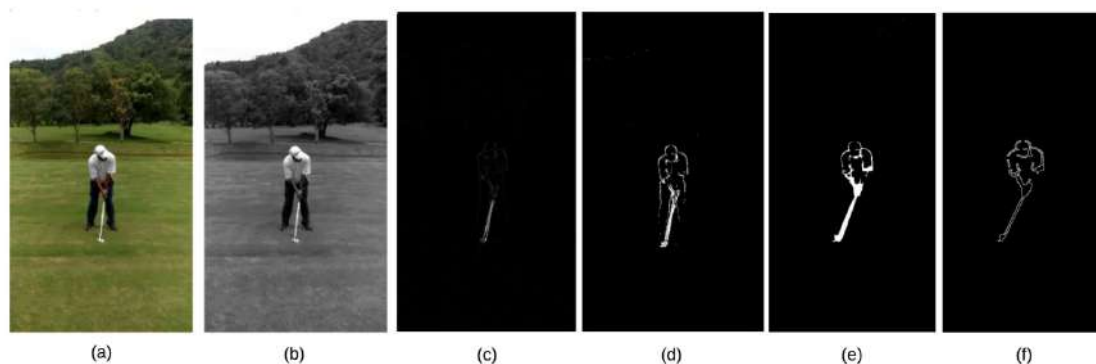


Figura 2. Resultados de cada processamento de imagens na detecção de movimentos.

Para um dado instante do vídeo, são utilizados 3 quadros: o anterior Q_{n-1} , o atual Q_n e o próximo Q_{n+1} . Esses quadros são convertidos para escala de cinza (Figura 2(b)). São gerados então dois novos quadros: D_1 , resultante da diferença entre o próximo quadro e o atual ($Q_{n+1} - Q_n$); e D_2 , resultante da diferença entre o próximo quadro e o anterior ($Q_n - Q_{n-1}$). A Figura 2(c) mostra um desses quadros.

Após a geração de D_1 e D_2 , é realizada uma operação de limiarização (em inglês *threshold*) nesses quadros. Esta operação transforma uma imagem em escala de cinza em

uma imagem binária (*black and white*), onde os objetos com valor maior que o limiar são transformados em pixels de cor branca e os com menores valores, em pixels de cor preta. Após testes preliminares, chegou-se a valor de limiar 15. Em seguida, foi aplicada a operação de fechamento morfológico (*morphological closing*) em D_1 e D_2 . O objetivo do fechamento morfológico é eliminar pequenas falhas nas regiões de movimento (preenchendo pequenos furos dentro de objetos) e suavizar as bordas encontradas. A Figura 2(d) é o resultado da aplicação das operações de limiar e fechamento.

O passo seguinte é a geração de uma nova imagem R , resultante da interseção entre D_1 e D_2 . Para isso aplicou-se o operador lógico AND. A imagem R pode ser vista na Figura 2(e). Ao final, foi aplicado em R o algoritmo Canny [Canny 1986] para extração das bordas (Figura 2(f)).

3.2. Detecção dos possíveis tacos

Após o tratamento da imagem para identificarmos os objetos em movimento no vídeo, o próximo passo a ser feito é a identificação de quais desses objetos são possíveis tacos de golfe. É esperado que o usuário indique os pontos onde inicialmente se encontram a cabeça do taco e as mãos do golfista. Isso serve como ponto de partida para o algoritmo de detecção do taco. Como é um dado fornecido pelo próprio usuário, então é razoável afirmar que o segmento de reta formado por esses pontos tem o tamanho do taco de golfe na imagem. O usuário é capaz de escolher esses pontos com o mouse, caso esteja usando um computador, e com um toque de tela no caso de uso de um *smartphone*.

No próximos quadros, foi utilizada a transformada de Hough [Duda and Hart 1972] para extrair segmentos de retas presentes na imagem. Assume-se que cada segmento de reta encontrado é um possível taco. Cada segmento de reta é formado pelos dois pontos de extremidade do possível taco. A partir desses pontos são calculados o coeficiente angular da reta e o tamanho do segmento encontrado.



Figura 3. Imagem que apresenta o raio de busca em círculo verde.

Com as informações iniciais fornecidas pelo usuário é possível estabelecer uma área onde é mais provável que o taco esteja. Considerando que o movimento de *swing* é similar a um arco, então foi definida uma área circular com centro no ponto inicial da mão do jogador e raio igual a 2,5 o comprimento do taco (circulo em verde na Figura 3). Segmentos de reta que estejam localizados fora dessa área são desconsiderados (segmentos em amarelo, na parte superior da Figura 3). Também são desconsiderados segmentos cujo tamanho seja muito menor ou maior em relação ao segmento de reta fornecido pelo usuário.

Após a aplicação do algoritmo Canny, utilizado ainda na etapa de detecção de movimento, verifica-se que duas retas paralelas são formadas no contorno do taco de golfe. A Figura 4 apresenta a mesma Figura 2(f), porém amplificada apenas na região do golfista. Para encontrar as retas paralelas utiliza-se o coeficiente angular de cada reta para realizar a comparação entre elas. Todas as retas são consideradas paralelas se a diferença de coeficiente angular for menor que 0,5, valor empírico. Cada par de retas paralelas forma um quadrilátero. O segmento de reta candidato a taco é segmento diagonal desse quadrilátero.

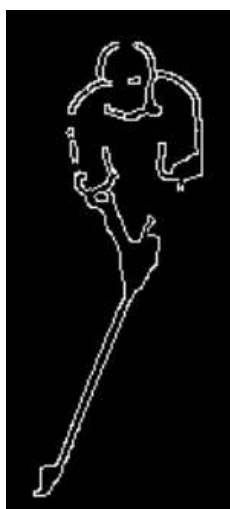


Figura 4. Amplificação do resultado da aplicação do filtro de Canny.

3.3. Detecção do taco e exibição do taco no quadro

Esta é a etapa final do algoritmo e tem como objetivo determinar qual é o segmento correto entre os candidatos fornecidos pelo passo anterior. Uma vez escolhido esse segmento também é necessário definir qual, dentre os dois pontos que compõem o segmento escolhido, representa a cabeça do taco.

Dentre os segmentos de reta candidatos, verifica-se qual deles é o mais próximo ao último segmento de reta escolhido como taco em quadros anteriores. Isso é feito calculando-se a distância euclidiana [Pedott and Fogliatto 2013] entre os segmentos candidatos e o segmento escolhido anteriormente. Uma vez determinado o segmento que representa o taco, define-se qual de seus pontos de extremidade corresponde à mão do jogador: o ponto do taco atual mais distante do ponto do taco anterior referente à mão do jogador é definido como a cabeça do taco atual.

Para visualizar a trajetória do movimento de *swing*, o novo ponto de cabeça do taco encontrado é ligado com uma linha preta ao ponto referente à cabeça do taco anterior, gerando um traçado da trajetória do taco (Figura 3).

4. Experimentos, Resultados e Discussão

Nesta seção apresentam-se os resultados obtidos pela aplicação, bem como a discussão dos resultados. Foram utilizados 7 (sete) vídeos coletados pelos próprios autores em um campo oficial de golfe. Os vídeos foram feitos a partir da câmera de um *smartphone* sem a utilização de um tripé ou qualquer equipamento para estabilizar os vídeos. Para se obter uma taxa maior de quadros, os vídeos foram capturados com a função *slow motion* ativada. Os jogadores que foram filmados durante a execução dos movimentos são profissionais do esporte. Cada um dos vídeos tem resolução de 960 x 720 quadros. Os vídeos gravados e utilizados para o experimento podem ser encontrados no site <https://github.com/jordankl93/GolfSwingAnalyser/tree/master/videos>.

Para a análise quantitativa, avaliou-se a precisão do algoritmo de detecção. A aplicação grava a posição do taco em cada quadro quadro, armazenando as coordenadas da trajetória da ponta do taco. O *benchmark* foi feito manualmente em cada quadro. Para cada par de coordenadas, do ponto detectado pelo algoritmo e o manual, é calculada a distância euclidiana entre eles. As distâncias encontradas são denominadas de Erro. Os valores de Erro, por sua vez, são exibidos no término do processamento e, posteriormente, são utilizados para calcular a Média de Erro da trajetória detectada pelo algoritmo.

Além da Média de Erro calculada, também foi feito o cálculo do Desvio Padrão dos Erros para cada vídeo utilizado [Pedott and Fogliatto 2013]. O Desvio Padrão é utilizado para verificar a uniformidade de um conjunto de dados, ou seja, quanto mais próximo o resultado for de 0 (zero) mais uniformes são os dados. Para o nosso caso, a medida do desvio padrão mostra o quão próximo a trajetória detectada está da trajetória real. Essas medidas são importantes para mostrarem o grau de eficácia do algoritmo em diferentes cenários.

Os resultados quantitativos são apresentados na Tabela 1 e mostram a diferença nos resultados das detecções nos diferentes cenários e estilos de *golf swing* realizados pelos golfistas. A primeira coluna apresenta a quantidade total de quadros do vídeo. A segunda coluna contém o número de quadros onde houve detecção. Esses valores são menores em relação ao total de quadros do vídeo pois nem sempre ocorre a detecção do taco. A terceira coluna apresenta a média dos erros as posições detectadas pelo sistema e as posições definidas manualmente. A quarta coluna apresenta os valores do desvio padrão do erros calculados.

Neste trabalho foi utilizado como métrica o pixel. No Vídeo 1, a média de distância de erro foi de 9,172 pixels. Já o desvio padrão foi de 4,69. Este vídeo possui o segundo melhor resultado de detecção quando avaliamos as medidas utilizadas. Na Figura 5 observa-se a diferença da trajetória manual (cor azul) e a trajetória detectada pelo algoritmo (cor preta) do Vídeo 1.

A Figura 6 apresenta os resultados dos vídeos de 2 à 7, na ordem de (a) a (f). O Vídeo 2 (Figura 6(a)) é o que possui o melhor resultado avaliando as medidas calculadas. Observa-se que a trajetória do algoritmo ficou bem próxima do *benchmark*, mas ao mesmo

Tabela 1. Resultado quantitativo dos vídeos de 1 a 7.

	Quantidade total de quadros	Quantidade total de quadros com detecção	Média de Distância de Erro (em pixels)	Desvio Padrão
Vídeo 1	103	82	9,172	4,690
Vídeo 2	81	66	6,319	3,154
Vídeo 3	104	26	10,242	7,062
Vídeo 4	90	33	11,376	6,959
Vídeo 5	84	49	40,348	81,520
Vídeo 6	96	47	19,642	14,724
Vídeo 7	95	44	13,202	16,928

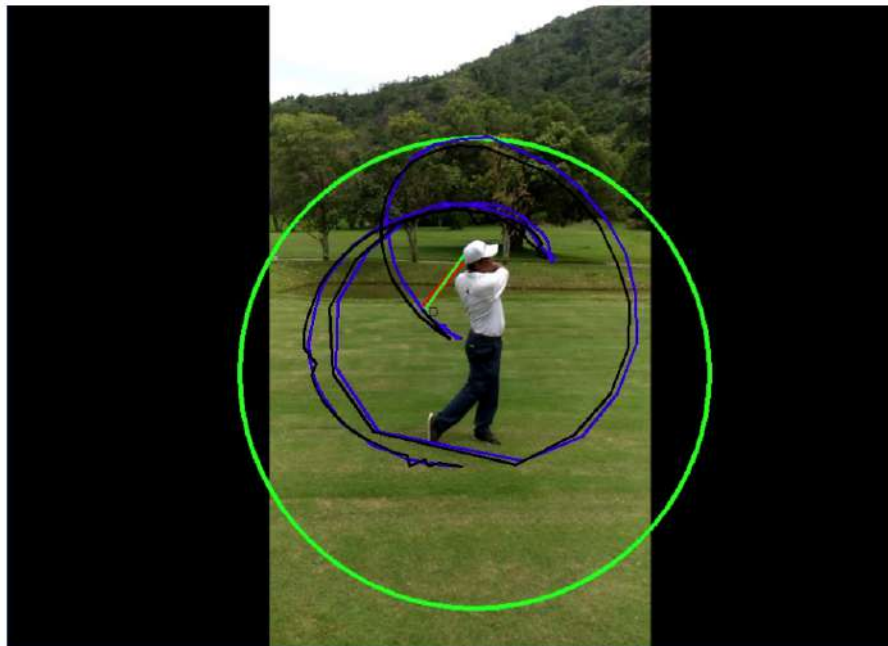


Figura 5. Resultado qualitativo do Vídeo 1.

tempo é o movimento curto, de menor extensão e o jogador não realizou movimentos acentuados.

O Vídeo 5 apresentou os piores resultados, com média de distância de erro calculada de 40,348 pixels e desvio padrão de 81,520. Na Figura 6(d) observa-se que a trajetória detectada pelo algoritmo, exibida em preto, realmente é muito diferente do *benchmark*. Uma questão no vídeo 5 é a espessura do taco, que era mais fino [Brito et al. 2012]. Um golfista pode carregar até 14 tacos em um jogo, tendo variações em seu tipo, material, espessura, dentre outros. Como o algoritmo assume que um taco de golfe necessariamente deve possuir um par de retas paralelas e neste vídeo o taco de golfe possui uma espessura muito fina, o algoritmo identifica apenas uma reta no taco, não realizando a detecção corretamente.

5. Considerações Finais

Neste trabalho foi desenvolvido um sistema para rastrear o movimento de *golf swing* de um golfista utilizando vídeos gravados de uma câmera de celular. O sistema realiza uma

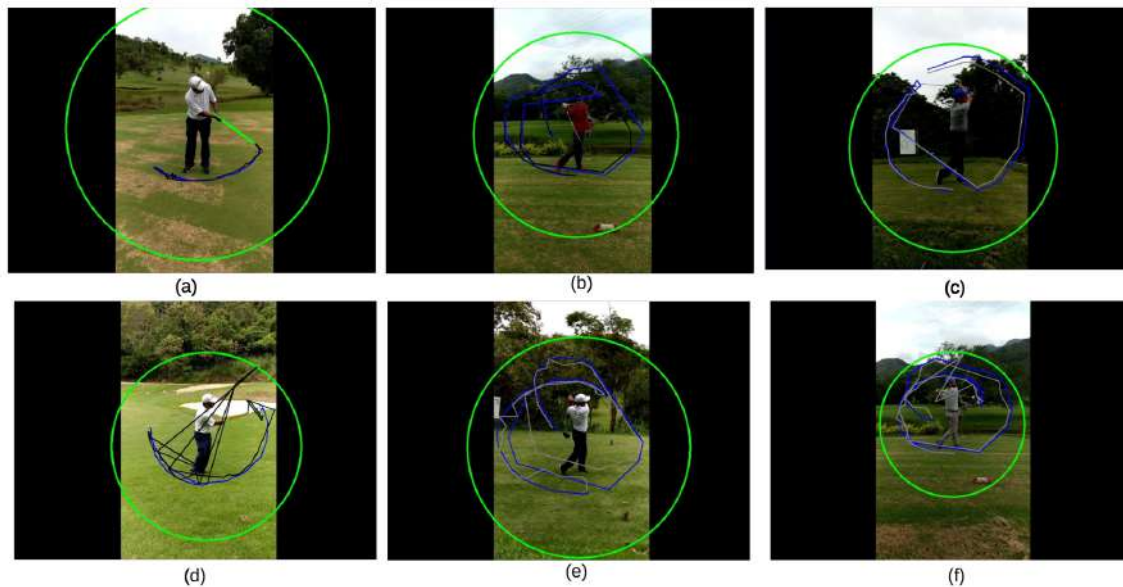


Figura 6. Resultado qualitativo dos vídeos de 2 a 7.

análise dos objetos em movimento no vídeo e utiliza características presentes no *golf swing* para identificar o taco e rastrear a trajetória do movimento.

Para que fosse possível rastrear o trajeto do taco no movimento de *swing* foi necessário realizar a detecção dos objetos em movimento no vídeo usando técnicas clássicas de PDI e conceitos de geometria para extrair as características do taco e do movimento de *swing* realizado. O resultado obtido foi exibido em tela marcando a trajetória realizada pela ponta do taco durante todo o movimento.

Ainda que os objetivos apresentados tenham sido alcançados, melhorias podem ser feitas em futuros trabalhos, tais como melhorar as escolhas dos parâmetros de detecção, extrair informações referentes a velocidade da ponta do taco no momento do *swing*, criar método para suavizar a trajetória detectada, eliminando assim pontos que tenham ficado muito longe da trajetória. Também é possível usar técnicas mais recentes, do estado da arte de aprendizado de máquina, automatizando a detecção de trajetória. É necessário que sejam realizados mais experimentos, e mais experimentos em tempo real. Além disso, seria interessante encapsular o método desenvolvido em uma biblioteca, para que ele possa ser reutilizado por aplicações finais.

Referências

- Brito, A. P., Henriques-Neto, D., Macedo, A., and Ferreira, T. (2012). Critérios de utilização dos tacos entre jogadores sêniores e não sêniores na modalidade de golfe. *Revista Digital EFDeportes.com*, 15(166).
- Canny, J. (1986). A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, (6):679–698.
- Chun, S., Kang, D., Choi, H.-R., Park, A., Lee, K.-K., and Kim, J. (2014). A sensor-aided self coaching model for uncocking improvement in golf swing. *Multimedia tools and applications*, 72(1):253–279.

- Couceiro, M. S., Portugal, D., Gonçalves, N., Rocha, R., Luz, J. M. A., Figueiredo, C. M., and Dias, G. (aug. 2013). A methodology for detection and estimation in the analysis of golf putting. *Pattern Analysis and Applications*, 16(3):459–474.
- Duda, R. and Hart, P. (1972). Use of the hough transformation to detect lines and curves in pictures. *Commun. ACM*, 15:11–15.
- Fung, S. K., Sundaraj, K., Ahamed, N. U., Kiang, L. C., Nadarajah, S., Sahayadhas, A., Ali, M. A., Islam, M. A., and Palaniappan, R. (apr. 2014). Hybrid markerless tracking of complex articulated motion in golf swings. *Journal of bodywork and movement therapies*, 18(2):220–227.
- Gehrig, N., Lepetit, V., and Fua, P. (2003). Golf club visual tracking for enhanced swing analysis tools. In *Proceedings...*, pages 1–10. BRITISH MACHINE VISION CONFERENCE.
- Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. (2002). *Digital Image Processing*. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 2 edition.
- Karliga, I. and Hwang, J.-N. (2006). Analyzing human body 3-d motion of golf swing from single-camera video sequences. In *Proceedings...*, volume 5, pages v493–v496. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, IEEE.
- Karliga, I. and Hwang, J.-N. (2007). Extraction and integration of human body parts for 3-d motion analysis of golf swing from single-camera video sequences. In *Proceedings...*, pages 3960–3963. IEEE International Symposium on Circuits and Systems, IEEE.
- McHardy, A. and Pollard, H. (2005). Muscle activity during the golf swing. *British journal of sports medicine*, 39(11):799–804.
- Pedott, A. H. and Fogliatto, F. S. (2013). Estudos de repetitividade e reprodutividade para dados funcionais. *Production*, 23(3):548–560.
- Riveiro, M., Dahlbom, A., König, R., Johansson, U., and Brattberg, P. (2015). Supporting golf coaching and swing instruction with computer-based training systems. In *International Conference on Learning and Collaboration Technologies*, pages 279–290. Springer.
- Urtasun, R., Fleet, D. J., and Fua, P. (2005). Monocular 3d tracking of the golf swing. In *Proceedings...*, volume 2, pages 932–938. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, IEEE.
- Wheeler, K. and Nauright, J. (2006). A global perspective on the environmental impact of golf. *Sport in society*, 9(3):427–443.

Recomendação de Vídeos para o Processo de Aprendizagem: uma Revisão Sistemática da Literatura

João Pedro Ferreira¹, Lívia Campos¹, Antonio Marinho Neto¹, Cleon Pereira Junior¹

¹Instituto Federal Goiano (IF Goiano) – Campus Iporá – Iporá-GO – Brasil

{cleon.junior, livia.mancine}@ifgoiano.edu.br,

{pedrobarros2010, antomneto}@gmail.com

Abstract. *This article is a systematic review of the literature on the recommendation of videos in the educational area. With the remarkable expansion of content over the web, finding relevant and appropriate content is not an easy task, users have particularities and preferences, which makes the process individualized. Recommendation systems assess how relevant something is to a user, and seek to develop a solution to make a personalized recommendation. It was possible with the main research question, to visualize how recommendation systems are efficient in the video based learning.*

Resumo. *Este artigo trata-se de uma Revisão Sistemática da Literatura acerca da recomendação de vídeos no âmbito educacional. Com a notável expansão de conteúdos pela web, encontrar um conteúdo relevante e apropriado não é uma tarefa fácil, usuários possuem particularidades e preferências, o que torna o processo individualizado. Os sistemas de recomendação avaliam como algo é relevante para um usuário, e buscam desenvolver uma solução para efetuar uma recomendação personalizada. Foi possível com a questão de pesquisa principal, visualizar como sistemas de recomendação mostram-se eficientes na aprendizagem baseada em vídeo.*

1. Introdução

A utilização de vídeos como processo de ensino-aprendizagem tem sido bastante explorada. Existem muitas plataformas com fins educacionais que suportam esse tipo de recurso, por exemplo Udacity¹, Coursera², Khan Academy³. Além disso, o YouTube⁴, que não é uma plataforma exclusivamente voltada à educação, possui alguns canais com conteúdos educacionais. A maioria citada são fontes que podem ser exploradas no processo de aprendizagem, porém encontrar a mídia mais relevante sobre um conteúdo para determinada pessoa não é uma tarefa simples [Pereira et al. 2018].

É indiscutível que as mídias em formato de vídeo vêm crescendo nos últimos anos. No YouTube, por exemplo, em 2019, ocorreu em torno de 500 horas de envios de conteúdos para a plataforma por minuto⁵, porém nem tudo que é enviado é relevante para

¹<https://www.udacity.com/>

²<https://www.coursera.org/>

³<https://pt.khanacademy.org/>

⁴<https://www.youtube.com/>

⁵Disponível em : bit.ly/2QJpcNq

o ensino. Filtrar o que é importante para a aprendizagem de um determinado conteúdo se torna um desafio diante da quantidade de informações disponíveis. Neste sentido, os sistemas de recomendação têm trabalhado para permitir que aprendizes tenham acesso a materiais mais relevantes para a aprendizagem [Mulholland et al. 2016].

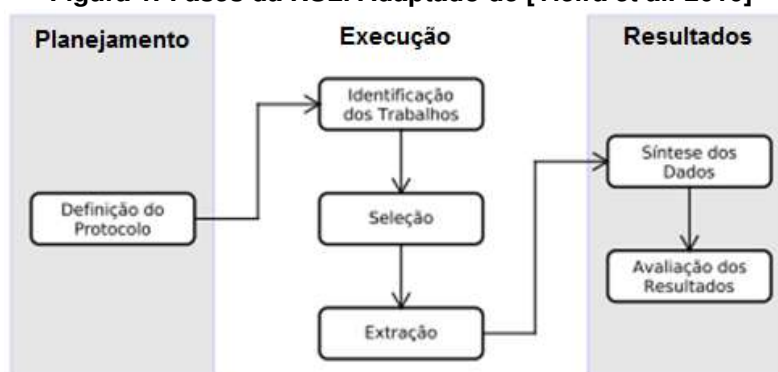
Existem algumas estratégias utilizadas por sistemas de recomendação. A Recomendação Baseada em Conteúdo (RBC) e a Filtragem colaborativa (FC) são exemplos de técnicas utilizadas. A RBC observa o conteúdo já avaliado ou consumido previamente pelo usuário e busca efetuar uma recomendação de conteúdos similares, fazendo assim o processo de personalização. Já o FC é um método de recomendação que alinha os perfis de muitos usuários e com base nas preferências dos mesmos são recomendados conteúdos semelhantes ou comuns para este nicho de usuários. Além disso, existem outros métodos, como por exemplo a técnica híbrida de recomendação. Em suma, um sistema de recomendação personalizada, quando adotado na educação, é conveniente para ajudar o estudante escolher conteúdo mais relevante para si [Pereira et al. 2018].

Por apresentar um leque de opções para a recomendação de vídeos, uma análise sobre o assunto é necessária. Neste aspecto, este trabalho apresenta uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) sobre a recomendação de vídeos no âmbito educacional. Com isso, pretende-se responder algumas questões de pesquisa, verificar o andamento dos trabalhos que utilizam a recomendação de vídeos no processo de aprendizagem e fazer um levantamento das tecnologias que têm sido utilizadas para dar suporte no processo de recomendação.

O trabalho está dividido como segue. Na seção 2 é apresentada a metodologia da pesquisa, expondo as etapas para a realização da RSL. A seção 3 exhibe os resultados da pesquisa realizada, respondendo assim às questões de pesquisa. A seção 4 apresenta as discussões finais sobre este trabalho.

2. Metodologia

Figura 1. Fases da RSL. Adaptado de [Vieira et al. 2016]



Esta pesquisa apresenta uma RSL que visa verificar o processo de aprendizagem utilizando recomendação de vídeos. Como procedimento para a realização de busca e seleção dos trabalhos, levou-se em consideração as colocações apresentadas por [Kitchenham 2004]. Além disso, a ferramenta STaRT⁶ foi utilizada para auxiliar na organização dos trabalhos. De acordo com [Kitchenham 2004], há três etapas principais para

⁶Disponível em: http://lapes.dc.ufscar.br/tools/start_tool

a realização de uma RSL, sendo elas: planejamento, execução e resultados. A Figura 1 apresenta uma síntese de cada uma das etapas da RSL. As subseções seguintes detalham estas etapas para o trabalho que foi proposto.

2.1. Planejamento

Para este trabalho, a seguinte Questão de Pesquisa (QP) foi levantada: *Como a recomendação de vídeos tem auxiliado no processo de aprendizagem?* Para responder esta pergunta, outras três QPs foram elaboradas, sendo elas:

- **QP1: Como o perfil do estudante tem sido utilizado no processo de recomendação de vídeo?**
- **QP2: Quais variáveis têm sido exploradas para a recomendação de vídeos no processo de aprendizagem?**
- **QP3: Quais técnicas têm sido utilizadas para a recomendação de vídeos no processo de aprendizagem?**

Foram realizadas buscas por trabalhos completos, disponíveis em bases de artigos científicos. A busca se limitou aos trabalhos publicados a partir de 2014 (até a data de 24 de agosto de 2020). As bases utilizadas foram IEEE, Springer, Web of Science, Scopus e ACM. Além disso, na intenção de encontrar trabalhos também em português, foram analisados os repositórios da Comissão Especial de Informática na Educação (CEIE). A busca foi feita em português e inglês. As *strings* de busca a seguir foram projetadas na intenção de retornar trabalhos acerca do assunto. Além disso, foi criada uma *string* diferente para o repositório da CEIE, pois a base de dados são trabalhos focados na educação. A Tabela 1 apresenta uma generalização das Strings.

Tabela 1. Strings de busca para a seleção de artigos

Idioma	String
Inglês	(video recommendation AND (“e-learning” OR “education” OR “b-learning” OR “virtual learning”)
Português	(recomendação de vídeo AND (“e-learning” OR “educação” OR “b-learning” OR “aprendizagem virtual”)
Português (CEIE)	Recomendação de vídeo

A Tabela 2 apresenta os critérios de inclusão e exclusão para esta pesquisa. Os critérios de inclusão contém limitação de idiomas, formato de publicação e assunto.

Tabela 2. Critérios de exclusão e inclusão

Critério	Descrição
Exclusão	Artigo indisponível completamente via web, capítulo de livro sem resumo ou artigo sem vínculo com periódico, conferência ou workshop. Trabalhos duplicados e/ou com versão de publicação mais recente, ou mais completa. Trabalhos não relacionados a recomendação de vídeos em tópicos como: educação, e-learning, b-learning ou virtual learning. Publicações fora do período de 2014 a 2020.
Inclusão	Disponível em português ou Inglês. Aborda recomendação de vídeo para o processo de aprendizagem. Artigo completo ou resumido, publicado em periódicos ou anais de eventos, e capítulos de livros. Trabalhos entre o período 2014 a 2020.

Os critérios de inclusão e exclusão fazem parte da etapa de planejamento da RSL e é essencial um levantamento claro dos critérios para que as etapas seguintes sejam contempladas com sucesso. A busca foi realizada nas bases científicas que apresentam trabalhos relevantes na área de computação. Foram priorizadas as consultas avançadas e a *string* de busca foi adaptada para atender os comandos de cada uma das bases. As buscas permitiram vislumbrar o andamento das pesquisas com relação à ao processo de recomendação de vídeos no âmbito educacional. A seguir, a segunda etapa da RSL será descrita.

2.2. Execução

A etapa de execução, segundo os parâmetros levantados por [Kitchenham 2004], consiste em três partes: identificação, seleção e extração. Para a identificação dos trabalhos, as *strings* de busca foram executadas nas bases científicas selecionadas para a RSL. Nesta etapa, um total de 137 trabalhos foram levantados. A busca se deu, em grande parte, através dos títulos, resumo e palavras-chave. Em algumas bases a busca teve que se estender por todo o trabalho, por não permitir a seleção somente por título, resumo e palavras-chave. Nota-se que no processo de identificação houve uma discrepância do número de trabalhos retornados pelas bases.

Após a identificação dos trabalhos, houve uma leitura de títulos e resumos para a seleção de pesquisas relevantes para esta RSL. Nesta etapa, um total de 27 trabalhos foram selecionados por apresentarem indícios que poderiam contribuir para a presente investigação. Por fim, ao realizar a leitura na íntegra, 16 trabalhos foram incluídos, seguindo os critérios de inclusão e exclusão apresentados no protocolo. A Tabela 3 apresenta o número de trabalhos detalhado por base de busca.

Tabela 3. Número de publicações por base nas etapas do processo de execução.

Base	Identificação	Seleção	Extração
ACM Digital Libray	9	2	0
IEEE Xplore	2	1	1
Science Direct	1	0	0
Scopus	31	13	9
Springer Link	94	7	4
CEIE	5	4	2
Total	142	27	16

Nota-se que a Springer retornou bastante trabalho na fase de identificação. O motivo é o que já foi citado anteriormente, a base não apresenta de forma simples uma opção por busca que não tenha que englobar o texto na íntegra. Após a execução das três etapas, a SCOPUS foi a que conseguiu um maior número de trabalho. Os trabalhos resultantes, apresentados após realizar a etapa de extração da fase de execução, foram ordenados por título e estão relacionados na Tabela 4.

Tabela 4. Trabalhos resultantes após critérios da RSL.

Título	Ano	Referência
<i>Analysing emotional sentiment in people's YouTube channel comments</i>	2016	[Mulholland et al. 2016]
<i>A Novel Design of Education Video Personalized Recommendation System Based on Collaborative Filtering Recommendation Technology</i>	2015	[Jun and Min 2015]
<i>A content-based recommendation algorithm for learning resources</i>	2018	[Shu et al. 2018]
<i>A Cross-Curriculum Video Recommendation Algorithm Based on a Video-Associated Knowledge Map</i>	2018	[Zhu et al. 2018]
<i>BROAD-RSI—educational recommender system using social networks interactions and linked data</i>	2018	[Pereira et al. 2018]
<i>Course video recommendation with multimodal information in online learning platforms: A deep learning framework</i>	2020	[Xu and Zhou 2020]
<i>Differentially private online learning for cloud-based video recommendation with multimedia big data in social networks</i>	2016	[Zhou et al. 2016]
<i>Multimedia based Information Retrieval Approach based on ASR and OCR and Video Recommendation System</i>	2017	[Bhabad et al. 2017]
<i>Recommending Scientific Videos Based on Metadata Enrichment Using Linked Open Data</i>	2018	[Medrek et al. 2018]
<i>Research on the Innovation and Integrated Development of College Ideological and Political Work Based on Short Video Recommendation Model</i>	2020	[Yu 2020]
<i>Seqsense: Video recommendation using topic sequence mining</i>	2018	[Bhatt et al. 2018]
<i>Teaching video recommendation based on student evaluation</i>	2018	[Zhang et al. 2018]
<i>Utilização de Enriquecimento Semântico para a Recomendação Automática de Videoaulas no Moodle</i>	2020	[Dias et al. 2020]
<i>Video-based learning assistant scheme for sustainable education</i>	2019	[Jung et al. 2019]
<i>Videopedia: Lecture Video Recommendation for Educational Blogs Using Topic Modeling</i>	2016	[Basu et al. 2016]
<i>YoutubeOntology: Uma ontologia do youtube para auxiliar um sistema de recomendação ubíqua de conteúdos</i>	2017	[Bezerra et al. 2017]

3. Resultados

Esta RSL focou em recomendação de vídeos para a educação, pois no processo de recomendação, onde necessidades individuais são consideradas, é esperado que haja uma melhora no aproveitamento dos conteúdos oferecidos. Nesse sentido, a pesquisa buscou integrar o máximo de trabalhos possíveis para que seus resultados fossem mais sólidos. A seguir, as questões de pesquisa serão respondidas de acordo com os resultados obtidos a partir do levantamento realizado nesta RSL.

3.1. QP3: Quais técnicas têm sido utilizadas para a recomendação de vídeos no processo de aprendizagem?

A recomendação de vídeos é muito discutida atualmente, isso se deve ao fato de nem todo conteúdo ser relevante para um usuário. Assim, existem diversos métodos para efetuar esta recomendação de tais conteúdos, cada qual com suas vantagens e desvantagens.

[Jun and Min 2015], [Zhang et al. 2018] e [Bezerra et al. 2017] utilizam de um sistema de recomendação baseado em Filtragem Colaborativa (FC). Este método busca alinhar o perfil de usuários com interesses similares e, com base nas preferências em comum, são recomendados conteúdos semelhantes para esse nicho de usuários. O trabalho de [Jun and Min 2015] aborda sobre a evolução no engajamento dos estudantes com os vídeos após a implantação do sistema. Já [Zhang et al. 2018] utiliza o FC para que seja feita uma recomendação consistente de vídeos a partir do conhecimento prévio do aluno. E então [Bezerra et al. 2017] aplica o método para a recomendação com base em um conteúdo chave, para que surjam novos conteúdos e assim sejam consequentemente recomendados.

[Shu et al. 2018] utiliza o método de Recomendação Baseada em Conteúdo (RBC) para suas recomendações. Este método recomenda materiais com base em dados que o usuário fornece, implicitamente ou explicitamente, utilizando preferências individuais para as recomendações que serão feitas ao usuário. A vantagem desta técnica é não necessitar de dados externos, por vezes fornecidos por outros usuários, para realizar a recomendação. O trabalho desenvolve um método para o melhor aproveitamento de metadados disponíveis.

[Pereira et al. 2018], [Zhu et al. 2018] utilizam métodos híbridos. [Pereira et al. 2018] desenvolve um método para recomendação não só de vídeos, mas também de outros conteúdos, porém usufrui do método híbrido para efetuar a recomendação de recursos com base em um perfil coletado de Redes Sociais. Já [Zhu et al. 2018] constrói uma ferramenta de recomendação que sugere recursos de que o usuário pode ou não levar em consideração. Com isso ele deseja descobrir o padrão de aprendizado e assim efetuar a recomendação de novos materiais constantemente. É interessante lembrar que ambos os métodos citados acima, FC e RBC, são métodos que ao iniciar suas recomendações estão parcialmente alinhados com o perfil do usuário, gerando assim recomendações não tão adequadas. A constante utilização da plataforma ou serviço que emprega esse método contribui para a predição das recomendações, gerando assim um ambiente mais alinhado com o usuário.

[Zhou et al. 2016] utiliza o método de recomendação *Context Aware* (CW), que consiste em adicionar contexto às suas recomendações, assim se adaptando para certas

situações contextuais do usuário. No seu trabalho é desenvolvido um método que é adaptável para certos conjuntos de informações e contextos, levando em conta a privacidade do usuário, um grande volume de dados e diversas variáveis futuras. Ao adicionar contextos é possível avaliar diversos estados do usuário, tornando assim a recomendação mais dinâmica na visualização dos resultados.

Já [Bhatt et al. 2018] utiliza de *Sequence Mining* (SM), que consiste em recomendar itens nos quais são avaliados como parecidos ou sequenciais de acordo com seu método, para que o estudo do usuário seja contínuo e haja materiais a serem explorados. O método utiliza de técnicas de RBC e Topic Modeling (TM). Em seu trabalho foi possível efetuar a integração entre os sistemas devido a grande adaptabilidade da estrutura das técnicas utilizadas. O estudo busca os padrões de cada vídeo para que sejam ligados com outros de outras plataformas, assim fazendo uma recomendação por meio das plataformas.

[Basu et al. 2016] e [Dias et al. 2020] utiliza o método TM para efetuar suas recomendações. TM é um método usado para lidar com vastas quantidades de informações, sendo possível organizar, procurar ou descrever tais informações. Consiste em formar conjuntos de dados, e é análogo a uma análise semântica, para que sejam identificadas padrões, e assim recomendar o mais provável e relevante conteúdo. O trabalho de [Jung et al. 2019] traz uma abordagem que também se encaixa no método utilizado pelos autores acima, traz esquemas de análise semântica e uma modelagem ao redor de tópicos. Percebe-se que essa abordagem é utilizada quando o autor pretende efetuar uma análise em uma busca pelos conteúdos, essa busca pode na maioria das vezes não levar em conta o perfil do usuário, mas sim, a pesquisa feita.

3.2. QP2: Quais variáveis têm sido exploradas para a recomendação de vídeos no processo de aprendizagem?

Os trabalhos de [Jun and Min 2015], [Zhu et al. 2018] e [Xu and Zhou 2020] analisam o tempo de visualização como uma variável, esse tipo de variável geralmente é avaliada implicitamente pelo sistema. Isso é importante pois, a mesma tende a demonstrar interesses ocultos do usuário. Já os trabalhos de [Shu et al. 2018], [Medrek et al. 2018], [Basu et al. 2016], [Bhatt et al. 2018], [Jung et al. 2019] e [Bhabad et al. 2017] utilizam ferramentas ou métodos para conseguir extrair do vídeo, metadados, palavras-chave e/ou resumos baseados em falas ou imagens apresentadas no vídeo. Existem técnicas muito conhecidas para fazer este tipo de extração, como por exemplo: Automatic Speech Recognition (ASR) e Optical Character Recognition (OCR). Este é um estilo crescente nos trabalhos avaliados, pois cada vez é mais difícil de avaliar se tal conteúdo é ou não relevante para um usuário com base em metadados como: título, palavras-chave, autor ou tempo de duração.

A pesquisa de [Mulholland et al. 2016], assim como de [Zhang et al. 2018] utilizam interfaces para obter a opinião do usuário, através de uma avaliação, e levam em consideração tais opiniões. Esta avaliação nos trabalhos apresentados é explícita. Porém, alguns trabalhos utilizam técnicas implícitas de avaliação de conteúdo, como visto no início da questão de pesquisa, quando se fala de visualização como uma variável.

3.3. QP1: Como o perfil do estudante tem sido utilizado no processo de recomendação de vídeo?

O perfil do usuário se torna muito importante quando se fala de recomendação, pois é com base nele em que serão feitas as entregas de conteúdos, a análise do perfil é feita pelo método e assim são recomendados os conteúdos. Porém nem todos os trabalhos aqui citados empregam esse método. [Basu et al. 2016] constrói um sistema de busca que tem em seu núcleo um sistema de recomendação, com base na pesquisa do usuário são exibidos os resultados para aquela pesquisa em singular.

A identificação desse perfil pode ser feita com base em suas pesquisas, conteúdos consumidos, conteúdos famosos, conteúdos semelhantes, dentre outros. O principal objetivo da definição do perfil é o real aproveitamento das informações ali presentes para a recomendação sequencial dos conteúdos.

O trabalho de [Pereira et al. 2018] emprega um método que utiliza diretamente o perfil do usuário de um ambiente externo, como uma rede social. Assim, é possível extrair dados do usuário como: interesses educacionais, contextos do usuário, interesses de usuários em comum. Com essas informações, é possível aplicar um filtro para a recomendação dos conteúdos, que torna viável a ligação dos tópicos relevantes do usuário com ele mesmo. E ao visualizar o perfil do usuário na recomendação é possível ter convicção de que a recomendação está sendo feita da maneira correta para o usuário, gerando assim algo sequencial para a aprendizagem do usufruidor.

Já [Zhou et al. 2016] leva em conta a grande quantidade de dados, a privacidade e o contexto dos usuários. O método construído também tem sua base em uma rede de usuários, que é utilizada para a extração dos dados. Variáveis como status social, idade, profissão e *hobbies* são levadas em consideração ao analisar o perfil do usuário. A recomendação dos conteúdos tem como base o perfil do usuário na plataforma, sendo assim uma estrutura de recomendação totalmente engajada com o contexto do usuário.

Percebe-se que o perfil do usuário é utilizado na intenção da recomendação sequencial dos conteúdos, tendo como foco principal o alinhamento das recomendações com o perfil e contextos atuais do usuário. Porém, nem todos os trabalhos retornados pelo protocolo da RSL levam em conta o perfil do usuário na recomendação. A busca por conteúdos por si só pode envolver um mecanismo de recomendação para o usuário, gerando assim algo personalizado e pontual para a ocasião.

3.4. QP: Como a recomendação de vídeos tem influenciado e auxiliado no processo de aprendizagem?

Este trabalho procurou apresentar como a recomendação de vídeos tem influenciado no processo de aprendizagem. Esta subseção busca responder tal questão de pesquisa com base no levantamento de outras três questões de pesquisa.

Os sistemas de recomendação têm a habilidade de influenciar o usuário na escolha de conteúdos, para que o mesmo tenha melhor aproveitamento nas suas decisões [Mulholland et al. 2016]. Através de análises é que são feitas essas recomendações, influenciando o usuário a ter acesso a um conteúdo alinhado com seus dados já registrados [Pereira et al. 2018]. É perceptível que toda essa recomendação com base em análises, traz grande benefício para o estudante, lhe proporcionando assim um estudo que seja

completamente engajado ao tema procurado. Trata-se de analisar as variáveis disponíveis, e assim formar constantemente uma linhagem de conteúdo específica para apresentar opções relevantes ao usuário, trazendo então o benefício da escolha [Medrek et al. 2018].

Desta forma, fica bem claro como a recomendação de vídeos vem influenciando os estudantes nas suas escolhas em determinados tópicos. Foi possível visualizar também o contexto na qual a recomendação é feita, a maior parte dos trabalhos apresenta a recomendação como um conteúdo adicional e não principal. E como dito na pesquisa de [Medrek et al. 2018], um sistema de recomendação não precisa sempre recomendar conteúdos certos, mas sim evitar conteúdos irrelevantes.

4. Discussões Finais

Neste artigo foi realizada uma RSL para investigar e entender melhor como a recomendação de vídeos tem contribuído no processo de aprendizagem, e também identificar os resultados já obtidos através de análises. A partir dessa pesquisa foi possível visualizar como a recomendação de vídeos tem influenciado na educação, com sugestões de vídeos que ajudam o aprendiz e melhoram o seu aproveitamento do conteúdo.

Foi possível visualizar também diferenças entre os métodos de recomendação e os contextos que cada qual se aplica, sendo os métodos FC e TM, os mais utilizados para a recomendação dos conteúdos. Os métodos trazem uma abordagem focada na recomendação de maneira geral, sem o foco real na educação. Apesar de tal fato, estes conseguem se sair muito bem como visto na recomendação para os usuários do método. É relevante ressaltar que as variáveis exploradas podem evoluir em uma combinação melhor entre as possíveis avaliações, a questão implícita foi abordada em uma quantidade menor de trabalhos e é uma variante que pode trazer vários benefícios para recomendação, como interesses específicos em vídeos que abordam grandes conceitos.

É perceptível que, apesar da grande evolução nas maneiras de recomendação, a maioria dos trabalhos se preocuparam ligeiramente com o conhecimento prévio do aprendiz. A classificação da probabilidade da recomendação do conteúdo em formato de vídeo ser vantajosa para o nível de conhecimento do aprendiz ainda é uma questão em aberto. Apesar de ambicioso, este tópico pode trazer grandes ganhos para os resultados de diversas abordagens, podendo ser adotado em ambientes virtuais de aprendizagem e sistemas tutores inteligentes.

Referências

- Basu, S., Yu, Y., Singh, V., and Zimmermann, R. (2016). Videopedia: Lecture video recommendation for educational blogs using topic modeling.
- Bezerra, S. F., Silva, S., Neto, F. M., and Silva, P. (2017). Youtubeontology: Uma ontologia do youtube para auxiliar um sistema de recomendação ubíqua de conteúdos. In *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*, volume 28, page 1787.
- Bhabad, D. T., Therese, S., and Gedam, M. (2017). Multimedia based information retrieval approach based on asr and ocr and video recommendation system. In *2017 International Conference on Current Trends in Computer, Electrical, Electronics and Communication (CTCEEC)*, pages 1168–1172. IEEE.

- Bhatt, C., Cooper, M., and Zhao, J. (2018). Seqsense: Video recommendation using topic sequence mining. In *International Conference on Multimedia Modeling*, pages 252–263. Springer.
- Dias, L., Barrere, E., and Souza, J. (2020). The impact of semantic annotation techniques on content-based video lecture recommendation. *Journal of Information Science*, page 016555152093173.
- Jun, X. and Min, W. (2015). A novel design of education video personalized recommendation system based on collaborative filtering recommendation technology. In *Ubiquitous Computing Application and Wireless Sensor*, pages 471–480. Springer.
- Jung, S., Son, M., il Kim, C., Rew, J., and Hwang, E. (2019). Video-based learning assistant scheme for sustainable education. *New Review of Hypermedia and Multimedia*, 25(3):161–181.
- Kitchenham, B. (2004). Procedures for performing systematic reviews. *Keele, UK, Keele University*, 33(2004):1–26.
- Medrek, J., Otto, C., and Ewerth, R. (2018). Recommending scientific videos based on metadata enrichment using linked open data. In *International Conference on Theory and Practice of Digital Libraries*, pages 286–292. Springer.
- Mulholland, E., Mc Kevitt, P., Lunney, T., and Schneider, K.-M. (2016). Analysing emotional sentiment in people’s youtube channel comments. In *Interactivity, Game Creation, Design, Learning, and Innovation*, pages 181–188. Springer.
- Pereira, C. K., Campos, F., Ströele, V., David, J. M. N., and Braga, R. (2018). Broad-rsi-educational recommender system using social networks interactions and linked data. *Journal of Internet Services and Applications*, 9(1):7.
- Shu, J., Shen, X., Liu, H., Yi, B., and Zhang, Z. (2018). A content-based recommendation algorithm for learning resources. *Multimedia Systems*, 24(2):163–173.
- Vieira, M. A. et al. (2016). Modelagem de espaços inteligentes pessoais e espaços inteligentes fixos no contexto de cenários de computação ubíqua.
- Xu, W. and Zhou, Y. (2020). Course video recommendation with multimodal information in online learning platforms: A deep learning framework. *British Journal of Educational Technology*, n/a(n/a).
- Yu, C. (2020). Research on the innovation and integrated development of college ideological and political work based on short video recommendation model. *Journal of Physics: Conference Series*, 1533:042038.
- Zhang, J., Zhang, Y., Wu, X., and Li, G. (2018). Teaching video recommendation based on student evaluation. In *International Conference on Cloud Computing and Security*, pages 182–190. Springer.
- Zhou, P., Zhou, Y., Wu, D., and Jin, H. (2016). Differentially private online learning for cloud-based video recommendation with multimedia big data in social networks. *IEEE transactions on multimedia*, 18(6):1217–1229.
- Zhu, H., Liu, Y., Tian, F., Ni, Y., Wu, K., Chen, Y., and Zheng, Q. (2018). A cross-curriculum video recommendation algorithm based on a video-associated knowledge map. *IEEE Access*, 6:57562–57571.

Palavrinhos do Folclore: Um Objeto de Aprendizagem para Crianças em Fase de Alfabetização

Vanessa de Andrade Formiga¹,
Jaline Gonçalves Mombach¹

¹Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia de Brasília – Campus Brasília
Setor de Grandes Áreas Norte 610 – Asa Norte – 70830-450 – Brasília – DF – Brasil

vanessandradel6@gmail.com, jaline.mombach@ifb.edu.br

Abstract. *Folklore needs to be worked in schools. However, there are few technological resources of education for this theme. Also, there are demands for children literacy learning objects. Thus, this paper proposes developing a learning object for literacy that explores the folk theme. The resource named "Palavrinhos do Folclore" has its objective to explore Folklore and children's spelling. The stages of development include literature review, studies of tools and methods, and prototyping. The results obtained after the validation showed that the tool can assist teachers in literacy and Folk theme exploration with children.*

Resumo. *O folclore precisa ser trabalhado nas escolas. Entretanto, há poucos recursos tecnológicos de educação para esse tema. Além disso, há demanda por objetos de aprendizagem de alfabetização para crianças. Assim, este artigo propõe o desenvolvimento de um objeto de aprendizagem para a alfabetização que explora o tema folclórico. O recurso chamado "Palavrinhos do Folclore" tem o objetivo de explorar o Folclore e a hipótese de escrita infantil. As etapas de desenvolvimento incluem revisão de literatura, estudos de ferramentas e métodos, e prototipagem. Os resultados obtidos após validação mostraram que a ferramenta pode auxiliar os professores na alfabetização e na exploração do tema Folclore com crianças.*

1. Introdução

No Brasil, a alfabetização está em constante debate pela população, mídia ou governantes que buscam estratégias para elevar a qualidade do ensino no país. Devido a isso, criaram-se diferentes políticas públicas ao longo dos anos. Uma dessas é a Política Nacional de Alfabetização (PNA)¹, na qual possui como objetivo melhorar a qualidade da alfabetização em todo território nacional [Brasil 2019]. Por causa dessa política, ocorreu a criação do programa de alfabetização "É Tempo de Aprender"², que busca solucionar os problemas que causam as deficiências na alfabetização. As propostas do programa discorrem sobre mais investimentos na formação de professores e gestores educacionais, aquisição de materiais e recursos para serem utilizados em sala de aula, acompanhamento do desempenho estudantil e o aumento de incentivos aos educadores [Brasil 2020].

¹Disponível em <http://alfabetizacao.mec.gov.br/>

²Disponível em <http://portal.mec.gov.br/component/content/article?id=85721>

No mesmo contexto, a Avaliação Nacional da Alfabetização (ANA)³ realizada no ano de 2016, com estudantes de 8 anos ou mais, demonstrou que 54,73% desses estudantes estavam em nível insuficiente de leitura e apenas 45,2% conseguiram alcançar o nível suficiente. De maneira complementar, na avaliação escrita, os resultados obtidos revelam que 66,15% dos examinados obtiveram nível suficiente, mas há ainda 33,95% em nível insuficiente de escrita.

Os professores têm buscado cada vez mais ferramentas que possam contribuir para o ensino e aprendizagem em sala de aula. Nessa perspectiva, emerge os Objetos de Aprendizagem (OAs), definidos como recursos empregues nos diversos ambientes de educação para auxiliar no ensino e aprendizagem [Silva et al. 2017]. De maneira mais específica, Objetos Digitais de Aprendizagem (ODAs) são materiais digitais usados no processo de ensino-aprendizagem, armazenados e disponibilizados em repositórios digitais, podendo ser utilizados e reutilizados em diversos contextos educacionais [Silva et al. 2012].

Há diversos repositórios digitais nacionais e internacionais, são exemplos: o Banco Internacional de Objetos Educacionais (BIOE) ⁴, a Coletânea de Entidades de Suporte ao Uso de Tecnologias de Aprendizagem (CESTA)⁵, o Curta na Escola ⁶, o *Multimedia Educational Resource for Learning and Online Teaching* (MERLOT) ⁷, o *Campus Alberta Repository of Educational Objects* (CAREO) ⁸ e outros. No entanto, apesar de apresentarem diferentes recursos sobre diversos temas, percebe-se a baixa disponibilidade de aplicações com temáticas folclóricas.

Segundo [Cavalcanti 2002], o termo Folclore apresenta como significado o “saber do povo”, em razão de serem criações culturais concebidas por diversos grupos da sociedade que geram conhecimentos, tradições ou costumes. Nas quais são passadas de geração a geração, por meio da narração de histórias, ensinamentos, ou relatos de experiências vividas [Reis et al. 2005]. Sendo danças, músicas, festas, brincadeiras, lendas, provérbios etc. O Folclore precisa apresentar algumas características que são aceitação coletiva, tradicionalidade, dinamicidade e a funcionalidade [Brasil 1995].

Assim, considerando o advento das novas tecnologias e o interesse das crianças por celulares, *tablets* e aplicativos, neste trabalho partimos da hipótese que a criação de um objeto de aprendizagem lúdico com foco em alfabetização inicial, pode auxiliar no ensino e aprendizagem em crianças. Além disso, pode complementar os planos de aula dos professores quando explorarem o Folclore. Logo, o objetivo geral deste trabalho é desenvolver um objeto de aprendizagem para alfabetização com esse tema. O aplicativo considera a pré-alfabetização, ou seja, foi planejado para que os professores possam também registrar hipóteses de escrita das crianças a partir do campo semântico dado.

Este artigo está organizado como segue. A Seção 2 apresenta o referencial teórico sobre Objetos Digitais de Aprendizagem (ODAs) e descreve referências sobre Folclore. A Seção 3 relata trabalhos relacionados sobre o assunto e a Seção 4 conceitua o jogo Palavrinhas do Folclore, bem como os materiais e métodos de desenvolvimento. Por fim,

³Disponível em <http://portal.mec.gov.br/component/tags/tag/36188>

⁴Disponível em <http://objetoseducacionais.mec.gov.br/#/inicio>

⁵Disponível em <http://www.cinted.ufrgs.br/CESTA/>

⁶Disponível em <http://www.curtanaescola.org.br/>

⁷Disponível em <https://www.merlot.org/merlot/>

⁸Disponível em <http://www.careo.org/>

a Seção 5 exibe os resultados preliminares obtidos e a Seção 6 discorre as considerações finais.

2. Referencial Teórico

Nesta Seção são apresentados conceitos de Objetos Digitais de Aprendizagem (ODAs) e como o seu uso pode implicar no progresso do ensino e aprendizagem, além de relatar a motivação para exploração do tema folclórico.

2.1. Objetos Digitais de Aprendizagem

Segundo [Wiley et al. 2000], Objetos Digitais de Aprendizagem (ODAs) são diversos tipos de recursos digitais reutilizados no sentido de apoiar a aprendizagem. Esses recursos podem apresentar diferentes propriedades e configurações, podendo ser imagens, vídeos, textos, animações, *software* e outros. Os ODAs possibilitam aos usuários a divisão do conteúdo em pequenas partes, viabilizando o emprego desse material em diversas etapas do processo de ensino e aprendizagem [Barroso 2009].

De acordo com Lorenzoni et al. [Lorenzoni 2013], a utilização dos objetos digitais de aprendizagem são importantes porque apresentam contribuições positivas tanto para os discentes que podem adquirir novos interesses. Como para os docentes, pois tem a possibilidade de trabalhar práticas pedagógicas variadas e com isso, o processo de ensino e aprendizagem pode tornar-se mais significativo [Nunes et al. 2014]. Através do uso desses objetos são possibilitados algumas vantagens, que são a promoção da autonomia, o estímulo da criatividade e habilidades cognitivas e o desenvolvimento do raciocínio lógico [Guterres and Silveira 2017].

Quando os ODAs são bem empregados têm o potencial de tornar a aprendizagem mais dinâmica, por causa do seu conteúdo que é formado por atividades lúdicas e contextualizadas. Visto que essa é uma das alternativas a ser trabalhada nas salas de aula, em razão de apresentarem problemas que precisam ser solucionados, essa busca por soluções permite estimular a curiosidade. Devido a isso, possuem a capacidade de favorecer a execução das tarefas propostas [Blandino 2016]. Tendo em vista que os objetos de aprendizagem (OAs) podem ter várias finalidades, uma delas pode ser apoiar o processo de alfabetização.

2.2. Folclore

Folclore pode ser definido como manifestações culturais realizadas por indivíduos ou por grupos, que representam a diversidade cultural existente nas comunidades [Wolffenbüttel 2017]. A valorização do folclore é significativa porque as suas manifestações acontecem em nosso cotidiano de várias formas, por fazerem parte das novas vidas acabam sendo incorporadas e apreciadas pela população. Por causa disso, podem contribuir na formação social dos indivíduos [Cunha and Gonçalves 2019].

Conforme a Comissão Nacional do Folclore, o folclore possui a relevância de ser um meio de aproximação dos povos e de contribuição para criações de ações de afirmação da identidade cultural dos mesmos. As manifestações folclóricas constituem valores que formam as criações culturais existentes na sociedade [Brasil 1995]

No Brasil, foi designado oficialmente um dia para as celebrações folclóricas: “Art. 1º Será celebrado anualmente, a 22 de agosto, em todo o território nacional, o Dia do

Folclore. As celebrações serão realizadas em classes da educação primária, fundamental e superior [...]”[Brasil 1965].

Existe uma variedade de comemorações folclóricas celebradas por todo o país que foram criadas no Brasil ou vieram de outros países. São exemplos dessas comemorações: carnaval, festas juninas e festas religiosas. Essas festividades são celebradas de diferentes maneiras, dependendo da região. Nas lendas, o folclore têm como personagens a Iara, o Boto-cor-de-rosa, o Curupira, entre outros.

Os estudos do folclore possuem a capacidade de contribuir tanto para a formação social e cultural dos aprendizes, como para saber respeitar as diferenças culturais [Guimarães 2017]. O folclore exerce uma função socializadora principalmente nas crianças, porque pode ajudar na construção de sua personalidade e essa socialização pode acontecer mediante a inserção de jogos, brincadeiras, leituras, narrações e estudos dos trava-línguas [Biasi et al. 2009]

Apesar do conteúdo apresenta importância e ser abordado nas escolas, o modo como acontecem a exposição deste assunto poderia ser enriquecido, por meio da inserção de instrumentos que façam com que a apresentação desse conteúdo seja apoiado por recursos lúdicos e interativos.

3. Trabalhos Relacionados

Conforme mencionado, há demanda para recursos digitais que apoiem o ensino e aprendizagem para alfabetização. Por isso, nesta Seção apresentam-se propostas já desenvolvidas para alfabetização e algumas que exploram o tema Folclore.

O trabalho criado por [Gallo 2011], o *Saber Interativo* é uma aplicação web com três níveis: (i) o pré-silábico, que solicita ao jogador escrever o seu nome ou uma palavra; (ii) o silábico, na qual trabalha com a associação de palavras do cotidiano do usuário; (iii) o alfabético, que propõe ao jogador escrever uma manchete. Uma outra proposta na área de Alfabetização [Finizola et al. 2016] é o *Achei a Palavra*, um objeto de aprendizagem colaborativo, em que os professores podem inserir conteúdo. São apresentado ao usuário uma imagem, um áudio que pronuncia o nome do objeto mostrado na imagem e as letras que precisam ser selecionadas para escrever a palavra correspondente a figura apresentada.

No meio acadêmico, as propostas com o tema Folclore são limitadas. Porém, na Google Play, loja de aplicativos Android, encontramos alguns recursos para uso educacional. O aplicativo “*Curupira-Ao Resgate*” tem como personagens o Curupira, o Saci Pererê e a Caipora. A aplicação é ambientada em uma floresta e os objetivos propostos são completar todo o percurso, soltar as aves de dentro das gaiolas e lutar contra os caçadores.

O *software “Caçadores de Lendas”* cuja o propósito é encontrar cada personagem folclórico que representa os estados brasileiros, as soluções dos mistérios são realizadas mediante a localização dos objetos citados nos depoimentos das vítimas, que representam os personagens folclóricos. O “*Na trilha do Saci*” é um *software*, na qual o objetivo é auxiliar na utilização dos “porquês”. Para que isso ocorra é preciso completar os espaços vagos nas frases apresentadas e depois escolher o local em que cada “porque” se encaixa corretamente para em seguida ser retornado o resultado com as soluções corretas e a

pontuação obtida. O aplicativo “*Saci Runner*” é um jogo, na qual o propósito é fazer com que o Saci Pererê ande pela floresta desviando dos obstáculos e dos animais, não caindo nos espaços vagos. O recurso “*Mistérios do Folclore*” cuja cenário consiste em ser uma selva e tem como jogadores a Iara protetora da floresta Amazônica e um garoto, o objetivo do jogo é ajudar com a proteção da mata, por meio da realização do recolhimento dos cristais que estão espalhados no chão e o confronto com os adversários. O aplicativo *Quem Eu Sou - Personagens Folclóricos* apresenta diversos personagens folclóricos e o seu respectivo nome separado em sílabas e o objetivo do *app* é arrastar as sílabas que está faltando para completar o nome do personagem folclórico apresentado na aplicação.

Logo após a realização da análise das ferramentas encontradas, pode observar a presença de atividade em comum, na qual solicita ao usuário escreva o nome ou uma palavra, após a exibição da imagem na tela, são utilizados outros meios para auxiliar na compreensão da imagem como os recursos de áudio. Apesar disso, observou-se que a maioria das aplicações não exploram as animações e também não exploram uma história. Por isso, foram realizadas buscas por aplicativos que abordam temas relacionados ao folclore, para verificar como ocorre a exploração desse assunto.

Em relação aos aplicativos de folclore, verificou-se que as aplicações encontradas apresentam algumas características parecidas sendo o cenário em que retratam a natureza ou nas tarefas propostas a qual solicitam que seja percorrido um trajeto. Sendo assim, foi possível constatar um déficit por pesquisas que exploram alfabetização e folclore em conjunto.

4. Palavrinhas do Folclore: Concepção e Desenvolvimento

Nesta Seção descrevem-se as etapas de concepção e desenvolvimento do objeto de aprendizagem para alfabetização “Palavrinhas do Folclore”. A partir do problema identificado, iniciou-se a etapa de revisão bibliográfica, em que escolheu-se as fontes para uso no jogo, bem como os critérios para desenvolvimento, baseado nas recomendações da literatura para o público-alvo, ou seja, crianças em fase de pré-alfabetização. Assim, depois de buscas por histórias disponíveis em domínio público, escolheu-se elaborar um protótipo de OA para Alfabetização que contextualiza a lenda do Curupira.

A história criada para essa aplicação é uma adaptação da história folclórica. Ocorreu a escolha por essa lenda uma vez que, o Curupira possui a aparência de uma criança e também por ser popular em diversas regiões brasileiras. A exploração da lenda pode acontecer de diversas maneiras, principalmente em virtude do personagem ser conhecido como protetor da mata.

4.1. Recomendações de OAs para Alfabetização

Por se tratar de um objeto de aprendizagem (OA) para alfabetização, elencou-se algumas recomendações desejáveis, seguindo os trabalhos de [Schmengler et al. 2019], [Gallo 2011], [Grando et al. 2003] e [Veneziano et al. 2013]:

- Interface Lúdica: O objeto precisa apresentar uma interface lúdica que desperte o interesse do usuário em utilizar a ferramenta.
- Instruções por voz: Dispor de recursos de áudio que conduz o jogador no decorrer da execução das tarefas.

- Botões de Navegação: Possuir botões que auxiliem durante a navegação e que sejam fixos.
- *Feedback*: Apresentar mensagens após as interações realizadas, no qual o conteúdo pode ser exibido com palavras de incentivo ou explicações sobre o tópico abordado.
- Uso de Cores Quentes: Utilizar cores quentes porque essas opções de cores podem ajudar a ter a atenção do usuário.
- Letras Maiúsculas: No caso de conter textos, dar a preferência em utilizar letras maiúsculas.
- Padrão: Interface padronizada, para que seja reduzido a quantidade de erros ocorridos durante a navegação.
- Simplicidade de texto em quantidade e qualidade: As sentenças devem ser claras e curtas.
- Uso de imagens e vídeos: Priorizar a utilização das imagens e vídeos, ao invés de textos.
- Utilizar uma linguagem visual e textual simples: Evitar o uso de termos técnicos, nomes e símbolos desconhecidos pelos usuários.
- Autonomia: O jogador deve ter autonomia para fazer o uso da ferramenta.
- Formatação Confortável: Dispor as imagens de forma com que a sua exibição seja confortável e no caso de utilizar os links realçar a cor ao invés de sublinhar o texto.
- Segmentação: O conteúdo precisa ser de fácil compreensão para o usuário.
- Uso de Desenhos e Imagens: Utilizar diferentes tipos de recursos de multimídia.
- Seleção das Palavras: As palavras apresentadas na aplicação devem fazer parte de um contexto.
- Fases: Apresentar diferentes níveis de dificuldade.
- Navegação: Permitir que a navegação aconteça de forma fácil independentemente do tamanho da tela do dispositivo.
- Animações: As animações exibidas no recurso não podem ter uma velocidade muito alta.
- Recompensa: Após a execução das tarefas permitir que sejam oferecidas ao jogador recompensas.

Depois de realizar a revisão bibliográfica em trabalhos que abordam objetos de aprendizagem e folclore, investigou-se esses temas e procurou-se saber qual a melhor forma de abordar esses tópicos em um objeto de aprendizagem para alfabetização. Em seguida, buscou-se por pesquisas que descrevem quais são os requisitos, recomendações e características que precisam estar presentes em objetos de aprendizagem (OAs) destinados a auxiliar no processo de alfabetização.

Mais adiante, ocorreu a procura por trabalhos que relatam o desenvolvimento de objetos para aprendizagem e por recursos que exploram a temática folclórica. Logo a seguir, teve o início o estudo por ferramentas e métodos que poderiam ser utilizadas para o desenvolvimento de um recurso digital. Com isso, foram escolhidas as tecnologias para serem usadas no desenvolvimento de uma aplicação web.

Considerando a facilidade que as crianças podem ter em acessar diferentes dispositivos, podendo ser os computadores, *smartphones* e *tablets*. Escolheu-se utilizar as tecnologias HTML, CSS e JavaScript e por causa dessa escolha a aplicação será responsiva. Os ícones que não foram desenhados, estão disponíveis para uso não comercial na

base Flat Icon ⁹. A etapa de prototipação iniciou com a realização de um protótipo feito em papel das telas da aplicação. Posteriormente, passaram a serem feitas utilizando as tecnologias definidas. A aplicação dispõe de áudios que foram gravados com um *smartphone* e as gravações foram editados usando o *software Audacity*.

Logo após a finalização das primeiras telas do protótipo, iniciou-se a etapa de validação através das recomendações de OA para alfabetização que mostrou que o objeto cumprir todas as recomendações. Assim, depois da validação o recurso obteve uma versão aceitável. No entanto, devido a pandemia causada pela COVID-19, os testes com os usuários não puderam ser realizados ainda, visto que as escolas permanecem fechadas.

5. Resultados Preliminares

O objeto de aprendizagem “Palavrinhas do Folclore”, consiste em ser uma aplicação que contextualiza a lenda do Curupira. O cenário do jogo constitui-se de ser uma mata com árvores, gramas e frutas, cuja o personagem principal é o Curupira. As orientações de como utilizar a aplicação e as instruções de como responder às questões propostas estão disponíveis nos áudios, para que o áudio seja reproduzido é necessário “clique” no “botão de *play*” e caso o jogador queira pausar o áudio será necessário acionar o “botão de pausa”. A aplicação contém uma página de ajuda que explica como devem ser realizado as interações, o acesso a página é realizado ao “clique” no “botão de informações”. As setas e os botões são fixos em todas as telas, a fim de facilitar a navegação pelo recurso.

A Figura 1 apresenta a tela inicial do jogo, na qual exibe o “botão iniciar jogo” que redireciona o jogador para a próxima tela. A tela de cadastro Figura 1 apresenta ícones de diferentes personagens do folclore que podem ser alterados quando ocorre o “clique”, um campo para o preenchimento do nome caso o utilizador queira se identificar não é obrigatório, após informar o nome é preciso “clique” no “botão cadastrar” para que as informações sejam armazenadas, porém no momento isso não está acontecendo somente é exibido uma saudação inicial.

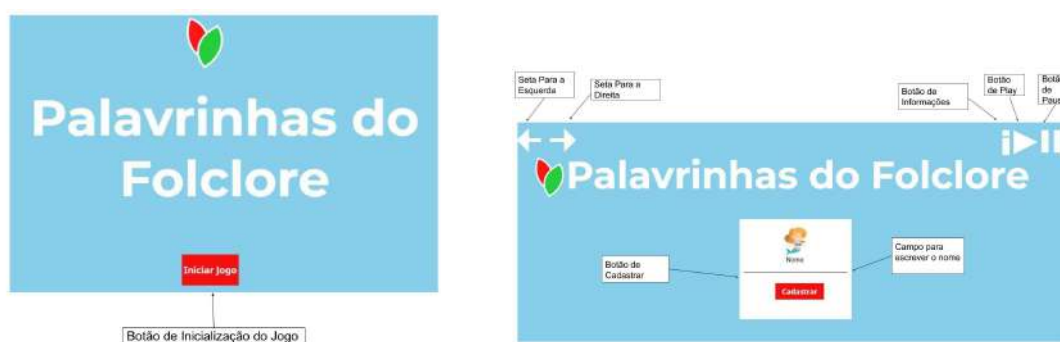


Figura 1. Tela Inicial e de Cadastro

A Figura 2 solicita a elaboração de um desenho, fazendo o uso das ferramentas de desenhar que estão disponíveis sendo o lápis para desenhar, a linha que desenha retas, o quadrado e o círculo na qual são exibidos um dessas figuras geométricas quando solicitado, o pincel usado para pintar ou escrever, o *spray* utilizado para fazer traços mais fortes, a borracha para apagar, o cavalete que limpa toda a tela, o disquete cuja função

⁹Disponível em <https://www.flaticon.com/>

é salvar o conteúdo criado e a paleta de cores na qual disponibilizar algumas opções de cores. Após a finalização do desenho é solicitado que seja acionado a seta para a direita que transfere para tela seguinte.

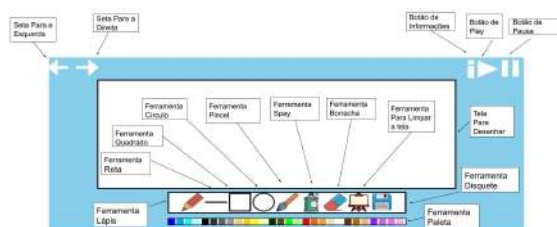


Figura 2. Tela do Primeiro Desafio

A segunda atividade mostrada na Figura 3 exibe árvores, um gramado, maçãs o objetivo dessa tarefa é escrever por extenso o número de árvores que balançam ao ser “clicadas”, a resposta deve ser escrita usando o teclado do dispositivo. A terceira tela exibida na Figura 3 apresenta o Curupira que se movimenta entre as árvores.

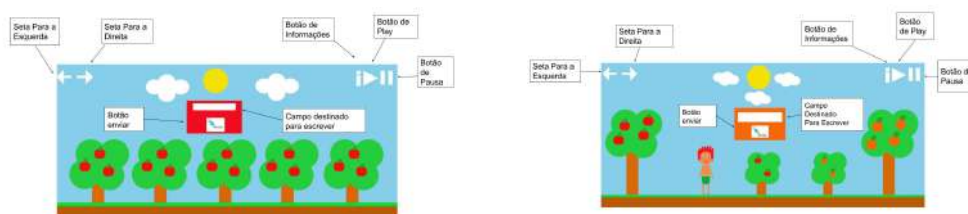


Figura 3. Tela do Segundo e Terceiro Desafio

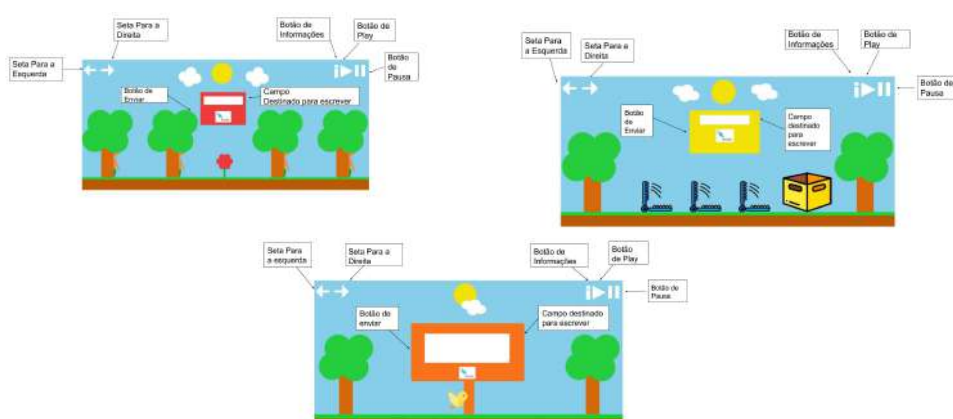


Figura 4. Telas dos Quarto, Quinto e Sexto Desafios

A Figura 4 exibe os caçadores atrás das árvores e quando o jogador “clique” na árvore o caçador desaparece e a tarefa proposta nessa tela é escrever o número por extenso de caçadores que foram encontrados. A quinta tela mostrada na Figura 4 apresenta armadilhas e uma caixa de madeira na cor amarela e o propósito dessa atividade é “clique” e arrastar as armadilhas para dentro da caixa uma por vez, depois disso é necessário escrever o nome do objeto exibido na tela e em seguida deve “clique” na seta que redireciona para o último desafio proposto. O sexto desafio exibida na Figura 4 apresenta um

pássaro amarelo, uma placa de madeira na cor laranja e o objetivo do desafio é escrever uma frase apresentada no áudio.

6. Considerações Finais

Este artigo apresentou como ocorreu o processo de concepção e desenvolvimento do objeto de aprendizagem para alfabetização com temática folclórica chamado “Palavrinhas do Folclore”, que possui o objetivo de ajudar os estudantes durante o processo de alfabetização por intermédio da realização de atividades. Por causa disso, o conteúdo presente na aplicação explora a lenda do Curupira de uma maneira diferente, possibilitando ao professor trabalhar com temas relacionados ao folclore e realizar a avaliação das hipóteses de escrita infantil, apoiada a tecnologia.

Após a validação de acordo com as recomendações de OA para alfabetização mostram que a ferramenta pode auxiliar os docentes durante o processo de alfabetização e na exploração do tema folclórico. Em relação aos trabalhos futuros serão feitas validações com turmas que estão no processo de alfabetização, também serão realizados testes com professores alfabetizadores e será feita a ampliação de novas lendas e novas palavras.

Referências

- Barroso, D. F. (2009). Construindo o conceito de função exponencial a partir dos objetos digitais de aprendizagem “torre de hanói” e “geogebra”. *Revista Eletrônica Fundação Educacional São José*.
- Biasi, L. M. et al. (2009). Escola, folclore e cultura: perspectivas políticas e pedagógicas.
- Blandino, J. F. (2016). O uso de objetos de aprendizagem como recurso de apoio às dificuldades na alfabetização.
- Brasil (1965). (decreto nº 56.747, de 17 de agosto de 1965 institui o dia do folclore.).
- Brasil (1995). Comissão Nacional de Folclore. Carta do Folclore Brasileiro, CNF. Salvador - 1995.
- Brasil (2019). Decreto nº 9.765, de 11 de abril de 2019 - institui a política nacional de alfabetização.
- Brasil (2020). Portaria nº 280, de 19 de fevereiro de 2020 institui o programa tempo de aprender, que dispõe sobre a alfabetização escolar no âmbito do governo federal.
- Cavalcanti, M. L. (2002). Entendendo o folclore. *Rio de Janeiro*.
- Cunha, A. M. V. and Gonçalves, F. W. d. A. S. (2019). O ensino do folclore na educação infantil: Sob o olhar dos professores. *Revista Internacional de Folkcomunicação*, 17(39):165–180.
- Finizola, J. S., Dantas, A., Santana, R., and Neves, T. (2016). Achei a palavra: Um objeto de aprendizagem colaborativo para apoiar a alfabetização. *RENOTE-Revista Novas Tecnologias na Educação*, 14(2).
- Gallo, P. (2011). Objetos de aprendizagem e alfabetização: a proposição de um encontro. Master’s thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

- Grando, A., Tarouco, L. M. R., and Konrath, M. L. P. (2003). Alfabetização visual para a produção de objetos educacionais. *RENOTE-Revista Novas Tecnologias na Educação*, 1(2).
- Guimarães, L. A. P. (2017). Memória, educação e folclore: O pensamento de professores folcloristas no movimento folclórico brasileiro da década de 1950. *Episteme Transversalis*, 2(1).
- Guterres, J. and Silveira, M. (2017). As principais dificuldades encontradas durante o processo de produção de objetos de aprendizagem. In *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*, volume 28, page 294.
- Lorenzoni, D. T. (2013). A importância dos objetos de aprendizagem nos anos iniciais do ensino fundamental.
- Nunes, F. B., de Moura, T. B., Hahn, C. S. R., Maria, S. A. A., and Behar, P. A. (2014). Um estudo de caso sobre a importância do uso de objetos de aprendizagem no ensino fundamental como apoio pedagógico. In *Anais do Workshop de Informática na Escola*, volume 20, page 542.
- Reis, L., Fernandes, M., Almeida, R., and Paulo, R. (2005). O folclore perto de nós: os instrumentos, as canções populares, as danças e trajes utilizados. *Revista do Departamento de Educação Física e Artística*, pages 5–16.
- Schmengler, A. R., Pavão, A. C. O., and de Oliveira Pavão, S. M. (2019). Contribuição do objeto de aprendizagem “órgãos do sentido” para alunos com deficiência intelectual. *RENOTE-Revista Novas Tecnologias na Educação*, 17(3):102–111.
- Silva, L. A. S., Sá, E., de Oliveira Neto, J. N., and Ferreira, J. (2017). Forca: Um editor de jogo educativo personalizável exportável como objeto de aprendizagem. In *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*, volume 28, page 837.
- Silva, T. R., Lima, R. W., Mesquita, H. H., Marques, C., Costa, R., and Rocha, S. (2012). O uso de teorias pedagógicas no desenvolvimento de objetos de aprendizagem. *IV Seminário Pesquisa em Educação a Distância-SEPEAD. Florianópolis-SC*.
- Veneziano, W. H., Pereira, M. H. B. E., Freire, T. G. M., and Silva, R. D. (2013). Programa participar: Software educacional de apoio à alfabetização de jovens e adultos com deficiência intelectual. In *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*, volume 24, page 477.
- Wiley, D. A. et al. (2000). Connecting learning objects to instructional design theory: A definition, a metaphor, and a taxonomy. *The instructional use of learning objects*, 2830(435):1–35.
- Wolffenbüttel, C. R. (2017). Educação e folclore: possibilidades de interlocução no âmbito escolar. *Revista da FUNDARTE*, (33):137–162.

Aplicação da Metodologia Ativa de Aprendizagem na disciplina de Fundamentos de Eletrônica do curso de Bacharelado em Ciência da Computação para se Evitar a Evasão

Sara Moreira da Silva¹, Fernando Yoiti Obana², Max Robert Marinho², Edinaldo Serra Cardoso Júnior³, Thalita Oliveira Rocha³, Lucas Kriesel Sperotto²

¹Bolsista de Iniciação Científica 2019 - UNEMAT – Campus da Universidade do Estado de Mato Grosso em Alto Araguaia – MT – Brasil

²Departamento de Computação
Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) – Alto Araguaia, MT – Brasil

³Bolsista de Iniciação Científica 2019 – Cooperação FAPEMAT/UNEMAT – Campus da Universidade do Estado de Mato Grosso em Alto Araguaia – MT – Brasil

sara.moreira@unemat.br, obana@unemat.br, max.marinho@unemat.br,
edinaldo.junior@unemat.br,
thalita.rocha.oliveira@unemat.br, sperotto@unemat.br

Abstract. *Evasion in exact sciences undergraduate courses is a problem that all higher education institutions are suffering from. This work brings the study and application of Active Learning Methodologies in the Electronics Fundamentals discipline of the Computer Science course at UNEMAT in Alto Araguaia with the objective of reducing dropout and increasing the permanence of students in this discipline, in an attempt to reduce the evasion. Two different active methodologies are used, the problem-based and the project-based, and the results were evaluated during four sequential semesters.*

Resumo. *A evasão em cursos de graduação em ciências exatas é um problema que todas as instituições de ensino superior estão sofrendo. Esse trabalho vem trazer o estudo e a aplicação de Metodologias de Aprendizagem Ativas na disciplina de Fundamentos de Eletrônica do curso de Ciência da Computação da UNEMAT de Alto Araguaia com o objetivo de reduzir a desistência e aumentar a permanência dos alunos nesta disciplina, na tentativa de se reduzir a evasão. São utilizadas duas metodologias ativas diferentes, a baseada em problemas e a baseada em projetos, e os resultados foram avaliados durante quatro semestres sequenciais.*

1. Introdução

Nos países desenvolvidos existe uma preocupação com o grande número de desistências e a falta de motivação nos cursos de ciências exatas e ciências básicas, que tem como consequência a redução de profissionais nestas área, razão suficiente para preocupar a atual geração (VALLIM et al., 2009). Atrair alunos que iniciem um curso na área de exatas e que permaneça no mesmo até sua conclusão depende muito dos docentes e da própria Instituição de Ensino Superior (IES). Para solucionar este problema algumas das soluções são projetos de pesquisa, de extensão e de ensino são elaborados, dentro das

universidades, e aulas mais atrativas são construídas pelos docentes, como tentativas de se motivar os alunos para que terminem o curso que iniciaram e sigam carreira em sua área de formação.

Apesar das melhorias, a infraestrutura educacional no Brasil é muito deficitária. Uma pesquisa feita pelo Saeb (Sistema de Avaliação da Educação Básica), divulgada pelo MEC (Ministério da Educação) em 2017 relatava a precariedade da educação básica do Brasil. O diagnóstico mostrava que a cada dez alunos do 3º ano do ensino médio, sete deles possuem um conhecimento escasso em disciplinas básicas que são o português e a matemática, (VANESSA FAJARDO E FLAVIA FOREQUE,).

O conhecimento e a aprendizagem da matemática e do português são a base para o futuro de um jovem ou de qualquer pessoa que queira entrar em uma faculdade, desejo de muitas pessoas que sonham em fazer um superior. Para aqueles que desejam seguir uma carreira ou fazer um curso em ciências exatas, mais especificadamente, realizar cursos de engenharias ou cursos tecnológicos, a matemática é muito importante, e o déficit deste conhecimento gera desistências e possivelmente evasão em massa (SILVA, 2018).

Para (CARVALHO; SANTOS; NAKAMURA; OLIVEIRA, 2019) o índice alto de evasão na área da Computação é um grande problema, tanto para o mercado de trabalho quanto para o processo de formação. O âmbito de formação profissional envolve custos financeiros e pessoais, tornando o problema mais complicado de ser resolvido, pois torna-se impossível isolar todos os fatores envolvidos, custos esses que vão desde os meios de seleção de candidatos até as metodologias de ensino e aprendizagem e gestão dos cursos.

O mercado de trabalho está em constante desenvolvimento e a era das novas tecnologias está invadindo os campos de empregos e estudos. Nota-se que dispositivos modernos estão substituindo seres humanos em ocupações menos tecnológicas, obtendo melhor desempenho e fornecendo mais facilidade para os usuários. Essa transição do mercado de trabalho nos mostra que o futuro está sendo transformado por novas invenções absorvidas pelas novas tecnologias que são desenvolvidas pelos jovens da atualidade (SILVA, 2018).

Um exemplo é o Google, uma empresa global que simplesmente se apodera desse conhecimento usando novos métodos para obter ganhos. Uma metodologia que é utilizada na empresa Google é chamada de OKR *Objectives and Key Results* (objetivos e resultados-chave), o OKR determina a maneira como a área e o indivíduo trabalham, além do Google, essa metodologia é utilizadas por diversas startups no Vale do Silício (LABS,).

Segundo (TEODORO, N. M. 2010) as atividades que os professores desenvolvem junto aos seus alunos tem uma influência crucial na evasão escolar e na frustração do aluno. Em outras palavras, as condutas pedagógicas dos professores, ou seja, o método que estão utilizando no processo de ensino trazem resultados positivos ou negativos no processo de aprendizagem do aluno. A fim de reduzir desistências e evasões e aprimorar o ensino, novas metodologias de ensino estão dominando o mercado de trabalho e as instituições de ensino, criando avanços no processo de ensino-aprendizagem. Um avanço no estudo sobre metodologias de aprendizagem resultou nas Metodologias Ativas de Aprendizagem, que favorecem a aprendizagem dos alunos e despertam a sua curiosidade, como também fornecem autonomia, fazendo com que decisões, sejam tomadas com mais facilidade, na escola e na sociedade. (BORGES; ALENCAR, 2014).

O Curso de Ciência da Computação da Universidade do estado de Mato Grosso, Campus de Alto Araguaia possui um índice de evasão e desistência alto, não somente por ser um curso de ciências exatas, mas pelas diversas características de seu corpo discente, chegando a 50% em turmas de semestres mais avançados. Assim, este trabalho propõe um estudo utilizando as Metodologias Ativas, inseridas na disciplina de Fundamentos de Eletrônica, do 3º Semestre do curso de Ciência da Computação da UNEMAT de Alto Araguaia, por meio de um projeto final da disciplina para a construção de um Circuito Oscilador com Contador de Décadas, no formato do Reator ARC dos filmes do Homem de Ferro. Utilizando-se do sucesso da série de filmes do Homem de Ferro como um dos atrativos para a disciplina o objetivo do estudo é de se avaliar o aumento de interesse dos alunos para com seu curso de graduação, com o intuito de se reduzir a evasão. Este trabalho se divide em 5 capítulos principais onde o capítulo 1 aborda a introdução deste trabalho trazendo os principais pontos a serem estudados e analisados, apresentando o objetivo da proposta; o capítulo 2 traz a conceituação sobre as metodologias de aprendizagem ativas de aprendizagem que surgiram nos últimos anos; o capítulo 3 traz a forma com que as metodologias ativas escolhidas foram utilizadas, e os materiais utilizados para a proposta deste trabalho, bem como a forma de uso dos mesmos; o capítulo 4 apresenta os resultados obtidos no decorrer dos semestre avaliados; e o capítulo 5 traz as conclusões sobre este trabalho, seguido das referências utilizadas.

2. Metodologias Ativas de Aprendizagem

Métodos tradicionais de ensino baseados em memorização são cansativos, estressantes e também desmotivadores, e como consequência desses métodos, muitos alunos se desinteressam pelo conteúdo exposto e desviam sua atenção para outros assuntos mais atrativos, que geralmente não é o conteúdo da aula (ALBRECHT; KRÜGER, 2013). As novas metodologias de ensino/aprendizagem não vieram para que as antigas práticas de ensino sejam abruptamente esquecidas ou inutilizadas. É necessário que estas novas metodologias de ensino/aprendizagem se mostrem eficientes e apresentem resultados positivos, para que possam ser amplamente utilizadas no meio de ensino.

Podendo ser definida como estratégias de ensino com enfoque na aprendizagem ativa dos alunos, as metodologias ativas podem ser classificadas em: aprendizagem por pares, aprendizagem baseada em problemas, aprendizagem baseada em projetos, sala de aula invertida, ensino híbrido, dentre outras metodologias que são tão eficazes quanto estas (LÁZARO; SATO; TEZANI, 2018).

De acordo com (MORAN, 2017), metodologias são influentes diretivas que conduzem estratégias de processos do ensino/aprendizagem com suas técnicas e abordagens diferenciadas e especificadamente concretas, complementando assim que as metodologias ativas são orientações estratégicas centralizadas efetivamente na construção do processo de ensino/aprendizagem dos estudantes de uma forma sistemática e flexível.

São diversas as maneiras com a qual aprendemos, porém se obtém técnicas e procedimentos diferentes para conseguir alcançar os resultados desejados. Segundo o psiquiatra americano William Glasser juntamente com Freire (1987), Rosso e Taglieber (1992), destacam que a aprendizagem somente será significativa quando a prática pedagógica que foi implantada a tempos, deixar de ser um processo passivo onde o

docente é o protagonista com suas didáticas de memorização e aplicação de avaliações, sendo que o aluno é quem deveria ser o principal agente do processo de ensino/aprendizagem. Em sua pesquisa, William Glasser reforça ainda com mais ênfase a ideia do uso da diversificação metodológica do processo ensino/aprendizagem sendo esses métodos mais efetivos. (SILVA, 2019).

Na Figura 1 é possível observar que William Glasser desbravou os métodos de aprendizagem mais eficazes e conseqüentemente os menos eficazes, gerando um esquema que avalia a veracidade dos métodos de ensino/aprendizagem.



Figura 1. Pirâmide da aprendizagem.

Fonte: <https://recto.com.br/download/recto-descomplicando-a-aprendizagem.pdf> (Acessado em 25 de agosto de 2020).

Dentre as metodologias ativas existentes, foram utilizadas para este trabalho a metodologia de Aprendizagem Baseada em Projetos (*Project-Based Learning*) e Aprendizagem Baseada em Problemas (*Problem-Based Learning – PBL*), que são uma classificação de aprendizagem colaborativa, tendo em vista que o ensino superior, mesmo presencial, possui ricas ações significativas para a aprendizagem com as metodologias ativas e colaborativas. (OLIVEIRA et al., 2015)

A aprendizagem baseada em projetos desenvolvida por John Dewey (1859-1952), defende a capacidade de pensar “mediante o aprender a fazer” e diferente da forma tradicional, essa metodologia promove um vínculo entre o aluno e a aprendizagem. Essas atividades são elaboradas em torno de um problema relevante cujo principal objetivo é obter um produto final, por meio de decisões, pesquisa, pensamento crítico criativo e habilidades, com a finalidade de construir algo novo e criativo no processo ou no resultado (LÁZARO; SATO; TEZANI, 2018).

A aprendizagem baseada em problemas surgiu na década de 1960 no Canadá na universidade McMaster, e também na universidade Maastricht situada na Holanda, inicialmente em escolas de medicina, apesar de ser usada também em outras áreas de conhecimento como Computação, Engenharias, dentre outras (MORAN, 2017).

Caracterizada como uma metodologia estratégica, dá ao aluno a possibilidade de trabalhar em prol da resolução de um determinado problema, de maneira que o agente principal e total responsável por seu aprendizado passa ser o aluno. Diante disso o professor torna-se responsável por elaborar a tarefa e propor problemas, dos quais os alunos ficam responsáveis pela busca de novas soluções e do conhecimento para resolvê-los. Portanto essa proposta caminha em direção a formação de um discente autônomo, capaz de trabalhar individualmente e em grupo, buscando soluções adequadas para o problema e desenvolvendo novas habilidades (LÁZARO; SATO; TEZANI, 2018).

De acordo com (GEWEHR et al., 2016), essas metodologias permitem a inserção de novos elementos nas aulas, mostrando um grande potencial na indagação e despertando a curiosidade dos alunos, além de trazer novas perspectivas de ensino ao professor. Como prerrogativa dos métodos ativos, os alunos acabam desenvolvendo maior confiança na tomada de decisões, maior engajamento e persistência de presença nas aulas, além de uma melhora expressiva na comunicação oral e na escrita.

3. Métodos e Materiais Utilizados

Nesta seção será abordado a forma com as metodologias de aprendizagem de aprendizagem foram utilizadas e aplicadas na disciplina de Fundamentos de Eletrônica e os materiais necessários para a construção do Reator ARC.

3.1 Aplicação das Metodologias Ativas

A metodologia ativa de aprender baseando-se em projetos propõe que os alunos analisem um problema e tentem resolvê-lo, chegando assim a uma solução, individual ou em grupo, dando independência ao aluno à finalização de um projeto proposto. Para alcançar a conclusão do projeto é utilizada outra metodologia ativa de aprendizagem, a metodologia ativa baseada em problemas, que faz com que o aluno produza seu próprio conhecimento conceitual e procedimental por meio de pequenos problemas propostos, expondo o aluno a situações mais motivadoras. Esta metodologia, diferentemente da metodologia ativa baseada em problema, tem seu foco na parte teórica na resolução de casos.

Os conteúdos utilizados para a disciplina de Fundamento de Eletrônica, que são referência para o entendimento do principais conceitos para o desenvolvimento deste trabalho, estão disponibilizadas no site <https://sites.google.com/site/fyobana/material/fe>. Os conteúdos abordados encontram-se de acordo com o currículo de referência da SBC para um curso de Ciência da Computação para uma disciplina que aborda temas relacionados a sistemas e circuitos digitais. A proposta de construção do Reator ARC foi originalmente adaptada do site TecMundo, que apresenta a estrutura do esquema do Reator ARC para a construção do tal, podendo ser encontrado em: <https://www.tecmundo.com.br/area-42/37338-area-42-como-fazer-o-reator-arc-do-homem-de-ferro-video-.htm>.

Seguindo o modelo de aprendizagem baseado em problemas, a sala era dividida por grupos de alunos e as aulas teóricas eram mínimas, apresentando os conteúdos por pequenos blocos, com listas de exercícios periódicas que iam da explicação dos componentes necessários para a resolução da mesma, até pequenos problemas eletrônicos

para serem construídos. Todos os conceitos envolvidos estavam ligados à execução do projeto final para a elaboração do Reator ARC, que segue o modelo de aprendizagem ativa baseada em projetos. Após a conclusão de 5 listas de exercícios contendo um conteúdo autoexplicativo sobre como funcionam os componentes básicos a serem aprendidos é iniciada a construção do circuito eletrônico do Reator ARC. O circuito a ser desenvolvido se encontra nas experiências práticas 6, 7 e 8.

As aulas teóricas ministradas são de aproximadamente 10% da carga horária da disciplina (6 horas de 60 horas), e então os alunos são encaminhados ao laboratório de Eletrônica e Sistemas Embarcados (LESE), onde ocorre todo o desenvolvimento prático das listas de exercícios propostas e do projeto final do Reator ARC. No LESE encontra-se, também, a realização do projeto de Reciclagem e Reutilização de Equipamentos eletroeletrônicos - PRREE (SANTOS, 2018), que já ocorre a mais de 5 anos na instituição, onde situam-se os dispositivos eletroeletrônicos como protoboard, resistores, transistores, diodos, circuitos integrados (CIs), multímetros, entre outros.

Esses alunos ficam sempre sob a supervisão do professor responsável durante as aulas lecionadas nesse laboratório e também com a ajuda de seus monitores. Essas atividades são determinadas para serem executadas em duplas, e é necessário a confecção de um relatório para cada atividade (listas de exercícios). Por meio destes relatórios que o docente responsável pela disciplina pode avaliar o aprendizado dos alunos.

3.2 CI NE555

O CI NE555 é um componente comumente utilizado na eletrônica pelos seus benefícios, tais como baixo custo e de fácil utilização, apresentado na Figura 2 com as representações do circuito integrado e de seu modelo esquemático. Também conhecido como oscilador ou temporizador, o NE555 capaz de gerar um *clock* na sua saída variando de microssegundos até minutos, que pode ser ajustado por meio de um potenciômetro, que de acordo com a variação de sua resistividade pode regular a velocidade com que o capacitor de temporização carrega/descarrega. Além dessas aplicações, o NE555 contém três modos de operação que são monoestável, estável e biestável (DE LIMA, 2011).

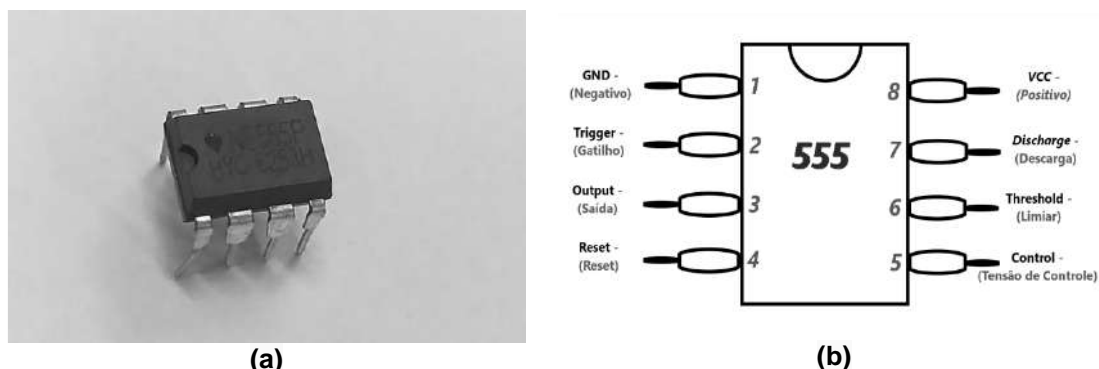


Figura 2. CI NE555 – (a) Circuito integrado – (b) Diagrama Esquemático

Fonte: (a) Próprio autor – (b)

<https://www.renesas.com/br/en/www/doc/datasheet/icm7555-56.pdf>

Possuindo 8 pinos, apresentado em invólucro DIL, o NE555 possui alimentação que pode ser feita com tensões entre 5 e 18 V, onde cada pino possui uma função específica, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Denotação da funcionalidade dos pinos do Circuito Integrado NE555

Pinos	Funcionalidades
1	Funciona como o GND, chamado de Terra
2	<i>trigger</i> , gatilho que ativa o modo biestável
3	Saída de dados
4	Função <i>Reset</i> onde se pode reestabelecer dados
5	Controle de tensão
6	Desativa o modo biestável interno e a saída, quando estiver $\frac{2}{3}$ da tensão VCC
7	Utilizado para descarregar um capacitor
8	Alimentação positiva

Fonte: Adaptado de (De LIMA, 2011).

3.3 CI CD4017

O circuito contador de décadas 4017, é apresentado na Figura 3 com as representações do circuito integrado e de seu diagrama esquemático, com características que permitem sua conexão com outros CIs, como o NE555. É um CI de fácil manipulação e compreensão, onde uma de suas utilizações é como um sequenciador, onde é capaz de se realizar uma sequência de ligamento/desligamento de luz (BRAGA, 2017). Possuindo 16 pinos, apresenta alimentação de 3 a 15 V apresentado em invólucro DIL, onde a funcionalidade de cada pino é apresentada na Tabela 2.

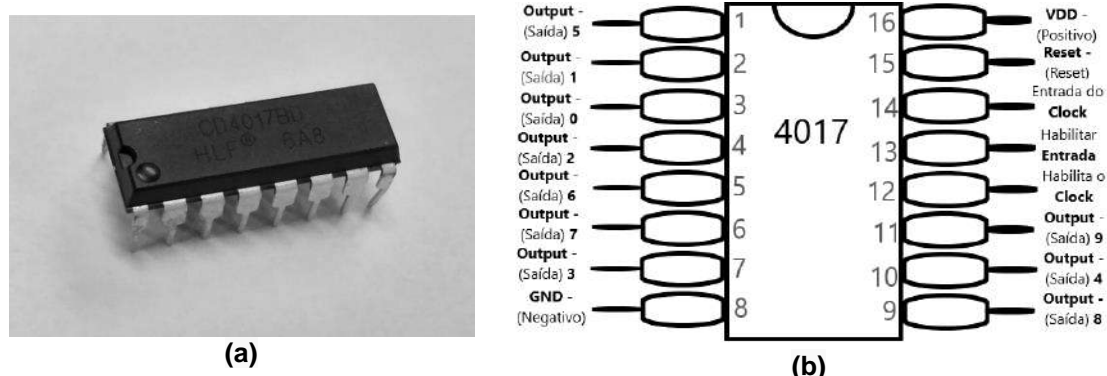


Figura 3. CI CD4017 – (a) Circuito integrado – (b) Diagrama Esquemático.

Fonte: (a) Próprio autor – (b)

<https://www.renesas.com/br/en/www/doc/datasheet/cd4017bms-22bms.pdf>

Tabela 2. Denotação da funcionalidade dos pinos do Circuito Integrado 4017.

Pinos	Funcionalidades
1-8, 9-11	Saídas de dados
8	Porta GND, comumente chamada de Terra
12	Executa
13	Habilita o <i>clock</i>
14	Entrada do <i>clock</i>
15	<i>Reset</i> para se reestabelecer os dados
16	Alimentação positiva

Fonte: Próprio autor.

3.4 Construção do Reator ARC

O circuito a ser desenvolvido na 6ª experiência prática é demonstrado na Figura 4. Neste exercício o aluno iniciará a construção da primeira parte do reator, que se refere a um oscilador com frequência variável.

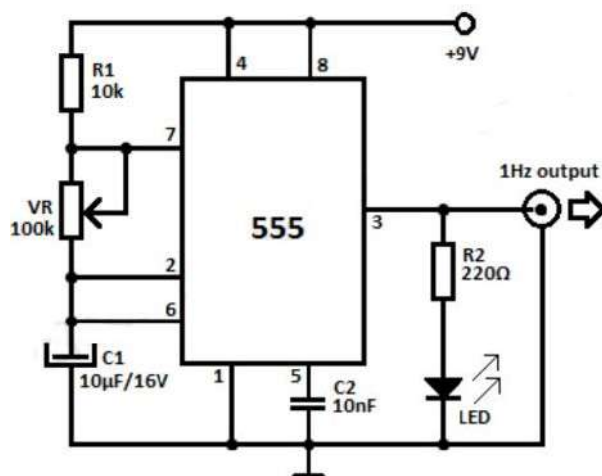


Figura 4. CI NE555 como Oscilador.

Fonte: <https://drive.google.com/file/d/0B-vs7kVD3ipMREtCeGdPbWdnMTQ/view>.

Terminada a 6ª experiência, inicia-se a prática da 7ª experiência, como um circuito complementar ao oscilador (Figura 4), que completa o circuito eletrônico do Reator ARC. O projeto do circuito digital do oscilador com frequência variável juntamente com o CI CD4017 é apresentado na figura 5, e o projeto da placa de circuito impresso é apresentado na Figura 6. Na Figura 5 cada uma das dez saídas do CI CD4017 é conectada a um LED, e a saída D1 é conectada a outro LED. O CI NE555 serve como um oscilador de frequência para os pulsos de *clock* que servirão de entrada para o CD4017 o qual, a partir de um potenciômetro no NE555 se varia a frequência com que os pulsos serão enviados ao CD4017 aumentando ou não a frequência com que cada LED ativa/desativa.

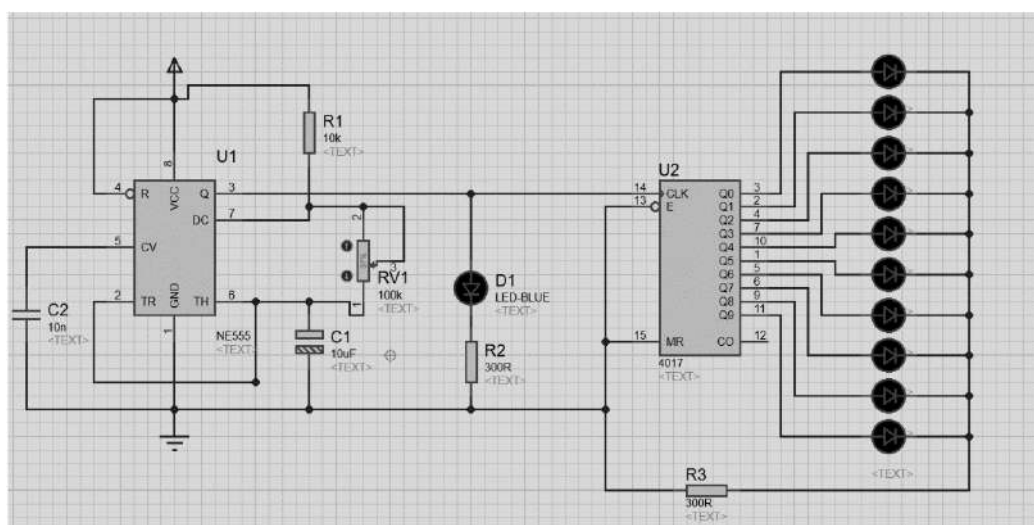


Figura 5. Projeto de circuito lógico para a combinação do CI NE555 conectado ao CI CD4017.

Fonte: <https://drive.google.com/file/d/0B-vs7kVD3ipMM2I5R0xFSXIRZEK/view>.

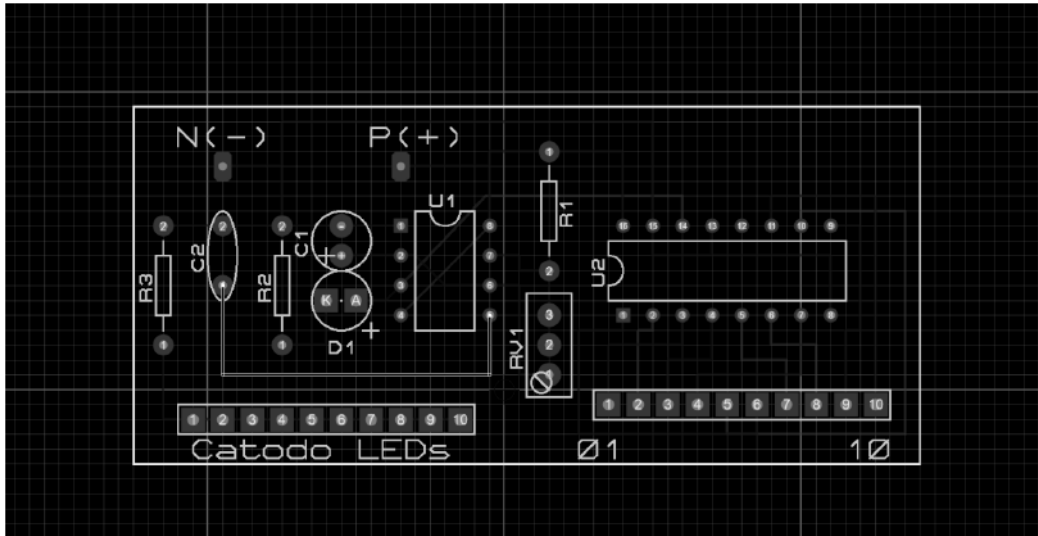


Figura 6. Projeto da placa de circuito impresso para a combinação dos CIs NE555 com o CI ND4017.

Fonte: <https://drive.google.com/file/d/0B-vs7kVD3ipMM2I5R0xFSXIRZEK/view>.

Parte-se então para a prototipagem do projeto da placa de circuito impresso, apresentado na Figura 6. A 8ª e última experiência é a prototipagem e testes do Reator ARC das combinações dos circuitos, apresentada na Figura 7. A Figura 7 exibe todos os componentes utilizados pelas Figuras 5 e 6 já com a adição dos LEDs para a iluminação do reator ARC. Nota-se à esquerda da Figura 7 um pequeno círculo formado por 10 LEDs, os quais são iluminados sequencialmente com a velocidade controlada por um potenciômetro, e o LED mais a direita é a iluminação central do reator que sempre fica ativa.

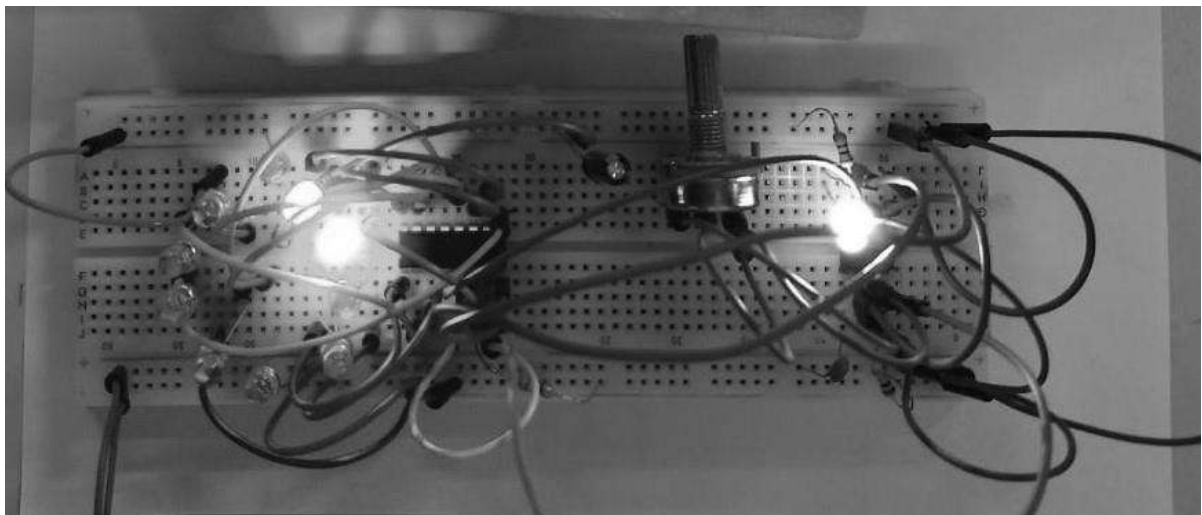


Figura 7. Prototipagem do Reator ARC.

Fonte: Próprio autor.

Como o LESE não possui uma fresa para construir placas de circuito impresso, a prototipagem da Figura 7 foi construída utilizando-se placas ilhadas. A placa ilhada e os circuitos são inseridos dentro de um cap de PVC de 100mm, onde se cola em suas bordas internas um tubo de cola quente grosso. Este tubo de cola quente possui furos, embaixo, igualmente espaçados, para conter a mesma quantidade de LEDs a serem iluminados sequencialmente (Figura 7). No meio do Reator se posiciona uma capa meio translúcida

onde se posicionará o LED central, e a fonte de alimentação é posicionada externamente para uma bateria de 9V. As demais adições como o desenho central do reator e adereços ao tubo de cola quente que irá piscar sequencialmente os LEDs são meramente à escolha de cada aluno utilizando de sua criatividade. A Figura 8 apresenta dois modelos de Reator ARC finalizados.

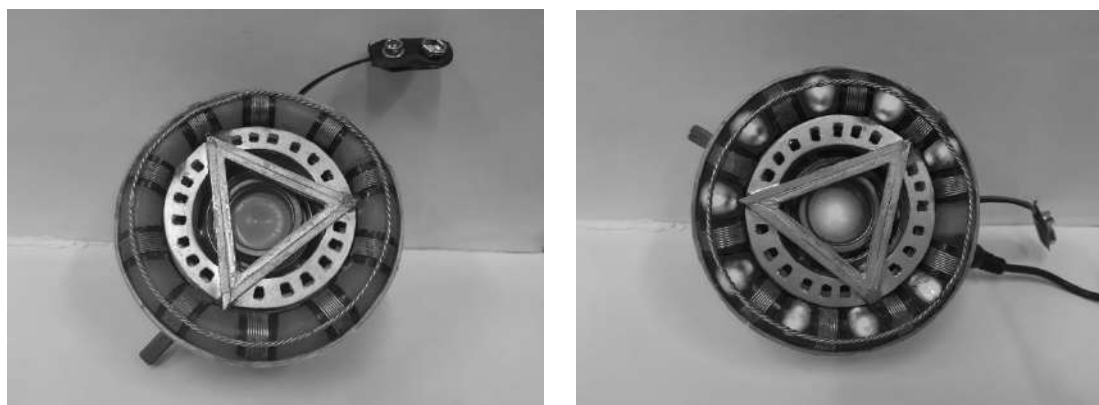


Figura 8. Modelos de Reator ARC finalizados.
Fonte: Próprio autor.

4. Resultados e Discussões

A disciplina de Fundamentos de Eletrônica deu-se início no primeiro semestre de 2015 (2015/1), mas a inserção da proposta de desenvolvimento do Reator ARC deu-se início em 2017/1. Por meio de acesso a dados da Supervisão Acadêmica da UNEMAT do Campus de Alto Araguaia se construiu um gráfico de desistências e permanências de alunos na disciplina de Fundamentos de Eletrônica desde seu início em 2015/1, até a última aquisição realizada que foi em 2019/1. Este gráfico é apresentado na Figura 9.

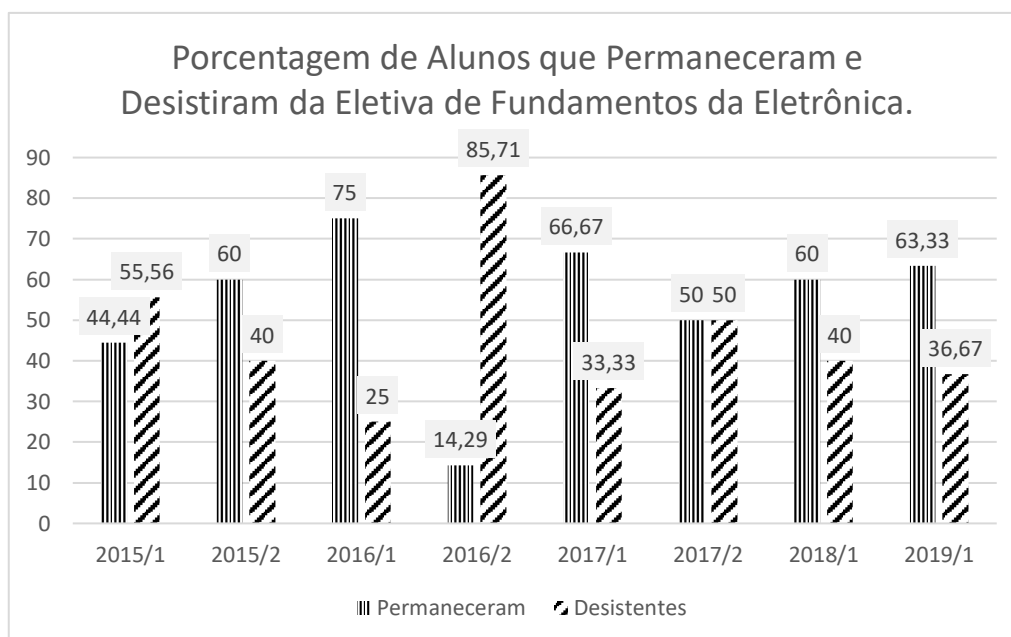


Figura 9. Gráfico de permanência/desistência de alunos na disciplina de Fundamentos de Eletrônica.
Fonte: Próprio autor.

Avaliando a Figura 9 de 2015/1 até 2016/2, onde o projeto de desenvolvimento do Reator ARC ainda não tinha sido iniciado, a média da taxa de desistências foi de 51,39%, e de 48,43% para a permanência. Após a inserção do projeto de elaboração do Reator ARC em 2017/1 até 2019/1 a média das taxas de desistência caíram para 40% e a de permanência subiu para 60%. Uma das razões principais deste estudo foi a grande desistência em 2016/2 que atingiu acima de 80%. A partir de 2017/2 o crescimento gradativo de permanência dos alunos nesta disciplina mostrou que a proposta de utilização de metodologias ativas de aprendizagem obteve um grande sucesso no quesito de redução de desistências, pelo menos para esta disciplina.

No trabalho de (CARVALHO; SANTOS; NAKAMURA; OLIVEIRA, 2019) uma avaliação muito próxima foi realizada. Foram avaliados alunos formados e desistentes dos sexos masculino e feminino para os cursos de Ciência da Computação, Engenharia da Computação e Engenharia de Software da UFAM entre 2012 e 2017. Os números foram alarmantes, com mais de 60% de desistência para os homens e mais de 13% para as mulheres. Um dado muito interessante apresentado pelos autores foi de que o desempenho acadêmico no 1º período letivo é um bom estimador do coeficiente de rendimento e taxa de aprovação nas disciplinas seguintes. Como dito anteriormente, as causas para estes números são complicadas que vão de gastos financeiros à gestão universitária e metodologias de ensino aplicadas. Seguindo o mesmo preceito de (CARVALHO; SANTOS; NAKAMURA; OLIVEIRA, 2019) a disciplina escolhida não era do primeiro semestre letivo, mas era dos semestres iniciais do curso de Ciência da Computação.

A redução de evasão de uma disciplina indica que o procedimento de ensino aprendizagem funcionou para aquela determinada situação. Este tipo de trabalho poderia ser replicado para outras disciplinas, mas não necessariamente ter-se-ia o mesmo índice de sucesso, pois temos as particularidades de cada disciplina e de cada docente. Mesmo assim o resultado alcançado melhorou os índices de evasão/permanência de alunos no curso.

As metodologias ativas de aprendizagem utilizadas mostraram ser bastante eficientes para o processo de ensino-aprendizagem dos alunos, pois percebeu-se um maior empenho em se aprender, e para isso buscavam o conhecimento e relatavam o que aprenderam através de seus relatórios. Como era de se esperar das metodologias ativas de aprendizagem, este maior empenho e motivação acarretou em uma excessiva troca de informações entre diferentes grupos de experimentos, mostrando um maior engajamento dos alunos para com a disciplina e conceitos envolvidos.

5. Conclusão

Duas metodologias de aprendizagem ativas foram utilizadas, sendo por projetos e por problemas, na disciplina de Fundamentos de Eletrônica do 3º semestre do curso de Ciência da Computação da UNEMAT no Campus de Alto Araguaia. A principal razão para a utilização destas metodologias ativas foram os altos índices de evasão do curso, e da disciplina, como ilustrado pela Figura 9.

Esta nova abordagem, trazendo elementos interessantes como o tema do Homem de Ferro, trouxe uma melhor interação e motivação para os alunos aumentando o índice de permanência destes alunos na disciplina, reduzindo o índice de desistência da mesma,

e possivelmente do curso. Este estudo mostrou um bom resultado na forma com que foi inserido, ou seja, em uma determinada disciplina de um determinado curso. Novos estudos podem ser realizados a fim de estender a utilização destas novas metodologias de ensino-aprendizagem em outras disciplinas do mesmo curso, tornando-o mais atrativo e consequentemente reduzindo-se os índices de evasão.

Claro, como explicado anteriormente, a forma de ensino-aprendizagem não é a única solução para a redução da evasão. Existem outros elementos que provocam evasão e não estão atrelados necessariamente a metodologias educacionais empregadas em uma disciplina. O perfil socio-econômico, o acesso do aluno aos programas de bolsas, recursos disponibilizados tanto pela universidade quanto pela própria cidade para que esse aluno venha se sentir atraído e também ache-se envolvido trazendo sua permanência e êxito, além da adequação dos conteúdos da disciplina ao perfil do curso e do egresso, são fatores que se não bem preparados e avaliados fazem com que a evasão de um curso superior cresça.

Referências

ALBRECHT, L. D.; KRÜGER, V. Metodologia tradicional x Metodologia diferenciada: a opinião de alunos. **Revista Unijuí, Ijuí**, n. 33, 2013.

BORGES, T. S.; ALENCAR, G. Metodologias ativas na promoção da formação crítica do estudante: o uso das metodologias ativas como recurso didático na formação crítica do estudante do ensino superior. **Cairu em revista**, v. 3, n. 4, p. 119–143, 2014.

BRAGA, N. C. **Eletrônica Analógica**. [s.l.] Editora Newton C. Braga, 2016.

BRAGA, N. C. **O Circuito Integrado 4017**. [s.l.] Editora Newton C. Braga, 2017.

GEWEHR, D. et al. Metodologias ativas de ensino e de aprendizagem: uma abordagem de iniciação à pesquisa. **Ensino & Pesquisa**, v. 14, n. 01, 2016.

LABS, S. D. **Os 4 pilares da metodologia de trabalho do Google**. Disponível em: <<https://www.startse.com/noticia/empreendedores/10681/os-4-pilares-da-metodologia-de-trabalho-do-google>>. Acesso em: 17 set. 2019.

LÁZARO, A. C.; SATO, M. A. V.; TEZANI, T. C. R. Metodologias ativas no ensino superior: o papel do docente no ensino presencial. **CIET: EnPED**, 2018.

MORAN, J. Metodologias ativas e modelos híbridos na educação. **S. YAEGASHI e outros (Orgs). Novas Tecnologias Digitais: Reflexões sobre mediação, aprendizagem e desenvolvimento**. Curitiba: CRV, p. 23–35, 2017.

OLIVEIRA, L. R. de et al. Metodologias ativas de ensino-aprendizagem e suas convergências com as Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação. 2015.

SILVA, R. dos S. da. A neurociência como ferramenta para o ensino de ciências e biologia. 2019.

SILVA, S. M. Motivando crianças e jovens em ciência exatas, para um futuro brilhante. 2018. Disponível em: <<https://drive.google.com/drive/folders/1o9UiRnoKVixbtvWbkU3-fkCR84mvJbs5>>.

TEODORO, N. M. Metodologia de ensino: Uma contribuição pedagógica para o processo de aprendizagem da diferenciação. **Metodologia de ensino: Uma contribuição pedagógica para o processo de aprendizagem da diferenciação**, p. 22, [s.d.]

VALLIM, M. B. R. et al. Incentivando carreiras na área tecnológica através da robótica educacional. **Anais Do**, v. 37, 2009.

VANESSA FAJARDO E FLAVIA FOREQUE. **7 de cada 10 alunos do ensino médio têm nível insuficiente em português e matemática, diz MEC**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/educacao/noticia/2018/08/30/7-de-cada-10-alunos-do-ensino-medio-tem-nivel-insuficiente-em-portugues-e-matematica-diz-mec.ghtml>>. Acesso em: 12 jun. 2019.

Cubo LED 3D 4X4X4

**Thalita Oliveira rocha¹, Sara Morais Pereira², Edinaldo Serra Cardoso Junior¹,
Fernando Yoiti Obana³, Max Robert Marinho³**

¹Bolsista de Iniciação Científica (FAPEMAT/UNEMAT) - Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) - Alto Araguaia – MT – Brasil.

²Bolsista de Iniciação Científica (CNPQ/UNEMAT) - Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) - Alto Araguaia – MT – Brasil.

³Departamento de computação – Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) - Alto Araguaia – MT – Brasil.

thalita.oliveira.rocha@unemat.br ; sara.moreira@unemat.br ;
edinaldo.junior@unemat.br; obana@unemat.br ; max.marinho@unemat.br

Abstract. *This article presents a construction of an electronic device controlled by software that drives 64 LEDs arranged in a three-dimensional 4x4x4 matrix as an approach to motivate students of a Computer Science course in disciplines related to Electronics and Embedded Systems using Active Methodology and Problem-Based Learning Tool (PBL). For the construction of the LED cube, the Arduino prototyping board was used as recyclable or easily accessible materials at low cost. The direct method of exploratory research with a laboratory approach was used. The script for the construction of the Led Cube and the results obtained in the classroom are informed.*

Resumo. *Este artigo apresenta a construção de um dispositivo eletrônico controlado por software que aciona 64 LEDs dispostos em uma matriz tridimensional de dimensão 4x4x4 como abordagem para motivar alunos de um curso de Ciência da Computação nas disciplinas relacionadas a Eletrônica e Sistemas Embarcados com uso da Metodologia Ativa e da Ferramenta de Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP). Para a construção do cubo de LEDs foram utilizados materiais recicláveis ou de fácil acesso e baixo custo em conjunto a placa de prototipagem Arduino. Foi utilizado o método de pesquisa exploratória com abordagem direta em laboratório. São apresentados o roteiro para a construção do Cubo Led e os resultados obtidos em sala de aula.*

1. Introdução

A crescente evolução da tecnologia no Mundo faz com esta esteja presente em todas as atividades de nosso cotidiano. O uso massivo das tecnologias no dia-a-dia fez com que muitas escolas e universidades optassem pelo uso das tecnologias, juntamente com a educação, no intuito de obter vantagens como o aumento da interação entre alunos em sala de aula. O uso das tecnologias educacionais vem para melhorar o processo de

ensino aprendizagem trazendo novos elementos para o desenvolvimento da aprendizagem (Corsatto e Hoffman, 2016). Porém, no Brasil ainda não é tão comum a utilização das tecnologias educacionais em sala de aula devido à fatores como falta de formação de profissionais qualificados na área tecnológica que atuem na área educacional, e falta de recursos financeiros, acabando por limitar as instituições de integrarem a tecnologia como um artifício de aprendizagem e até mesmo de formação ou especialização (ZILLI 2002).

Uma pesquisa realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (GOMES, 2018), em 2016, indica que o Brasil fechou o ano com 64,7% da população acima de 10 anos tendo acesso à internet (GOMES, 2018). Isso mostra o quanto a tecnologia está presente na vida de mais da metade da população brasileira. Esta informação também mostra o quanto a escola vem se tornando ultrapassada e antiquada. Para os alunos o local de aprendizagem é monótono, uma vez que a realidade fora da escola é muito mais atraente e divertida. Como consequência tem-se o desinteresse dos alunos pela escola, visto que suas realidades em casa são mais interessantes (Obana *et al.*, 2018).

A Robótica Educacional (RE) vem como um novo recurso educacional para aumentar os índices de interesse dos alunos por suas atividades de estudo por meio de uma metodologia de ensino com recursos didáticos-tecnológicos, que possibilita aos estudantes desenvolver habilidades e conhecimentos nesta área (Silva, 2018). A RE é uma área de ensino da tecnologia dedicada a sistemas de processamento compostos por peças mecânicas automáticas e controlados por circuitos integrados, de forma que os sistemas eletromecânicos sejam controlados automaticamente por circuitos, reunindo três elementos bases, a mecânica, a eletrônica e a programação.

A Robótica pode ser definida como “a ciência dos sistemas que interagem com o mundo real com pouca ou mesma nenhuma intervenção humana” (Ars Consult, 1995). O Dicionário Interativo da Educação Brasileira (2004) afirma que RE é um termo utilizado para caracterizar ambientes de aprendizagem que reúnem materiais de sucata ou kits de montagem compostos por peças diversas, motores e sensores controláveis por computador e softwares, permitindo programar, de alguma forma, o funcionamento de modelos.

A história da robótica tendo com foco na área da educação, teve início com Seymour Papert (Meira *et al.*, 1993). Quando os computadores ainda ocupavam espaços enormes e tinham um custo de manutenção elevados, Papert sugeriu que os computadores fossem utilizados como ferramenta para potencializar a aprendizagem e a criatividade das crianças, mas foi ignorado. Papert via o computador como um meio de atrair a atenção das crianças e assim facilitar o seu processo de ensino aprendizagem ("Constructionism", 1991). Um de seus trabalhos foi uma tartaruga de solo, um robô programado pela linguagem LOGO, que que os alunos utilizavam para fazer figuras geométricas através da programação de computador (Papert, 1985).

Influenciado pelas ideias de Jean Piaget, com quem trabalhou na Universidade de Genebra, Papert desenvolveu a teoria do Construcionismo, um processo de aprendizagem que ocorre por meio da realização de uma ação concreta, que resulta em um produto palpável (Meira *et al.*, 1993), considerando que ela se dá por meio da criação, reflexão, depuração das ideias, interação, e que se deve considerar os interesses

e habilidades de cada membro. Essa visão tem influenciado diversas escolas no Brasil e incentivado a adoção de metodologias e disciplinas que trabalham esse processo de aprendizado, como é o caso da robótica, ora tratada como meio de ensino, ora como um objeto de aprendizagem (Ouchana, 2015).

Nas últimas décadas, diversas metodologias educacionais vêm sendo desenvolvidas, dentre elas encontram-se as metodologias de ativas de aprendizagem. A metodologia ativa de aprendizagem é uma idealização educativa que estimula os processos construtivos dos estudantes, fazendo com que eles tenham uma postura ativa em relação ao seu aprendizado por práticas de experiências por intermédio de problemas que sejam desafiantes e que permita que eles possam descobrir respostas que possam ser aplicáveis à realidade (Santos *et al.*, 2013). Este tipo de metodologia está sendo muito utilizada na formação e qualificação de profissionais da área da saúde, voltada à associação de estudos e prática. Ao introduzir as metodologias ativas de ensino aprendizagem na prática do docente, o professor torna-se mais competente nos cenários de aprendizagem (Cardoso e Obana, 2018).

Segundo Zilli (Zilli, 2004), a RE pode desenvolver as seguintes competências: raciocínio lógico; habilidades manuais e estéticas; relações interpessoais e intrapessoais; ser capaz de organizar suas ideias a partir de uma lógica mais sofisticada de pensamento; ser capaz de organizar suas ideias a partir de uma lógica mais sofisticada de pensamento; selecionar elementos que melhor se adequem à resolução dos projetos entre outras. Infelizmente os projetos com RE são iniciativas isoladas elaboradas principalmente por unidades independentes (Guedes, Guedes e Castro, 2013).

O termo lixo eletrônico ou e-lixo, refere-se ao descarte dos aparelhos eletrônicos, como computadores, aparelhos celulares, televisores entre outros (SILVA, J. R. N., 2010). Conforme afirma Mattos (Schluep e l'environnement, 2009), a área da informática não era vista como uma indústria poluidora, mas, com os avanços tecnológicos e a diminuição do tempo de vida desses equipamentos, surgiu o lixo eletrônico. O e-lixo como afirma Silva (SILVA, J. R. N., 2010) destaca que a preocupação ambiental em relação à disposição inadequada do e-lixo ocorre devido à liberação de substâncias tóxicas que podem causar sérios impactos à natureza.

Uma das dificuldades que acompanha esta tecnologia é o descarte incorreto de eletrônicos. Grande parte da população não sabe realizar o descarte correto destes dispositivos, depositando esses aparelhos em lixos comuns, que são depositados em aterros sanitários, onde em contato com o solo, contaminam o mesmo e os lençóis freáticos (Obana *et al.*, 2018). Este tipo de material, por meio de um processo de reciclagem adequado, permite a extração de metais como chumbo, cobre, ouro, entre outros, além de certos equipamentos poderem ser reutilizados. No Brasil, são poucos os lugares que trabalham fazendo a reciclagem ou reutilização desses e-lixos e muitas vezes a população nem ao menos sabe de sua existência. De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS - Lei nº 12.305/2010) uma empresa é responsável por um produto durante todo o seu ciclo de vida até seu descarte e uma alternativa para a redução de custos é reutilização e reciclagem de dispositivos eletroeletrônicos, utilizando este tipo de resíduo para outros fins e descartando o que restar de forma correta.

Este projeto apresenta o desenvolvimento de um Cubo LED 3D 4x4x4 de forma didática, utilizando as metodologias ativas de aprendizagem, e com baixo custo,

utilizando materiais reciclados. A ferramenta utilizada para apresentar os conceitos de eletrônica básica e sistemas embarcados foi a ABP através de aulas práticas, colocando em reflexão o conceito sobre o processo de aprendizagem e as práticas pedagógicas (Santos *et al.*, 2013). O Cubo LED 3D foi utilizado como um recurso motivador para que os alunos buscassem conhecimentos na área de eletrônica possibilitando o desenvolvimento de habilidades e conhecimentos nesta área.

2. Metodologias Ativas de Aprendizagem

Uma pesquisa realizada por Moreira (Meira *et al.*, 1993) sobre as principais teorias educacionais voltadas para os processos de ensino e de aprendizagem demonstrou que o construtivismo utilizou elementos da teoria de Jean Piaget, de David Ausubel, de Henri Wallon e de Lev Vygotsky (Lima, 2016). A utilização da metodologia ativa, pode ser considerada como uma inovação que proporciona comprometimento dos discentes no processo educacional e favorece o desenvolvimento da capacidade crítica e reflexiva sobre o que estão fazendo. Uma das metodologias ativas de aprendizagem é a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), um método onde o estudante utiliza a situação problema, como estímulo para aprender. Após uma análise do problema, os estudantes determinam seus objetivos de aprendizagem e procuram as informações necessárias para resolvê-la, e compartilham o que aprenderam (Lima, 2016).

Graesser afirma que a maneira como as pessoas solucionam problemas depende do modo como as pessoas os compreendem (Moreira, 2016). Na ABP, os problemas são preparados pelos docentes do modo mais concreto possível (Meira *et al.*, 1993). Os passos do ciclo da resolução de problemas incluem identificação do problema, definição do problema, formulação de estratégia, organização das informações, alocação de recursos, monitoramento e avaliação do problema (Papert, 1997) apresentados na Tabela 1.

Passo	Atividade
1	Esclarecer termos e expressões no texto do problema
2	Definir o problema
3	Analisar o problema
4	Sistematizar análise e hipóteses de explicação ou solução do problema
5	Formular objetivos de aprendizagem
6	Identificar fontes de informação e adquirir novos conhecimentos individualmente
7	Sintetizar conhecimentos e revisar hipóteses iniciais para o problema

Tabela 1: Etapas da Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP). Fonte: (Papert, 1997).

Nesta metodologia é importante fornecer os conhecimentos prévios aos estudantes dando assim uma introdução sobre os conceitos que irão abordar no decorrer da resolução do problema, em seguida são apresentados os materiais a serem utilizados, qual suas funções e como utilizá-los, para que os alunos possam ter um melhor aproveitamento das ferramentas (Gemignani, 2013). No procedimento de resolução do problema, é muito importante proporcionar a interação com as ferramentas através de práticas experimentais para a aquisição das próprias experiências (Papert, 1997). O papel do orientador deve ser de um facilitador desse processo, onde os estudantes participarão

de forma colaborativa e cooperativa no processo de resolução do problema (Moreira, 2016), e assim prover um desafio cognitivo onde os alunos possam reconhecer suas habilidades.

3. Materiais e Métodos

Foi usado como referência para o entendimento da construção desse projeto as aulas de duas disciplinas, Fundamentos da Eletrônica e Sistemas Embarcados, de um curso de Ciência da Computação, lecionadas com utilização da metodologia ativa de aprendizagem. O que diferencia a metodologia ativa de aprendizagem das outras é que ela toma por base que o aluno está em busca de conhecimento por estar motivado, mais especificadamente, foi aplicada a metodologia de aprendizagem baseada em problemas (ABP) (Moreira, 2016). A metodologia de aprendizado baseada na resolução de problemas propõe que o aluno analise o problema e que o mesmo busque por si só resolvê-lo, chegando assim a uma solução, dando assim independência ao aluno e motivando-o a realizar e a finalizar o projeto que foi proposto.

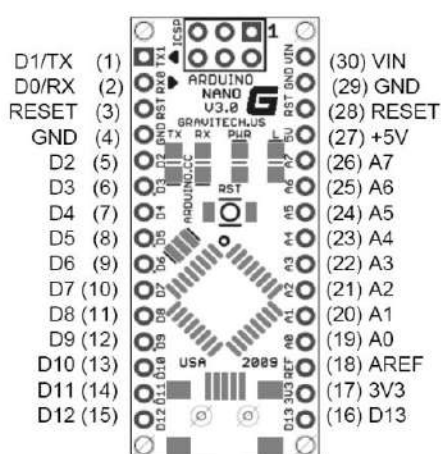
A principal parte da construção do projeto consiste na montagem do circuito eletrônico, tornando evidente que é necessário que alunos tenham conhecimentos básicos de eletrônica obtidos nas disciplinas Fundamentos de Eletrônica e Sistemas Embarcados. Durante a execução das disciplinas foram apresentados o mínimo necessário de conceitos teóricos, e foram executados diversos projetos práticos de eletrônica que aumentam sua complexidade gradativamente. A sala foi dividida em grupos somente por questões de organização, pois a interação entre os alunos foi totalmente aberta, e essa interação aumentou o interesse pelas disciplinas fazendo com que os conteúdos necessários para a resolução dos problemas propostos pudessem ser compartilhados e replicados por diferentes perspectivas.

Para todos os projetos eletrônicos propostos, incluindo o deste trabalho, foi utilizada uma plataforma onde o *software* torna possível construir esquemas eletrônicos, simulações de circuitos digitais e projetos de placas de circuito impresso (CIs). As implementações e testes foram realizados no Laboratório de Eletrônica do curso. O último projeto de cada disciplina é sempre apresentado no início de cada disciplina, mostrando todos os conceitos envolvidos que serão necessários para sua execução. Durante a execução das disciplinas, os problemas propostos de menor porte são apresentados para serem resolvidos, onde cada um destes possui uma parcela de conhecimento para o projeto final da disciplina. Não somente conceitos de eletrônica são adquiridos, mas também de trabalho em grupo, programação e principalmente a autonomia de cada aluno na construção de seus projetos. Conforme forem compreendendo os conceitos básicos, os alunos progridem para novos componentes, até que no final sejam capazes de montar sozinhos um circuito eletrônico.

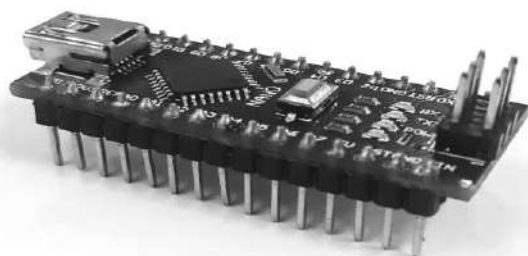
Para a construção do Cubo LED 3D 4x4x4 foram utilizados 1 Arduino, componentes led, transistores, resistores, cabo USB e componentes retirados do projeto de reciclagem – Reutilização e Reciclagem de equipamentos eletroeletrônicos, os principais componentes utilizados estão descritos a seguir.

Arduino NANO

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre em placa única, projetada com um microcontrolador Atmel AVR com suporte de entrada/saída embutido e uma linguagem de programação padrão (____, 2020). Ele foi construído com objetivo de facilitar o uso conjunto de software e hardware. O Arduino Nano V3.0, apresentado na Figura 1, é uma placa micro controladora baseada no ATmega328. Ele possui 14 pinos de entradas/saídas digitais, 8 entradas analógicas, 1 UARTs (porta serial de hardware), um oscilador de cristal de 16 MHz, uma conexão mini-USB, uma entrada de alimentação, uma conexão ICSP e um botão de reset. Funcionando como o cérebro do projeto, o Arduino NANO é quem manda todos os comandos para a matriz de LEDs conforme for programado em sua IDE.



(a)



(b)

Figura 1 – Arduino NANO – (a) Diagrama esquemático – (b) Placa de Prototipação.
 Fonte: https://www.adrirobot.it/arduino/arduino_nano/immagini/Arduino-NANO-v3.0.jpg, 2019.

Transistor BC549

Os transistores podem alterar-se em frequências moderadamente distintas e se prestam a uma imensidade de aplicações em áudio e corrente contínua. O diferencial dos diversos tipos está no ganho, na tensão máxima de coletor e assim como no fator de ruído, posto que o BC549, BC547 ou BC548 apresentado na Figura 2, é o mais utilizado em aplicações em que esse fator seja significativo como, pré-amplificadores de áudio (____, 2009). Segundo (____, 2009). Na prática, os circuitos amplificadores com transistores levam componentes adicionais, tanto para delimitar, como para designar as correntes em cada eletrodo (terminal) do transistor, a além do mais para estabelecer com que sinais cheguem até os pontos desejados. Visto isso, a aplicação deste componente neste projeto consistirá em amplificar a potência da corrente elétrica devido ao Arduino não ter o suficiente para a alimentação dos 64 LEDs.



Figura 2 – Esquema do transistor BC549.

Fonte: <https://qph.fs.quoracdn.net/main-qimg-2893fbd2509197cb4c4be023a969a003>, 2019.

LEDs (Diodo Emissor de Luz)

Conforme E. Fred Schubert, os diodos emissores de luz (LEDs), apresentado na Figura 3, originados da sigla inglesa sigla *Light-Emitting Diode*, são a fonte de luz que vem sendo utilizada devido ter a vantagem de baixo consumo de potência se comparada as tradicionais com lâmpadas tradicionais (incandescentes e fluorescentes) (Ascurra, 2013) com redução de consumo de até 40%. Os LEDs são utilizados em uma imensidade de funcionalidades, abrangendo iluminação geral e retro iluminação para telas. Os LEDs são fundamentados em junções pn, comumente efetuadas de semicondutores III-V, que emitem luz na ocasião em que uma corrente direta é injetada (Schubert, 2006). Para o projeto aqui proposto foram utilizados 64 LEDs comuns, de somente uma cor, na espessura de 5mm com 15mm.

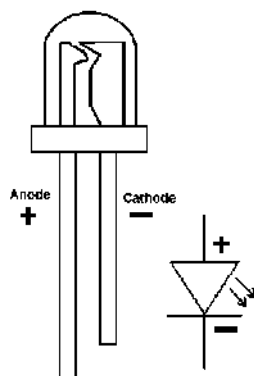


Figura 3 – Esquema LED.

Fonte: Próprio autor.

Resistores (220 ohm e 10K ohm)

De acordo com (____, 2009) os resistores têm por finalidade apresentar uma resistência elétrica, ou seja, uma oposição à passagem de uma corrente. A medida da resistência é feita por meio de uma unidade de medida denominada ohms (Ω). Os resistores mais comuns são os de carbono e os de fio de nicromo ou simplesmente “de fio” que tem os aspectos apresentado na Figura 4. Os resistores utilizados para fazer o projeto foram os de valores de 10k Ω (marrom, preto, vermelho e dourado) e 220 Ω (vermelho, vermelho, preto e dourado). Os resistores servem para limitar a corrente que irá ativar a iluminação dos componentes LED. Caso o limite de corrente ultrapasse um certo limite, os diodos LED podem ser danificados.

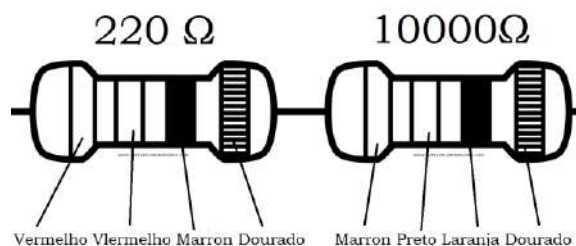


Figura 4 – Esquema Resistores.
Fonte: Autor, 2019.

Forma

Feita no próprio laboratório, a forma para construção das camadas do cubo tem perfurações na espessura de um LED de 5mm com 15 mm. Na Figura 5 é apresentado um modelo de forma que pode abranger cubos LEDs 4x4x4, 8x8x8 e 9x9x9, sendo que a forma utilizada para este projeto é a 4x4x4.

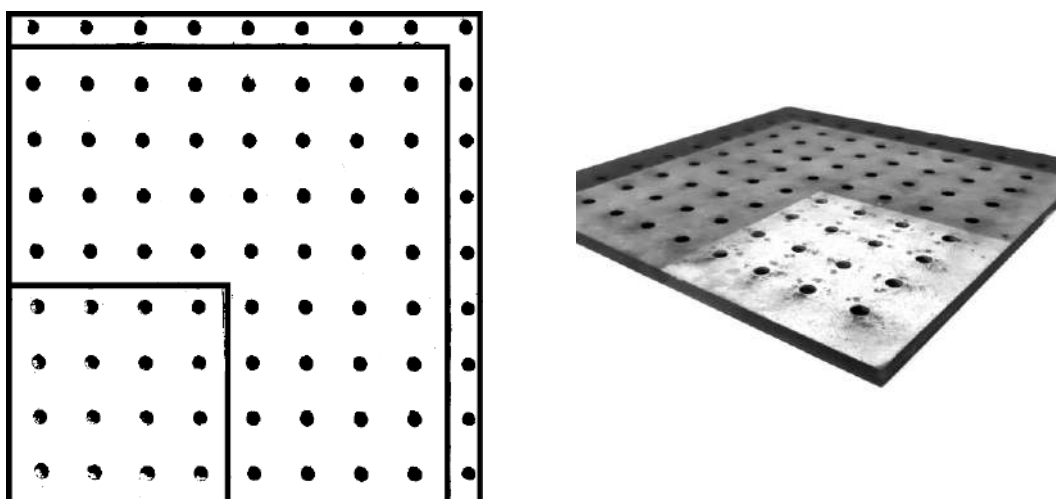


Figura 5 – Esquema de formas.
Fonte: Autor, 2019.

4. Resultados e Discussões

Nesta seção serão apresentados os resultados alcançados e estratégias adicionais utilizadas para a construção do Cubo LED 3D 4x4x4.

Na Figura 6 é apresentado o projeto de circuito para o Cubo LED informando a conexão entre todos os dispositivos anteriormente apresentados. Na Figura 7 é apresentada a prototipagem em placa de circuito impresso em placa ilhada do modelo de projeto de circuito da Figura 6.

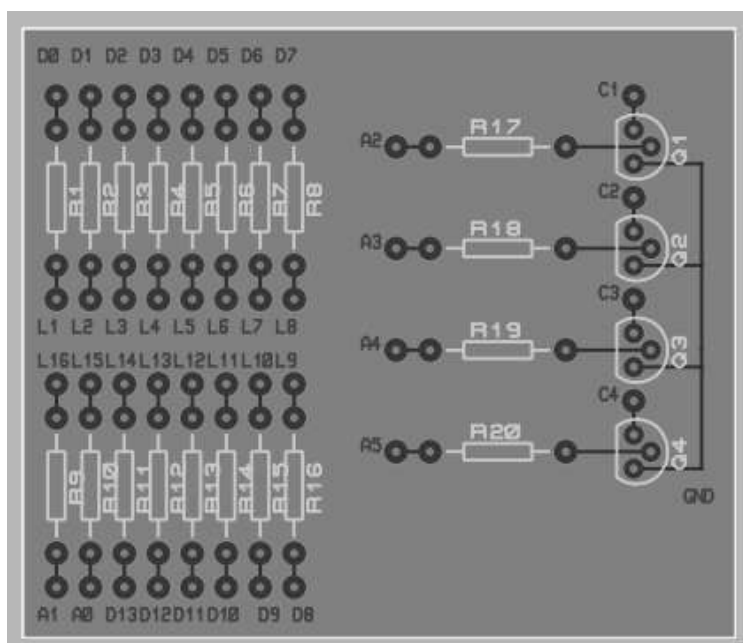


Figura 6 – Projeto do Circuito Lógico do cubo LED 3D 4x4x4.
Fonte: Próprio autor.

O projeto do cubo LED 3D 4x4x4 foi construído em cima de uma base de madeira mdf reciclado, que comportasse em seu interior a placa ilhada de circuito impresso com os devidos componentes eletrônicos e suas fiações. Outros componentes reciclados utilizados para o projeto foram arame galvanizado e fios. Escolheu-se lixar os diodos LED para deixarem de apresentar uma iluminação direcionada passando a ser uma iluminação difusa, direcionando o brilho em todas as direções. Na Figura 8 é apresentada a base de madeira MDF (reciclada de móveis) onde está inserida a placa ilhada de circuito impresso do cubo LED 4x4x4, e na Figura 9 são apresentadas as imagens do cubo LED 4x4x4 finalizado, inativo e ativo.

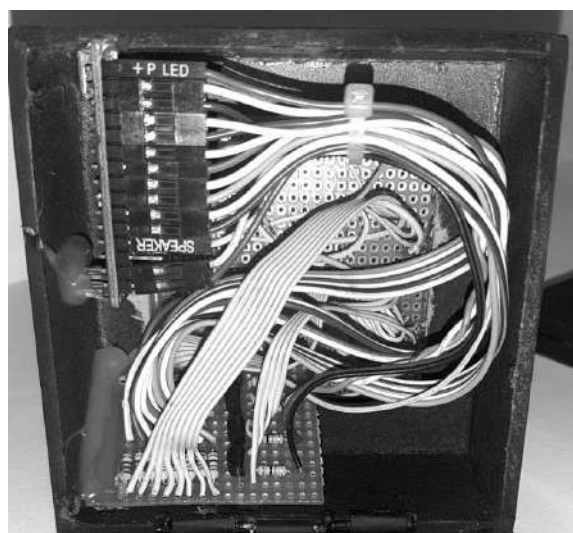
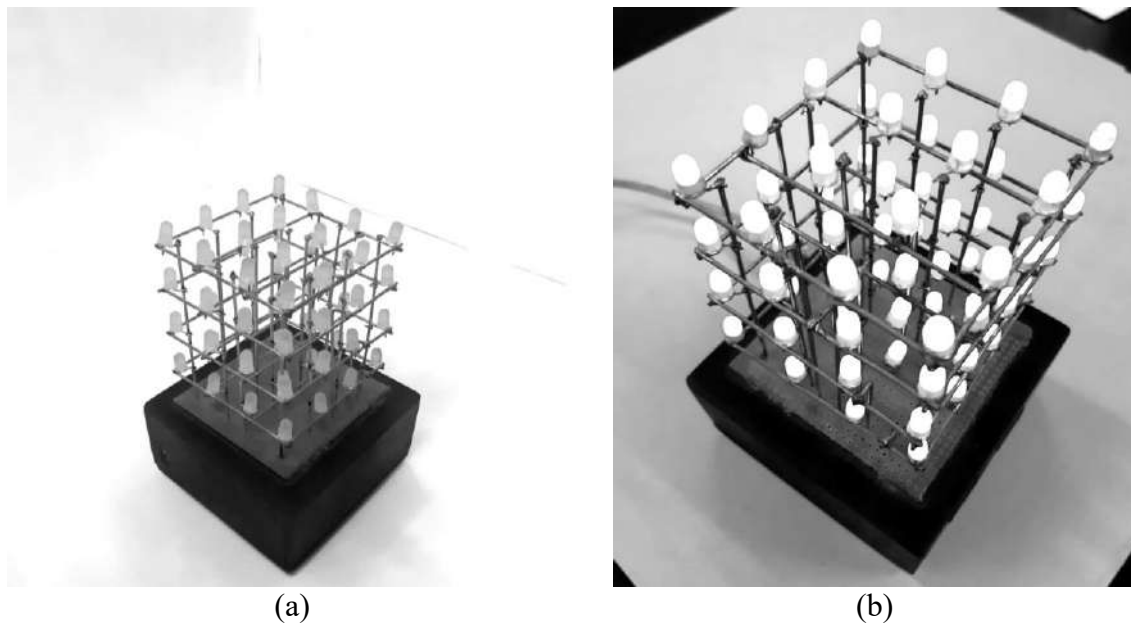


Figura 7 – Base de madeira mdf para a placa ilhada de circuito impresso.
Fonte: Próprio autor.



(a) (b)
Figura 8 – Cubo LED 4x4x4 – (a) Cubo LED 3D inativo – (b) Cubo LED 3D ativo com iluminação difusa.
Fonte: Próprio autor.

5. Conclusão

Este trabalho apresentou a construção de um dispositivo eletrônico, o cubo LED 4x4x4, por alunos de um curso de Ciência da Computação nas disciplinas de Sistemas Embarcados, com a utilização das metodologias ativas de aprendizagem.

Com a utilização das metodologias ativas de aprendizagem foi notado durante as aulas um melhor desempenho dos alunos em sala de aula, pois a estratégia adotada para se ministrar o conteúdo das disciplinas conseguiu uma maior atração das atenções dos alunos, onde os alunos se dedicavam mais, e até mesmo se recusavam a sair para intervalos com o propósito de terminar as atividades propostas pelo orientador. O projeto final das disciplinas fazia com que os alunos adiantassem os projetos anteriores para adquirirem o mais cedo possível os conceitos necessários ao projeto final.

6. Referências

- _____, Arduino, 31 de Outubro de 2020. Disponível em: <https://www.arduino.cc/>
- _____, INCB – Instituto Newton C. Braga, 31 de Outubro de 2020. Disponível em: <https://www.newtonbraga.com.br/index.php>
- ARS CONSULT, Apostila de Introdução a Robótica, Recife, 1995.
- ASCURRA, R. E., Eficiência elétrica em iluminação pública utilizando tecnologia LED: um estudo de caso, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013. Disponível em: <http://200.129.241.80/ppgeea/sistema/dissertacoes/46.pdf>.
- CARDOSO JÚNIOR, E.S. OBANA, F.Y. - Usando Unidades de Disquete Recicladas para a Construção de um Sistema Robótico de DEC capaz de Reproduzir Músicas –

- Floppy Music. IX ERIMT – Universidade do Estado de Mato Grosso, Barra do Bugres – MT, 2018.
- CORSATTO, C. A.; HOFFMAN, W. A. M. A evolução das mudanças técnicas, tecnológicas e da inovação e seus impactos na produção do conhecimento organizacional: Aprendizagem organizacional e open user innovation. *Perspectivas em Gestão & Conhecimento*, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 4–31, 2016.
- GUEDES, A. L., Guedes, F. L., Castro, T. B., *Perspectivas do uso da Robótica Educativa na Educação Infantil e no Ensino Fundamental*, Anais do II Congresso Brasileiro de Informática na Educação e XIX Workshop de Informática na Escola, 2013.
- GOMES, H. S. Brasil tem 116 milhões de pessoas conectadas à internet, diz IBGE. 2018. Acesso em, [s. l.], v. 13, 2018.
- GEMIGNANI, E. Y. M. Y. Formação de professores e metodologias ativas de ensino-aprendizagem: ensinar para a compreensão. *Fronteiras da Educação*, [s. l.], v. 1, n. 2, 2013.
- HAREL, I.; PAPERT, S. (ed.). *Constructionism*. Westport, CT, US: Ablex Publishing, 1991. (Constructionism).p. xi, 518.
- LIMA, V. V. Espiral construtivista: uma metodologia ativa de ensino-aprendizagem. *Interface - Comunicação, Saúde, Educação*, [s. l.], v. 21, p. 421–434, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-57622016.0316>
- MEIRA, L. de L.; DIAS, M. da G.; SPINILLO, A. G. Raciocínio lógico-matemático: aprendizagem e desenvolvimento. *Temas em Psicologia*, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 113–127, 1993.
- Moreira, J. R., & Ribeiro, J. B. P. (2016). *Prática pedagógica baseada em metodologia ativa: aprendizagem sob a perspectiva do letramento informacional para o ensino na educação profissional*. *Outras palavras*, 12(2).
- OBANA, F. Y. *et al.* REUTILIZAÇÃO E RECICLAGEM DE EQUIPAMENTOS DE INFORMÁTICA EM UMA CIDADE DE PEQUENO PORTE. *Revista Compartilhar - Rectoria*, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 63–69, 2018.
- OUCHANA, D., O que é a Robótica Educacional quais são os ganhos para o aprendizado, 2 de Dezembro de 2015. Disponível em: <<https://revistaeducacao.com.br/2015/12/02/o-que-e-a-robotica-educacional-e-quais-sao-os-ganhos-para-o-aprendizado/>>
- PAPERT, S., *Logo: computadores e educação*, São Paulo, Ed. Brasiliense, 1985.
- PAPERT, S., *A Família em rede: ultrapassando a barreira digital entre gerações*. Título original: *The Connected Family: bridging the digital generation*, Lisboa, Ed. Relógio D'Água, 1997.
- PEREIRA, manóel. APRENDENDO FÍSICA ATRAVÉS DA ROBÓTICA EDUCACIONAL. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://silo.tips/download/aprendendo-fisica-atraves-da-robotica-educacional>. Acesso em: 31 out. 2020.

- SANTOS, T., POZZEBON, E., FRIGO, L. B.. 2013. "Robótica Aplicada à Educação Especial." International Conference on Interactive Computer aided Blended Learning.
- SCHLUEP, M. et al.2009. Recycling – from e-waste to resources. StPE study report commissioned by UNEP and UNU. Germany: UNEP. 90p.
- SCHUBERT, E. F., *Light-Emitting Diodes*, Ed. Cambridge University, Nova York, 2006.
- SILVA, J. R. N. da.2010. Lixo eletrônico: um estudo de responsabilidade ambiental no contexto no Instituto de Educação Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM Campus Manaus Centro. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 1. Bauru. Anais... IBEAS, 2010. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/Congresso/Trabalhos2010/III-009.pdf>>. Acesso em: 3 mai.
- SILVA, Sara Moreira da; OBANA, Fernando Yoiti. 2018. Motivando crianças e jovens em ciência exatas, para um futuro brilhante. Anais de IX escola Regional de Informática de Mato Grosso (ERI-MT 2018), [s. l.].
- ZILLI, Silvana do Rocio. 2004. A robótica educacional no ensino fundamental: perspectivas e prática. 89 p. Dissertação de Mestrado (Mestre em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/86930/224814.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 5 ago. 2019.
- ZILLI, Silvana. 2002. Apostila de Robótica Educacional. Expoente Informática. Curitiba. Gráfica Expoente.

Uso de contêineres para desenvolvimento de infraestrutura multi-nuvem para aplicações de *Smart Farming*

Diogo José da Silva Ribeiro¹, Júnio César de Lima², Júlio César Ferreira³,
Gabriel da Silva Vieira⁴

¹Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí

²Núcleo de Informática – Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí.

¹diogo.ribeiro@estudante.ifgoiano.edu.br

{²junio.lima, ³julio.ferreira, ⁴gabriel.vieira}@ifgoiano.edu.br

Abstract. *Internet of Things refers to the digital interconnection of everyday services with the Internet, forming a network of physical objects capable of collecting and transmitting data. Internet of Things-based systems are used in several application domains, including e-commerce, Smart Cities and Smart Farming. Currently, construction systems for the Internet of Things have several research challenges, of which the implementation of applications, using the concept of containers on computational resources available in the cloud, is an important line. This article proposes and presents a multi-cloud infrastructure based on containers for the implementation of applications focused on Smart Farming. Initial results show that the use of clusters, independent of the cloud provider, increases the scalability and availability of the deployed applications.*

Resumo. *A Internet das Coisas se refere à interconexão digital de serviços do cotidiano com a Internet, formando uma rede de objetos físicos capazes de coletar e transmitir dados. Os sistemas baseados em Internet das Coisas são usados em vários domínios de aplicação, incluindo e-commerce, Smart Cities e Smart Farming. Atualmente a construção de sistemas para a Internet das Coisas possuem vários desafios de pesquisa, dos quais a implantação de aplicações, utilizando o conceito de contêineres sobre recursos computacionais disponibilizados na nuvem, é uma linha importante. Este artigo propõe e apresenta uma infraestrutura multi-nuvem baseada em contêineres para implantação de aplicações voltadas para a Smart Farming. Resultados iniciais mostram que a utilização de clusters, independentes do provedor de nuvem, aumenta a escalabilidade e disponibilidade das aplicações implantadas.*

1. Introdução

Com a consolidação da era da Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) há a necessidade de uma quantidade cada vez maior de dispositivos conectados, contribuindo com o crescimento exponencial de tráfego, armazenamento e gerenciamento de quantidades cada vez maiores de dados. Além disso, o aumento da demanda de recursos computacionais implica na necessidade de otimização destes recursos. Neste contexto, a computação em nuvem é uma grande aliada, se tornando a responsável por prover toda a infraestrutura necessária para aplicar os conceitos de Internet das Coisas.

O desenvolvimento de sistemas na era da IoT deve ser capaz de abordar a complexidade, a heterogeneidade, a interdependência e, especialmente, a evolução de sistemas em rede fracamente conectados [Bertolino et al. 2011]. O poder de compor serviços independentes em serviços com maior granularidade promove ainda mais produtividade e reutilização, onde os serviços podem ser utilizados para agasalhar aplicações existentes, bem como para desenvolver novas aplicações.

Do ponto de vista das aplicações para IoT, em especial dentro do contexto de *Smart Cities* e *Smart Farming*, a composição de serviços pode reduzir o custo e os riscos da construção de novas aplicações, uma vez que as lógicas de negócios existentes são representadas como serviços e podem ser reutilizadas.

Smart Farming refere-se a aplicação das tecnologias de informação na produção agrícola visando uma melhora na utilização dos recursos e assim, aumentar a produção. A maioria das aplicações no contexto de *Smart Farming* fazem uso de informações captadas por usuários, sensores, satélites e veículos aéreos remotamente controlados, onde tais conjuntos de dados necessitam ser previamente processados e, em seguida, integrados para gerar a solução requisitada pelos usuários [Bhange and Hingoliwala 2015].

O objetivo deste artigo é analisar e propor uma infraestrutura multi-nuvem baseada em contêineres para implantação de aplicações voltadas para a *Smart Farming*. Para este trabalho foi utilizada uma aplicação *web* para gerenciar botijões criogênicos de sêmen bovino que são utilizados no processo de inseminação artificial, esta aplicação tem como principal objetivo de gerenciar o nível de nitrogênio do botijão e otimizar o processo de busca das doses de sêmen dentro destes botijões.

A construção e disponibilização de aplicações utilizando a tecnologia de nuvem e contêineres contribuem com a melhoria na gestão eficiente de recursos computacionais e com a qualidade dos serviços, sendo um ponto importante em aplicações

A abordagem proposta consiste na utilização de *clusters*, independentes do provedor de nuvem. Para demonstrar essa independência foi utilizado um *cluster* multi-nuvem, utilizando AWS e *Microsoft Azure*. Já para o *storage* foi utilizado *Amazon Elastic File System* e *Azure File Share*, *DockerEngine 19.03.11* e *DockerMachine 0.16.2*.

O restante do trabalho está organizado da seguinte forma. A Seção 2 apresenta o referencial teórico. A Seção 3 fornece a metodologia utilizada na implementação e implantação de infraestrutura proposta. A Seção 4 fornece os resultados dos testes realizados na infraestrutura proposta. Por fim, a Seção 5 são feitas as considerações finais sobre o trabalho realizado.

2. Referencial Teórico

Nos últimos anos a agropecuária está tendo que lidar de vez com as mudanças trazidas pela revolução digital, sendo este processo chamado de *Smart Farming* ou Agricultura Inteligente [Virk et al. 2020]. *Smart Farming* é baseada na integração das aplicações digitais e para isso precisa mesclar dispositivos móveis, sensores, atuadores, GPS, drones, imagens de satélites, robótica, Big Data e Internet das Coisas [Duft 2018].

A IoT é uma extensão da Internet, tipicamente com menor porte. Ela proporciona aos objetos do dia-a-dia dotados de capacidade computacional e de comunicação se conectarem à Internet. A conexão com a rede mundial de computadores viabiliza, primeiro,

o controle remoto dos objetos e, segundo, a utilização dos próprios objetos como provedores de serviços [Santos et al. 2016]. Logo, há um aumento da demanda de recursos computacionais, fazendo-se, então, necessário a otimização do uso destes recursos. Nesse sentido, a computação em nuvem tem a função de prover a infraestrutura de grandes empresas que utilizam os conceitos de Internet das Coisas.

Computação em nuvem (*Cloud Computing*) é um modelo que permite acesso a recursos computacionais sob medida e sob demanda, de maneira similar a recursos como água e eletricidade. Este paradigma possibilita acesso, através de rede, a um conjunto de recursos computacionais (rede, armazenamento, processamento, plataformas de desenvolvimento e aplicações), que podem ser rapidamente provisionados e liberados com um mínimo esforço de gerenciamento e interação por parte do provedor [Gomes 2017].

Dentre as tecnologias utilizadas na computação em nuvem, pode-se ressaltar a tecnologia de virtualização: a virtualização tradicional, baseada em máquinas virtuais, e containerização, baseada em contêineres. Na virtualização tradicional o uso da abordagem de máquinas virtuais permite a execução de sistemas em diferentes ambientes computacionais com garantia da manutenção das dependências originais. Nesse sentido, máquinas virtuais consistem em programas emuladores que simulam todas as funcionalidades de um computador em outro, possibilitando a substituição completa de uma máquina real [da Cruz et al. 2018].

Uma alternativa à virtualização tradicional é a virtualização baseada em contêineres. Um contêiner é o agrupamento de uma aplicação junto com as suas dependências que compartilham o *kernel* do sistema operacional do *host*, podendo ser tanto uma máquina virtual quanto física [Docker 2020]. Em um ambiente em nuvem, a utilização da virtualização baseada em contêineres permite uma otimização dos recursos disponíveis, uma vez que um contêiner é mais leve e mais integrado ao sistema operacional da máquina *host* que uma máquina virtual.

Atualmente existem inúmeras plataformas de contêineres, tais como: *Open Container Initiative* (OCI) [Initiative 2020], *Apache Mesos and Mesosphere* [Apache 2020] e *Docker* [Docker 2020]. Dentre essas plataformas, *Docker* tem sido amplamente utilizada em diferentes contextos IoT, em consonância com de computação em nuvem, em razão de suas características como leveza, velocidade e portabilidade [Trindade 2018].

O *Docker* é uma plataforma para desenvolvedores e administradores de sistemas que permite criar, executar e compartilhar aplicativos com contêineres [Docker 2020]. Essa plataforma, que é um projeto *open source*, apresenta um mecanismo de contêiner que fornece uma solução completa para criação e distribuição de contêineres. Além disso, o *Docker* possui ferramentas adicionais que permitem o gerenciamento de *clusters* e o provisionamento de novos *hosts Docker* [Mouat 2015].

No *Docker*, um contêiner é criado utilizando uma imagem que inclui toda a infraestrutura necessária para executar uma aplicação: o código ou binário, tempos de execução, dependências e quaisquer outros objetos do sistema de arquivos necessários [Docker 2020].

Contêineres normalmente são utilizados em *clusters*, que é um conjunto de máquinas interconectadas, também chamadas de nós, trabalhando em conjunto. Para a criação, gerenciamento e manutenção de um *cluster* são utilizadas ferramentas denomi-

nadas orquestradores. *Docker Swarm* e o *Kubernetes* são os exemplos mais comuns de orquestradores.

O *Docker Swarm* é o orquestrador nativo do *Docker* que possibilita a criação de um *cluster* em ambiente local e em nuvem. Ao lidar com *cluster*, o *Docker Swarm* cria um grupo cooperativo de sistemas que podem fornecer redundância, caso um ou mais nós falhem, por exemplo. Além disso, ele atribui contêineres aos nós subjacentes e otimiza os recursos, agendando automaticamente as cargas de trabalho do contêiner para serem executadas no *host* mais apropriado com os recursos adequados, mantendo os níveis de desempenho necessários [Rouse 2016].

O *Kubernetes* é um orquestrador *Open Source*, desenvolvido pela Google [Google 2020], com o objetivo de automatizar a implantação, o dimensionamento e o gerenciamento de aplicativos em contêiner. Além de permitir agrupar *hosts* executados em contêineres Linux em *clusters*, o *Kubernetes* auxilia no gerenciamento eficiente de *clusters*, permitindo incluir *hosts* em nuvem pública, nuvem privada, ou nuvem híbrida [Redhat 2020].

3. Metodologia

Para construção da abordagem proposta nesse artigo foi realizada uma revisão abrangente do estado-da-arte sobre como os conceitos de contêineres podem ser utilizados para implantação de sistemas relacionados à IoT, em especial *Smart Farming*, utilizando recursos fornecidos por provedores de recursos em nuvens. Ao utilizar os contêineres busca-se a otimização do uso dos recursos computacionais dispostos nos provedores de nuvem de forma a economizar recursos, inclusive financeiros, e aumentar a disponibilidade das aplicações.

Sendo assim, a metodologia foi dividida em três fases. A seguir, é apresentada a programação detalhada de cada uma fases.

3.1. Fase 1: Testes e modelagem dos resultados da revisão bibliográfica

Nesta fase foram levantadas as principais tecnologias sobre contêineres que são usadas para implantação de sistemas computacionais. Além disso, foram levantados os principais provedores de nuvem, como *Amazon Web Service* (AWS) [Amazon 2020], *Microsoft Azure* (*Azure*) [Microsoft 2020] e *Google Cloud Platform* [Google 2020], sendo que os testes foram realizados nas duas primeiras plataformas, uma vez que elas oferecem acesso gratuito aos recursos necessários para o teste.

Para a realização de testes na AWS foram utilizadas 3 máquinas virtuais do tipo *t2.micro* com *1vCPU*, *1 GigaByte* de memória RAM, sistema operacional *Ubuntu Server 18.04 LTS*, e *Docker 18.09*. Na *Azure*, foram utilizadas 3 máquinas *B1s Standard* com as mesmas configurações de máquinas que na AWS. Na montagens dos *clusters*, em ambos provedores de nuvem foram utilizadas as plataformas *Docker Swarm* e o *Kubernetes*, onde foram montados *clusters* com 3 máquinas para testes de escalabilidade e de desempenho.

3.2. Fase 2: Definição de uma abordagem

Na segunda fase foi definida uma abordagem para implantação de sistemas utilizando recursos computacionais disponibilizados na nuvem. A definição da abordagem proposta

foi baseada na comparação das métricas, apresentadas na fase anterior, com foco em facilidades para uso de contêineres no contexto de aplicação em IoT implantadas em nuvens computacionais.

A abordagem consiste em um *cluster Docker Swarm*, que pode ser implantada independente do provedor de nuvem, desde que o mesmo possua um sistema de *storage*. Para demonstrar essa independência foi utilizado um *cluster* multi-nuvem, utilizando AWS e Azure. Já para o *storage* foi utilizado *Amazon Elastic File System* e *Azure File Share*, *Docker Engine 19.03.11* e *Docker Machine 0.16.2*.

3.3. Fase 3: Desenvolvimento de serviços

Na última fase foram desenvolvidas aplicações para serem implantadas usando a abordagem proposta. Para isso, foram definidos problemas dentro da *Smart Farming*.

Nesse contexto, foram desenvolvidas duas aplicações voltadas a área de *Smart Farming*, cujo objetivo principal é gerir de forma eficiente os botijões criogênicos de sêmen utilizados na inseminação artificial. Foram desenvolvidos um *web service* e uma aplicação *Web*, com as seguintes características descritas a seguir:

- *Web Service*
O *web service* foi implementado utilizando a linguagem JAVA na versão 8, as bibliotecas Jersey na versão 2.27 e *Firebase* com SDK na versão 6.10.0, o servidor *Web* JAVA *Tomcat* na versão 8.5.54. Esse *web service* possibilita a comunicação de vários tipos de aplicação ao banco de dados dos botijões criogênicos de sêmen, via internet por meio do protocolo *HyperText Transfer Protocol* (HTTP).
- *Aplicação Web*
A aplicação foi implementada utilizando as linguagens de desenvolvimento para *web* HTML, CSS e *JavaScript*. Para o armazenamento e autenticação foi utilizado o *Firebase* com a SDK na versão 5.0.1. Essa aplicação *web* consiste no sistema que gerencia de forma eficiente o manejo de botijões criogênicos de sêmen.

Depois de desenvolvidos, os protótipos foram implantados na AWS e Azure, seguindo a abordagem proposta na Fase 2.

4. Resultados

Essa seção mostra os principais resultados deste trabalho. Inicialmente, a subseção 4.1 discute os resultados dos testes com as ferramentas *Docker* e *Kubernetes*. Em seguida, a subseção 4.2 apresenta a infraestrutura utilizada para a implantação dos serviços relatados na subseção 3.3.

4.1. Comparativo entre *Docker Swarm* e *Kubernetes*

Inicialmente foram realizados testes utilizando os provedores de nuvem da AWS e Azure para orquestração dos *clusters*. Estes testes consistiram na utilização de contêineres dentro de um *cluster* utilizando dois orquestradores: o *Docker Swarm* e o *Kubernetes*.

Em um *cluster* existem dois tipos de nós: *leader/master* e *worker*. Em cada *cluster* existe apenas um nó do tipo *leader/master*, que é o nó principal, responsável por realizar o gerenciamento do *cluster*. A adição de um novo nó a um *cluster* é realizada através

da execução de um *join* passando a chave de acesso. Caso já exista um outro nó *leader/master* e seja inserido outros nós do tipo *leader/master*, eles serão marcados como *reachable*, ou seja, em caso de falha no nó *leader/master* atual um dos nós marcados como *reachable* será eleito para ser o novo *leader/master*.

Um nó do tipo *worker* somente é utilizado para execução dos contêineres. Para manter um *cluster* estável é necessário que 50% dos nós mais 1 seja do tipo *leader/master*, pois em caso de falha no *leader/master* atual um novo é selecionado de forma aleatória para assumir o seu lugar.

O teste utilizando o *Docker Swarm* e o *Kubernetes* consistiu em executar um contêiner com servidor *web Nginx* [Nginx 2020], iniciando com apenas 1 contêiner e aumentando progressivamente de 5 em 5 contêineres (1, 5, 10, ...). Após cada incremento foi verificado se todos os contêineres foram iniciados de forma correta e, em seguida, foram executado requisições HTTP ao *cluster*. Estes procedimentos se repetiram até atingirmos o limite do *cluster*, ou seja, quando o mesmo não conseguiu completar a ação de adicionar contêineres.

Os testes foram realizados visando analisar a escalabilidade e desempenho. Foi observado que o *Docker Swarm* possibilitou escalar o *cluster* em até 100 contêineres. Ao incrementar o *cluster* acima de 100 contêineres, o *Docker Swarm* começa a apresentar lentidão para criar novos contêineres, chegando a falhar. Ao tentar escalar acima de 130 contêineres, o *cluster* apresenta falha em todos os contêineres de todos os nós, podendo tornar impossível enviar comandos via terminal para qualquer nó deste *cluster*.

Os procedimentos realizados com o *Docker Swarm* foram realizados com o *Kubernetes*. Com o *Kubernetes* foi possível executar até 150 contêineres. Ao aumentar acima de 150 contêineres, é possível perceber um tempo maior para provisionar os novos contêineres, sendo que alguns contêineres não foram iniciados. Ao atingir o número de 200 contêineres, o *cluster* apresenta falha em todos os contêineres de todos os nós, tornando impossível enviar comandos via terminal para qualquer nó deste *cluster*.

O *Kubernetes* mostrou ter poder de escalabilidade maior que o *Docker Swarm*. Porém, o processo de instalação é mais complexo, requerendo algumas configurações adicionais. Como o *Docker Swarm* é integrado ao *Docker*, tornam-se desnecessárias configurações adicionais para utilizá-lo.

4.2. Implantação

Com base nos requisitos necessários para a implantação dos serviços, definidos na Seção 3.3, foi planejada uma infraestrutura para implantá-los. A infraestrutura tem como propósito mostrar a independência de plataforma que contêineres *Docker* podem fornecer.

A infraestrutura proposta foi formada por um *cluster* multi-nuvem (AWS e Azure) com 6 nós e os sistemas de *storage* dos provedores de nuvem utilizados. O modelo de *cluster* multi-nuvem consiste em criar um *cluster* em duas ou mais nuvens, permitindo utilizar os serviços de cada provedor. O uso de *cluster* multi-nuvem juntamente com a redundância de 6 nós permite maior disponibilidade das aplicações implantadas.

As aplicações foram implantadas em uma infraestrutura de *cluster Docker Swarm* multi-nuvem composto por 6 máquinas (nós), sendo 3 provisionadas na AWS e 3 provisionadas na Azure. Em cada máquina foi instalada a *Docker Engine*, que é responsável

por executar os contêineres com os serviços. Essa divisão entre os dois provedores foi realizada para garantir o balanceamento.

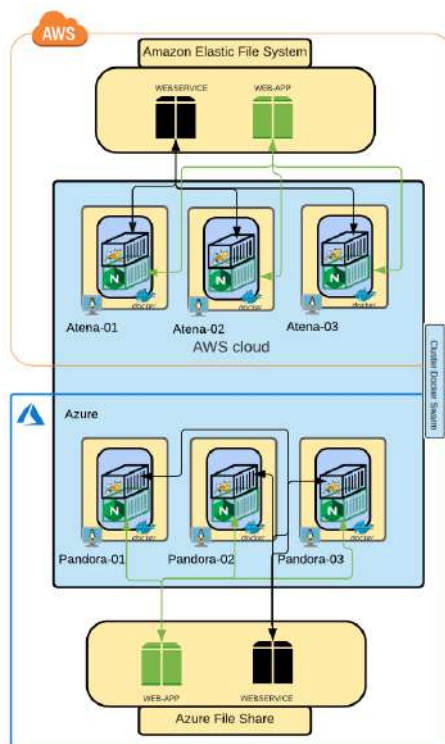


Figura 1. Infraestrutura de *cluster* multi-nuvem.

A infraestrutura utilizada para a implantação é mostrada na Figura 1, que ilustra os provedores de nuvem AWS e Azure. O provedor AWS contém 3 nós (Atena-01, Atena-02, Atena-03) e o sistema de *storage* Amazon Elastic File System. Já o provedor Azure contém também 3 nós (Pandora-01, Pandora-02, Pandora-03) e o sistema de compartilhamento de arquivos Azure File Share. Dentro de cada nó, o Docker executa 2 instâncias de contêineres: Nginx e Tomcat. Todos os nós estão conectados dentro de um *cluster Docker Swarm*.

Foram implantadas 6 instâncias de contêineres com Nginx, responsáveis pela execução da aplicação web e 6 instâncias de contêineres com Tomcat, responsáveis pelo Web Service. O sistema de balanceamento nativo do Docker Swarm busca distribuir os contêineres de forma igual entre os nós. Como foram definidas 6 instâncias de cada serviço, o Docker Swarm coloca uma instância de cada serviço. Dessa forma são executado 2 contêineres em cada nó.

Geralmente utiliza-se volumes locais para persistência dos dados em contêineres, mas quando se utiliza em *cluster* é recomendado que se utilize volumes compartilhados. Na infraestrutura proposta, foram utilizados como volumes compartilhados o Amazon Elastic File System e o Azure File Share, onde em ambos sistemas foram criados 2 volumes, sendo um para o Web Service e outro para a aplicação web. Os códigos fonte foram colocados dentro de seus respectivos volumes. Os contêineres consultam os códigos fonte nos volumes e os executam. Vale ressaltar que apesar de todos os 6 nós fazerem parte do

mesmo *cluster*, ainda assim é necessário utilizar 2 sistemas de arquivos compartilhados diferentes, pois os nós apenas compartilham arquivos entre os nós de um mesmo provedor de nuvem.

Para realizar a implantação dos contêineres foi utilizado um arquivo de composição para personalizar todas as configurações dos serviços. As configurações desses arquivos, escrito na linguagem YAML, são apresentadas no Código 1. Esse arquivo possui alguns comandos essenciais, tal como o *version*, que indica a versão do *Docker Compose* utilizada. Este comando é importante pois alguns comandos como os de *networks* e volumes são diferentes, dependendo da versão utilizada. Já o comando *services*, que indica o nome do serviço, é importante porque após o nome do serviço são informados os comandos referentes à imagem, volumes e portas utilizadas pelo contêiner daquele serviço.

```

version: "3.7"
services:
  web:
    image: nginx
    volumes:
      - public:/usr/share/nginx/html:ro
    ports:
      - "80:80"
    networks:
      - webserver
    deploy:
      replicas: 6
      update_config:
        parallelism: 2
        delay: 10s
        order: start-first
      restart_policy:
        condition: on-failure
        max_attempts: 3
        delay: 10s
      resources:
        limits:
          cpus: "0.50"
          memory: 512M
  api:
    image: tomcat:8.5.54-jdk8-openjdk
    volumes:
      - api:/usr/local/tomcat/webapps/
    ports:
      - "8080:8080"
    networks:
      - webservice
    deploy:
      replicas: 6
      update_config:
        parallelism: 2
        delay: 10s
        order: start-first
      restart_policy:
        condition: on-failure
        max_attempts: 3
        delay: 10s
      resources:
        limits:
          cpus: "0.50"
          memory: 512M
volumes:
  public:
    external: true
  api:
    external: true
networks:
  webserver:
  webservice:

```

Código 1. Arquivo de composição escrito na linguagem YAML.

A utilização de redundâncias é algo essencial quando se utiliza contêineres, pois assim é possível garantir que os serviços estejam sempre disponíveis. Na infraestrutura proposta neste trabalho, os contêineres com os mesmos serviços foram replicados em todos os nós do *cluster*. Em caso de falha de um dos contêineres, após 10 segundos outro é provisionado assumindo seu lugar. A infraestrutura proposta também conta com políticas de atualização. Quando o comando de atualização é executado, 2 novos contêineres com a nova versão do serviço são ativados e os contêineres com a versão antiga são desligados. Desta forma, é possível garantir que os serviços estejam sempre disponíveis mesmo na

presença de falhas ou em procedimentos de atualização.

5. Considerações Finais

A mudança de paradigma no desenvolvimento de *software* evidencia a necessidade de uma gestão eficiente de recursos computacionais na qual a utilização de tecnologias de computação em nuvem e as tecnologias de contêineres se tornam grandes aliadas nesse quesito. Logo, a utilização dessas tecnologias, em conjunto, possibilitam implantação e execução de sistemas distribuídos com maior facilidade e flexibilidade.

Neste artigo foi investigado como prover um melhor gerenciamento de recursos para sistemas de *Smart Farming* que utilizam Internet das Coisas. A utilização de contêineres em nuvem se mostrou adequada para a gestão desses recursos. A containerização se torna cada vez mais popular, pois os contêineres são flexíveis, leves, seguros, escaláveis, portáteis e possuem baixo acoplamento. Entre as plataformas de contêineres, o *Docker* se destaca por possuir uma API funcional que permite criar uma solução completa para criação e distribuição de contêineres.

Com a utilização do *Docker* e com os comando *Docker Swarm* é possível criar *clusters* em nuvem de forma simples e rápida. Neste trabalho foi utilizado o *Docker* para criar um *cluster* multi-nuvem nas nuvens da AWS e da Azure. Esse *cluster* foi usado como infraestrutura para a implantação de 2 serviços, sendo um *Web Service* e uma aplicação *web* para o gerenciamento de botijões criogênicos.

Sendo assim, a infraestrutura proposta, tem como principal vantagem a sua flexibilidade de escalabilidade, uma vez que podemos expandi-la ou diminuí-la conforme necessário. Outra vantagem é a sua alta disponibilidade devido a redundância de nuvem e de contêineres com os serviços. Como trabalho futuro, novos experimentos serão realizados em uma escala maior, inclusive usando outros provedores de nuvem para uma comparação com outros trabalhos da literatura.

Referências

- Amazon (2020). Amazon web services (aws) - cloud computing services. <<http://aws.amazon.com>>, Acesso em: 8 de Junho de 2020.
- Apache (2020). Apache mesos. <<http://mesos.apache.org/>>, Acesso em: 8 de Junho de 2020.
- Bertolino, A., Calabrò, A., Di Giandomenico, F., Nostro, N., Inverardi, P., and Spalazese, R. (2011). On-the-fly dependable mediation between heterogeneous networked systems. In *International Conference on Software and Data Technologies*, pages 20–37. Springer.
- Bhange, M. and Hingoliwala, H. (2015). Smart farming: Pomegranate disease detection using image processing. *Procedia Computer Science*, 58:280–288.
- da Cruz, S. A. B., Speranza, E. A., and Yano, I. H. (2018). Uso de programas geoestatísticos no tratamento de grande volume de dados. In *Embrapa Informática Agropecuária*. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL.
- Docker (2020). Empowering app development for developers — docker. <<https://docker.com/>>, Acesso em: 8 de Junho de 2020.

- Duft, D. (2018). Você sabe a diferença entre smart farming e iot? <<https://www.inteliagro.com.br/voce-sabe-diferenca-entre-smart-farming-e-iot/>>, Acesso em: 8 de Junho de 2020.
- Gomes, R. (2017). *Implantação eficiente de múltiplas coreografias de serviços em nuvens híbridas*. PhD thesis, Universidade de Federal de Goiás, Brasil.
- Google (2020). Google cloud: Serviços de computação em nuvem. <cloud.google.com/>, Acesso em: 8 de Junho de 2020.
- Initiative, O. C. (2020). Open container initiatives. <<https://opencontainers.org/>>, Acesso em: 8 de Junho de 2020.
- Microsoft (2020). Microsoft azure: Serviços de computação em nuvem. <<https://azure.microsoft.com/>>, Acesso em: 8 de Junho de 2020.
- Mouat, A. (2015). *Using Docker: Developing and Deploying Software with Containers*. "O'Reilly Media, Inc."
- Nginx (2020). Nginx news. <<https://nginx.org/>>, Acesso em: 8 de Junho de 2020.
- Redhat (2020). O que é kubernetes. <<https://www.redhat.com/pt-br/topics/containers/what-is-kubernetes>>, Acesso em: 8 de Junho de 2020.
- Rouse, M. (2016). Docker swarm. <<https://searchitoperations.techtarget.com/definition/Docker-Swarm>>, Acesso em: 8 de Junho de 2020.
- Santos, B. P., Silva, L. A., Celes, C., Borges, J. B., Neto, B. S. P., Vieira, M. A. M., Vieira, L. F. M., Goussevskaia, O. N., and Loureiro, A. (2016). Internet das coisas: da teoria à prática. *Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, 31.
- Trindade, L. V. P. (2018). Análise do desempenho da virtualização leve para ambientes com edge computing baseada em nfv.
- Virk, A. L., Noor, M. A., Fiaz, S., Hussain, S., Hussain, H. A., Rehman, M., Ahsan, M., and Ma, W. (2020). Smart farming: An overview. In *Smart Village Technology*, pages 191–201. Springer.

Uma Pesquisa Qualitativa sobre Características de Produtividade em Equipes de Desenvolvimento de Software

Adriana Silveira de Souza^{1,2}, Juliano Lopes de Oliveira¹, Daniel Ares Moraes²

¹Instituto de Informática – Universidade Federal de Goiás (UFG)
Alameda Palmeiras, Quadra D, Câmpus Samambaia – 74690-900

²Escola de Ciências Exatas e de Computação
Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUCGO)
Av. Universitária 1.440, Setor Universitário – 74605-010
Goiânia - Goiás - Brasil

{adriana,juliano}@inf.ufg.br, daniel.ares@hotmail.com

Abstract. *Developing software is a complex activity and highly dependent on the collaborative work of multidisciplinary teams. Team productivity is a determining factor for the success of software development. This work analyzes characteristics that influence the productivity of software teams. A survey evaluated the presence of these characteristics in teams that use the Scrum agile methodology and in teams that use other software methodologies. The research indicates that, in the point of view of software professionals, teams that use Scrum are superior in many of the characteristics that impact their productivity.*

Resumo. *Desenvolver software é uma atividade complexa e altamente dependente da colaboração entre equipes multidisciplinares. A produtividade da equipe é um fator determinante para o sucesso do desenvolvimento de software. Este trabalho analisa características que influenciam a produtividade de equipes de desenvolvimento de software. Uma pesquisa de campo avaliou a presença dessas características em equipes que utilizam a metodologia ágil Scrum e em equipes que utilizam outras metodologias de desenvolvimento de software. A pesquisa indica que, na visão dos profissionais de software, equipes Scrum são superiores em muitas das características que impactam a sua produtividade.*

1. Introdução

Atender a expectativas cada vez mais altas do consumidor é um desafio para organizações produtoras de software. Softwares cada vez mais complexos precisam ser gerados em tempos menores e com maior qualidade. Uma equipe de desenvolvimento de software motivada é essencial para alcançar esses resultados [Beecham et al. 2008].

Uma equipe é formada por pessoas que trabalham juntas em um espaço (concreto ou virtual) compartilhado, com o propósito de realizar um objetivo comum. Membros de uma equipe não realizam suas tarefas individualmente, mas precisam interagir em tarefas que se complementam [Gorla and Lam 2004, Scarnati 2001]. Trabalhar em equipe promove o aprendizado através da interação, resolução de problemas, diálogo, cooperação e colaboração. Um ambiente de equipe desenvolve o lado cognitivo através das interações sociais, com troca de experiências e ideias, gerando novos conhecimentos e experiências [Johnson and Johnson 1995].

Diversas características contribuem para os resultados apresentados por uma equipe de desenvolvimento de software, tais como o conhecimento, a experiência e o comportamento individual de cada membro da equipe, e o contexto organizacional em que a equipe trabalha [Oliveira 2017].

Este trabalho apresenta resultados de uma pesquisa qualitativa sobre características de equipes de software que impactam sua produtividade. A Seção 2 faz uma breve revisão da literatura sobre produtividade em equipes de software. A Seção 3 discute o trabalho em equipe na metodologia Scrum, amplamente utilizada na indústria de software, que foi usada neste trabalho como base para comparação e análise das características de produtividade. A Seção 4 descreve uma pesquisa de campo sobre estas características envolvendo profissionais de software. A Seção 5 apresenta os resultados desta pesquisa, que indicam que equipes Scrum são superiores em muitas dessas características.

2. Trabalho em equipe no desenvolvimento de software

O desenvolvimento de software é altamente dependente de fatores humanos e muitos dos problemas enfrentados em projetos de software estão associados às pessoas [DeMarco and Lister 2013]. Para o desenvolvimento de software com qualidade é necessário a colaboração de uma equipe constituída por diversos profissionais que devem coordenar suas tarefas, criar e seguir planos e manter uma boa comunicação.

Um fator crítico para o sucesso de uma equipe é a sinergia, que significa ações ou esforços simultâneos voltados para o mesmo objetivo. A sinergia, cria um ambiente em que todos podem contribuir para a criação de um ambiente de trabalho eficaz. Em um contexto profissional ela pode ser vista como a combinação de [Luca and Tarricone 2001]:

- Respeito: ter sentimento positivo de consideração, reconhecimento e estima pelas qualidades de cada pessoa e de toda a equipe.
- Cooperação: realizar trabalho em grupo, em um espaço compartilhado, somando os esforços e apoiando o outro na realização de suas tarefas.
- Lealdade: honrar seus compromissos com retidão e responsabilidade, nunca prejudicando a equipe, independente do que ocorrer.
- Comprometimento: respeitar os acordos, formais ou informais, realizando aquilo que foi combinado pela equipe, ainda que não concorde.

Esses atributos são essenciais para uma boa convivência entre indivíduos que formam uma equipe. Além disso, o sucesso de um projeto de software depende de três componentes inter-relacionados: pessoas, processos e tecnologias. As pessoas envolvidas no projeto seguem processos que definem quais tarefas são realizadas e aplicam tecnologias para realizar o trabalho. Essas pessoas precisam ter habilidades técnicas para compreender os processos e aplicar tecnologias adequadas. Todavia, a qualidade do produto será alcançada somente se as pessoas confiarem na equipe e estiverem motivadas para colaborar no trabalho de criação do software [Beecham et al. 2008].

2.1. Desafios para Equipes de Desenvolvimento de Software

A Figura 1 apresenta os principais desafios para a produtividade de equipes e indica que existe uma relação causal entre esses desafios. Esses desafios afetam todos os tipos de equipe e representam questões particularmente importantes para o trabalho de desenvolvimento de software.



Figura 1. Cinco grandes desafios para equipes [Lencioni 2015]

A confiança é o elemento essencial para que qualquer tipo de relação humana seja saudável. No trabalho em equipe, ela é o pilar que sustenta todas as características positivas das pessoas envolvidas em um projeto [Lencioni 2015]. A **ausência de confiança** ocorre quando os membros da equipe não estão dispostos a assumir seus erros, fraquezas e necessidades de ajuda, ou seja, não aceitam demonstrar que são vulneráveis. Atitudes que podem promover um bom relacionamento na equipe e aumentar a confiança são: transparência e coerência nas ações, saber ouvir, assumir falhas e dar *feedbacks* honestos e construtivos. Superar o desafio da ausência de confiança é a base para que uma equipe possa ter alto desempenho [Emelyanova et al. 2019].

A falta de confiança na equipe gera o **medo do conflito**, já que em um conflito normalmente alguém “ganha” e o outro “perde”. Porém, não precisa ser necessariamente assim. Conflitos podem gerar uma situação de ganho mútuo. Para isso é necessário que ele esteja no meio termo entre o conflito construtivo e o destrutivo. Ele não pode ser totalmente construtivo, porque pode gerar concordância cega e bajulação, e não pode ser totalmente destrutivo, gerando discussão gratuita e desnecessária, sem nenhum benefício para a equipe. Quando existe confiança na equipe, o medo do conflito diminui e os conflitos passam a ser construtivos, servindo como forma de crescimento e aprendizagem para todos os membros da equipe.

Quando a equipe busca, a todo custo, evitar o conflito, ela reduz a comunicação entre os membros e gera a **falta de comprometimento** com o trabalho. Comprometimento é diferente de consenso, ou seja, a equipe toda deve ter compromisso em realizar as tarefas planejadas, mesmo que nem todos concordem com elas. Sem o comprometimento dos membros da equipe com o planejamento feito para o projeto, as chances de alcançar o objetivo estabelecido diminuem. A falta de comprometimento pode ser resolvida com confiança e valorização de conflitos construtivos.

Se a equipe não consegue estabelecer o comprometimento com os planos do projeto, surge na equipe a **fuga da responsabilidade**, que é a situação em que cada membro evita se responsabilizar por seus atos. O senso de responsabilidade de cada membro em uma equipe deve ir além de apenas fazer a sua parte, e envolve se preocupar com as ações feitas pelos demais membros da equipe. Para minimizar a fuga de responsabilidade, é preciso fortalecer o comprometimento dos membros com a equipe.

A **falta de atenção aos resultados** é uma consequência dos desafios anteriores e ocorre quando os membros se distraem das metas da equipe, seja por problemas pessoais ou por possuírem outras prioridades. Metas autoexplicativas e fáceis de lembrar, associadas a tarefas diárias que tenham uma relação óbvia com a realização de metas, contribuem para superar esse desafio. Cada pessoa deve sentir que suas tarefas diárias ajudam a equipe a atingir seu objetivo final.

2.2. Motivação de Equipes de Desenvolvimento de Software

A motivação é um fator determinante para a produtividade individual e da equipe [Oliveira 2017]. Um colaborador desmotivado pode contaminar toda a equipe, pois sua baixa produtividade pode atrasar o projeto, gerando descontentamento pela sobrecarga de trabalho dos demais membros na tentativa de cumprir os prazos. Além disso, o resultado final do projeto não atende as expectativas, pois quando se trabalha sem motivação, dá-se pouca atenção à qualidade do produto.

Embora não esteja diretamente contemplada na pirâmide de desafios para equipes proposta por [Lencioni 2015] (Figura 1), a falta de motivação é um dos grandes desafios enfrentados pelos gestores de equipes de software e pode ser gerada por diversos fatores, tais como [Beecham et al. 2008, Ortiz and Farina 2015, Emelyanova et al. 2019]:

- Falta de oportunidade para crescimento profissional.
- Acúmulo de funções ou sobrecarga de trabalho.
- Falta de reconhecimento ao trabalho realizado na equipe.
- Dificuldade na gestão do tempo.
- Falta de participação nas decisões da equipe.
- Falta de preparação técnica e de treinamento para as atividades.
- Falta de competência ou de colaboração na equipe.

Uma organização que busca uma equipe motivada, deve despertar “motivação intrínseca” em seus funcionários, que significa realizar uma atividade ou tarefa exclusivamente pelo fato dela ser interessante ou agradável, e não por possíveis consequências. Já a “motivação extrínseca” é o ato de realizar algo em razão de fatores externos, como medo, imposição, dinheiro ou recompensas [Deci and M. 2000, Locke and Schattke 2019]. Tendo prazer na realização da tarefa, o colaborador irá se dispor a trabalhar com muito mais eficiência e capricho.

Um fator determinante para a motivação de uma equipe de desenvolvimento de software é a colaboração, que define uma forma de se trabalhar em equipe em que as pessoas agem juntas buscando completar os objetivos do projeto, e não objetivos individuais ou de subgrupos [Whitehead 2007]. A colaboração pode ser vista como a combinação de atividades que envolvem [Fuks et al. 1991]:

- Comunicação: troca de informação, conhecimentos, mensagens e negociação.
- Coordenação: gestão de pessoas, suas tarefas e recursos disponíveis.
- Cooperação: produção conjunta de uma dada tarefa em um espaço compartilhado.

As atividades de colaboração precisam ser realizadas contínua e iterativamente quando se trabalha em equipe. A comunicação discute e negocia as tarefas do projeto, criando compromissos que são gerenciados pela coordenação, que organiza as tarefas e

os possíveis conflitos existentes para facilitar a cooperação. Durante a cooperação é necessário renegociar situações imprevistas, o que novamente demanda comunicação. Isso gera uma percepção em cada membro que permite obter respostas para suas próprias ações e também para as ações dos demais participantes da equipe.

A colaboração é uma condição essencial para a motivação da equipe. Quando não há colaboração, a equipe se desmotiva e perde o foco nos objetivos compartilhados [Batra et al. 2017].

3. Trabalho em equipe no Scrum

O Scrum é uma metodologia de desenvolvimento de software representativa das metodologias ágeis, muito disseminadas na atualidade [Sutherland 2020]. A filosofia desse tipo de metodologia dá grande destaque para valores humanos. O desenvolvimento ágil não rejeita processos, ferramentas, documentações, negociações e planejamento, mas considera que tudo isso é secundário se estiver em conflito com as pessoas e suas interações no projeto. Alguns dos principais fatores que potencializam a produtividade no trabalho em equipe em projetos que utilizam o Scrum são [O’Connell and Molloy 2019]:

- **Familiaridade:** a filosofia Scrum incentiva a interdependência e a confiança entre os membros da equipe. Para fomentar a confiança, equipes Scrum tendem a ser estáveis, de forma que a familiaridade decorre do tempo de convivência da equipe.
- **Facilitação:** o papel do Scrum Master é fundamental para facilitar o desenvolvimento de soluções rápidas e com qualidade. Ele tem experiência com o processo e as tecnologias e coloca todo o seu conhecimento a favor da equipe do projeto.
- **Tamanho da equipe:** a equipe no Scrum normalmente é pequena, com até nove pessoas. Isso possibilita que seus membros possam interagir e se comunicar sempre que necessário para realizar o trabalho. Trabalhar em equipe é indispensável para o sucesso do projeto.
- **Auto-organização:** uma equipe Scrum trabalha para a realização de objetivos específicos. São auto-organizadas e auto-motivadas e possuem as capacidades necessárias para tomar decisões importantes com autoridade.
- **Abertura para pedir/oferecer ajuda:** embora a equipe tenha a capacidade para a tarefa de desenvolvimento de software, determinados problemas são complexos e exigem diferentes expertises. A equipe Scrum usa a familiaridade e a confiança para que cada membro possa demandar ajuda em tarefas complexas, ou oferecer ajuda, se perceber que pode ajudar na dificuldade de um colega.
- **Remoção de impedimentos:** a equipe Scrum organiza reuniões diárias e remove impedimentos que podem prejudicar a realização de suas metas. A base para remoção de impedimentos é a comunicação constante entre os membros da equipe.
- **Melhoria contínua:** a função da reunião *Sprint Retrospective* é garantir um aprimoramento do trabalho, tornando-o mais eficiente, por meio de uma retrospectiva buscando levantar pontos que necessitam aprimoramento e elaborar planos de ação para colocar essas melhoras em prática.
- **Ritmo sustentável:** a equipe Scrum deve manter um ritmo de trabalho sustentável e constante, sem as práticas de horas-extras e aceleração forçada neste ritmo, pois isso gera estresse e afeta negativamente o resultado da equipe.

- **Motivação:** o fato de agir em consonância com os fatores descritos anteriormente, e de trabalhar em uma organização que apoia essa forma de comportamento, contribui para a confiança e para a motivação da equipe.

Considerando-se esses fatores, pode-se concluir que a filosofia de trabalho da metodologia Scrum busca aprimorar o trabalho em equipe durante o processo de desenvolvimento de software [Lindsjörn et al. 2016]. Uma das questões trabalhadas na presente pesquisa é se esses fatores são percebidos pelos membros das equipes Scrum como pontos positivos para o trabalho em equipe e se esta percepção é diferente da percepção apresentada por membros de equipes que usam outras metodologias de desenvolvimento de software. A próxima seção apresenta a análise desta questão.

4. Avaliação das Características de Equipes na Comunidade de Software

Para validar as características que influenciam o trabalho de equipes de desenvolvimento de software identificadas foi realizada uma pesquisa envolvendo uma população de setenta participantes que trabalham em equipes de desenvolvimento de software em organizações situadas na região metropolitana de Goiânia.

A pesquisa foi baseada em um questionário enviado para diversas organizações. De um total de 70 profissionais ligados a essas organizações que responderam o questionário, 37 utilizam o Scrum para desenvolvimento de software, enquanto 33 utilizam outros métodos de desenvolvimento, diferentes do Scrum. O modelo de questionário utilizado, bem como as respectivas repostas, estão descritos em [Moraes 2020].

A primeira parte da pesquisa explora os cinco grandes desafios para o trabalho em equipe sintetizados na Figura 1. A base da pirâmide de desafios é a ausência de confiança. A questão proposta em relação a esta característica avalia se ela realmente ocorre, no ponto de vista dos participantes, e se há diferenças entre equipes que utilizam e que não utilizam o Scrum para o desenvolvimento de software. A forma como os participantes da pesquisa avaliam suas respectivas equipes é mostrada na Figura 2.

As repostas obtidas desta questão mostram que a grande maioria de membros de equipes de desenvolvimento de software confiam, parcial ou totalmente, em seus colegas de equipe. Independente de utilizarem ou não o Scrum, os resultados se mantiveram bem próximos para as três alternativas da questão. Há indícios, portanto, de que essa é uma característica de equipes de desenvolvimento de software, não importando a metodologia usada pela equipe.

A análise das repostas também confirma a importância do estudo da falta de confiança em equipes de desenvolvimento de software, pois mais da metade dos respondentes, tanto no grupo Scrum quanto no grupo de outras metodologias, responderam que não podem confiar totalmente em suas respectivas equipes de desenvolvimento de software.

Em relação ao desafio "medo de conflitos", a questão verifica se ocorrem conflitos constantes entre membros da equipe e, em caso positivo, se esses conflitos são utilizados pela equipe como forma de crescimento e aprendizado. A maneira como os participantes da pesquisa avaliam os conflitos dentro de suas equipes é representada na Figura 3.

As repostas mostram que mais de 70% dos participantes de equipes Scrum utilizam os conflitos que ocorrem nos projetos como forma de crescimento e aprendiza-

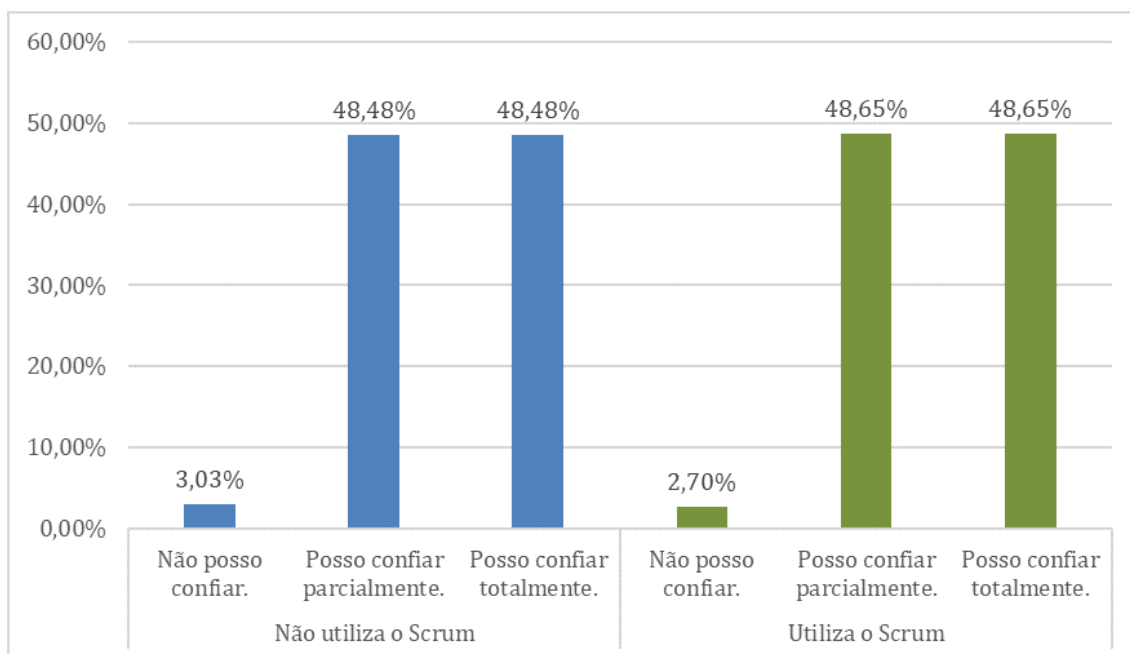


Figura 2. Você sente que pode confiar em seus colegas de equipe?

gem. Isso pode ser atribuído à comunicação promovida no Scrum, por meio das diversas reuniões realizadas no decorrer de um projeto. Elas estimulam o diálogo entre membros da equipe e, apesar das possíveis desavenças, geralmente chega-se a um acordo. Por exemplo, na Retrospectiva da Sprint, durante a auto-inspeção da equipe, podem surgir conflitos. No entanto, a reunião é utilizada para acertar os pontos de vistas divergentes e identificar ações para serem planejadas e melhoradas para a próxima Sprint.

A análise das respostas a esta questão indica, ainda, que a valorização de conflitos construtivos é uma meta a ser atingida pelas equipes de desenvolvimento de software que não usam Scrum, pois mais da metade dos respondentes deste grupo afirma que os conflitos são evitados, ou que nenhum proveito é obtido de sua ocorrência nos projetos.

A questão seguinte busca a percepção dos participantes sobre o comprometimento da equipe com o projeto de software. A Figura 4 mostra as estatísticas de respostas.

É possível observar o mesmo padrão para os dois tipos de equipes. A resposta com maior percentual entre os participantes foi “todos realizam o que foi proposto”, independentemente do método de desenvolvimento utilizado. Com essa análise é possível inferir que a maior parte das pessoas que participam de equipes de desenvolvimento de software está disposta a realizar a atividade combinada, mesmo que não esteja de acordo com essa atividade.

Todavia, o desafio de obter comprometimento das equipes com o planejamento do projeto é uma questão relevante para ambos os grupos, já que a soma das respostas com menor percentual supera a quantidade de repostas que apontam para o total comprometimento da equipe com o que foi planejado para o projeto. Ou seja, a maioria dos participantes das equipes, tanto no Scrum como em outras metodologias, consideram que o grau de comprometimento demonstrado pela equipe não é ideal.

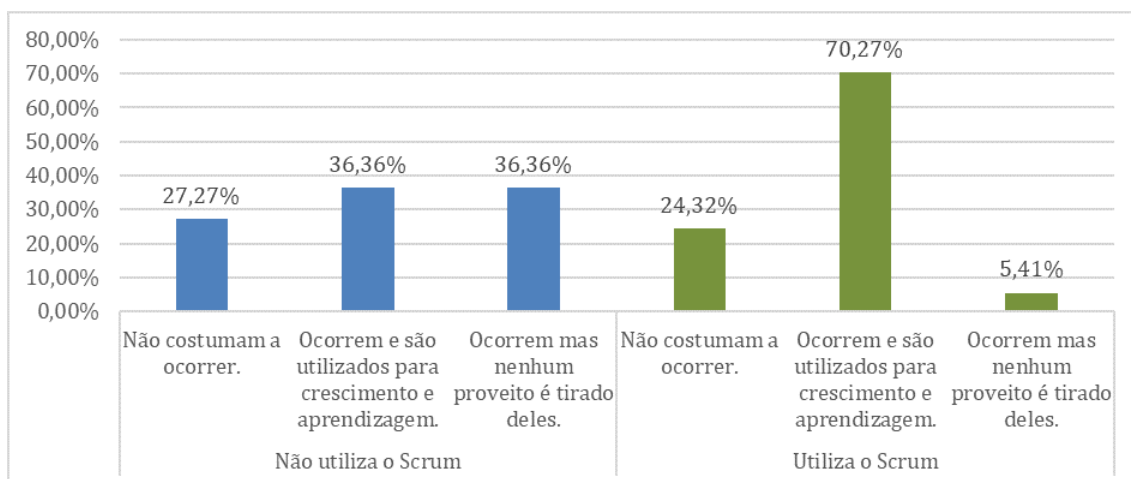


Figura 3. Ocorrem conflitos que geram crescimento e aprendizagem na equipe?

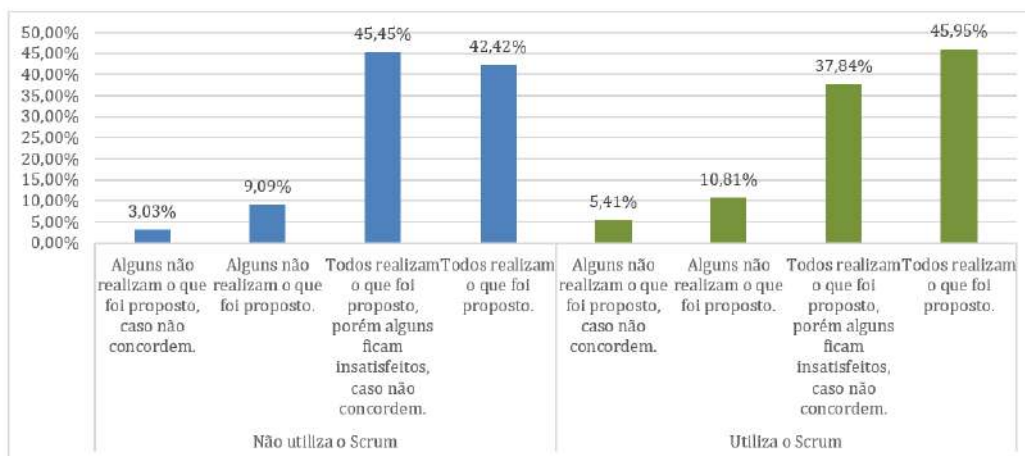


Figura 4. Todos realizam o trabalho planejado, ainda que não concordem?

O objetivo da próxima questão é compreender como o participante avalia a responsabilização em sua equipe. A “Fuga da responsabilidade” preocupa-se com a capacidade das pessoas de assumirem seus erros. Mesmo cometendo erros é necessário ser transparente com a equipe, a fim de procurar formas de contornar a situação e com isso alcançar bons resultados. Os participantes da pesquisa avaliaram a responsabilização em suas equipes conforme mostra a Figura 5.

As repostas indicam que, para a maioria dos participantes, nem sempre os membros da equipe se responsabilizam por seus atos, incluindo erros e falhas. Esse tipo de conduta pode causar problemas em um projeto. É importante ser sincero com a equipe, e assim resolver o erro sem comprometer o projeto. Quando se olha somente para as equipes que utilizam o Scrum, esse quadro tende a melhorar um pouco, uma vez que quase metade respondeu “Sempre se responsabilizam”.

Geralmente, equipes que não utilizam o Scrum fazem divisões de papéis, como por exemplo, subequipe de requisitos, de desenvolvimento e de testes. Essas entregam o resultado de seus trabalhos para outras de forma independente e autônoma. Em equipes Scrum,

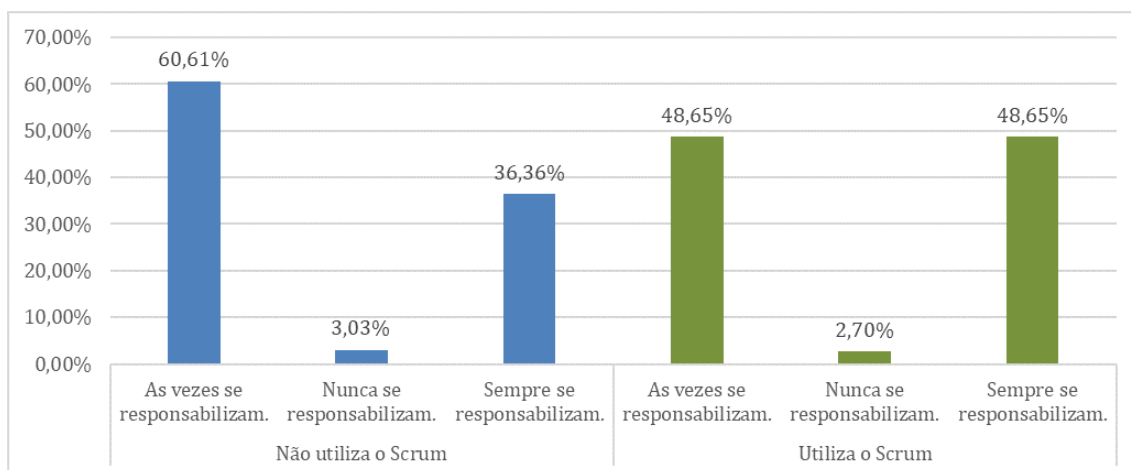


Figura 5. Os integrantes da equipe se responsabilizam por seus atos no projeto?

a mesma equipe deve fazer todo o trabalho para produzir o software durante a *Sprint*, tornando a equipe responsável por todas essas tarefas. Além disso, as reuniões diárias ajudam a responsabilização individual pelas ocorrências no projeto [Sutherland 2020].

Apesar disso, a análise das estatísticas de resposta para essa questão confirma que o desafio de obter responsabilização individual sobre as ações realizadas no projeto está presente em ambos os grupos de respondentes.

Ainda em relação à característica de fuga da responsabilidade, a questão seguinte busca saber se existe um senso de responsabilidade coletivo na equipe. Este senso de responsabilidade pode ser constatado em uma equipe que avalia suas ações como um todo e não individualmente. A questão investiga se os membros da equipe apenas fazem sua parte, ou se também se preocupam com o sucesso dos demais. Caso algo não saia como planejado, a equipe toda se responsabiliza e procura soluções para resolver os problemas, sem apontar culpados. A visão dos participantes sobre o senso de responsabilidade nas equipes é mostrada na Figura 6.

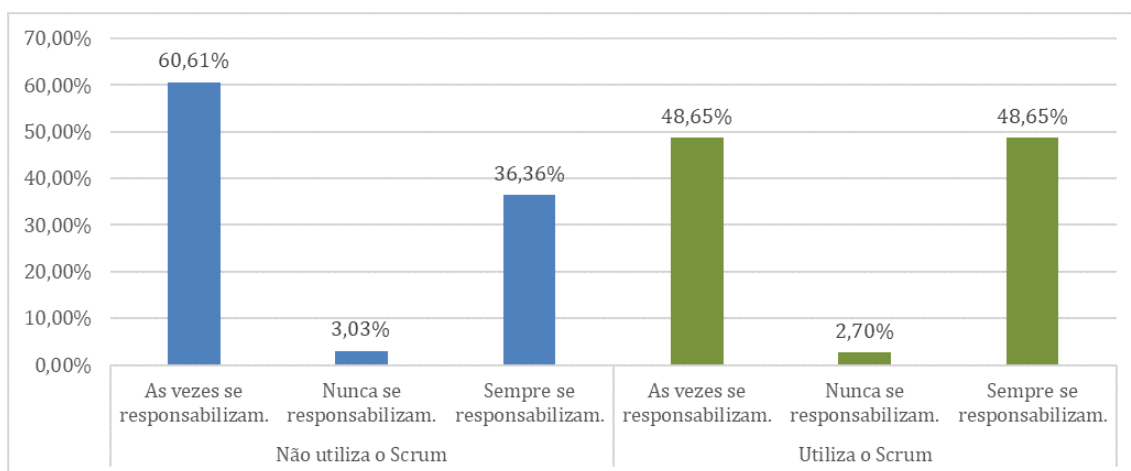


Figura 6. A equipe costuma se responsabilizar por seus atos?

As respostas indicam que existe um senso de responsabilidade maior para equi-

pes que utilizam o Scrum. Provavelmente, isso ocorre devido ao espírito de trabalho em equipe que é promovido no Scrum. Na filosofia Scrum, as tarefas devem ser de responsabilidade de todos, e existe uma única equipe, sem subdivisões.

Mesmo tendo uma avaliação melhor em relação à fuga de responsabilidade coletiva pelo projeto, este desafio deve ser considerado nas equipes Scrum, uma vez que mais da metade dos respondentes neste grupo não consideram que a equipe sempre se responsabiliza pela condução do projeto. No grupo de outras metodologias, a situação é mais grave, pois quase 65% dos participantes indicam que a equipe apresenta algum grau de fuga de responsabilidade coletiva.

A questão seguinte avalia a opinião dos participantes da pesquisa sobre o foco da equipe nos resultados finais de um projeto. No topo da pirâmide de desafios aparece o item “Falta de atenção aos resultados”. Para assegurar tal atenção aos resultados, é fundamental que as metas do projeto sejam autoexplicativas e fáceis de lembrar. Além disso, é necessário que as tarefas realizadas diariamente tenham uma ligação óbvia com o cumprimento das metas. A avaliação dos participantes quanto ao foco nos resultados finais é representada na Figura 7.

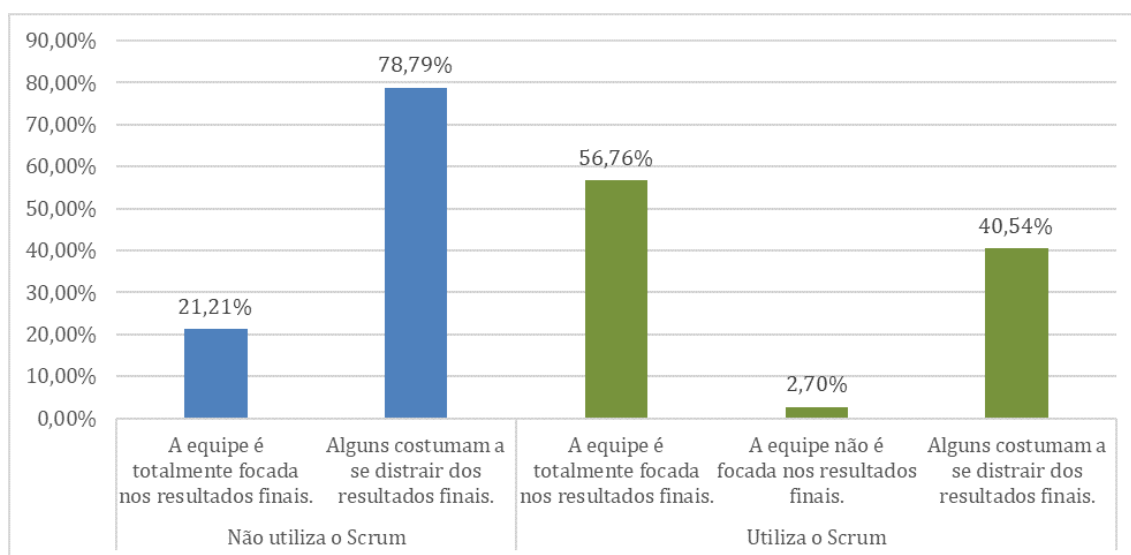


Figura 7. A equipe se distrai dos resultados finais no decorrer do projeto?

As respostas obtidas dos participantes da pesquisa indicam que as equipes que utilizam o Scrum são mais focadas nos resultados finais de um projeto. Os diversos eventos obrigatórios no Scrum, com destaque para a Reunião de Planejamento da Sprint e a Reunião Diária, ajudam a equipe a focar nos resultados finais. Em particular, na reunião diária discute-se o que será realizado nas próximas 24 horas, criando uma relação clara entre alcançar a meta final do projeto e as atividades realizadas diariamente. Apesar disso, mais de 40% dos participantes do grupo Scrum entendem que a equipe não foca totalmente nos resultados finais do projeto.

No grupo de respondentes que utilizam outras metodologias de desenvolvimento de software, as estatísticas de resposta desta questão são muito expressivas, já que quase 80% das respostas indicam que alguns membros da equipe apresentam falta de atenção aos resultados finais do projeto. Logo, é um desafio que precisa ser enfrentado para

melhorar a produtividade das equipes de software.

A questão seguinte trata da motivação dos participantes de equipes de desenvolvimento de software, avaliando se o participante se sente motivado no seu trabalho. A Figura 8 apresenta as estatísticas de resposta para essa questão.

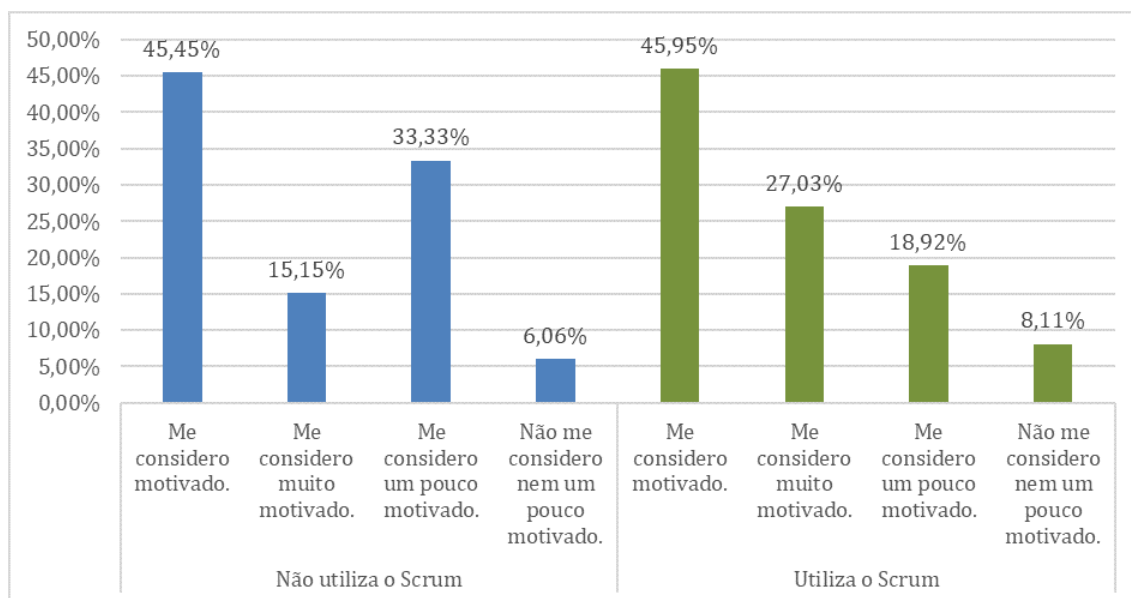


Figura 8. Você se considera motivado em seu trabalho na equipe de software?

As respostas mostram que participantes de equipes Scrum se sentem relativamente mais motivados do que os membros de equipes que utilizam outras metodologias de desenvolvimento. A alternativa “Me considero muito motivado” recebeu quase 12% a mais de respostas entre os participantes de equipes Scrum, enquanto a alternativa “Me considero um pouco motivado” recebeu cerca de 15% a mais de respostas entre os respondentes que não utilizam Scrum. As outras duas alternativas obtiveram uma quantidade de respostas semelhantes entre os dois grupos de respondentes. A maior motivação entre os participantes de equipes Scrum pode ser consequência dos resultados obtidos das respostas anteriores, em que membros de equipes Scrum tiveram melhores percepções de suas respectivas equipes.

Vale destacar que um número considerável de participantes dos dois grupos se considerou “um pouco motivado” ou “nem um pouco motivado” no trabalho. Isso confirma a importância de pesquisas voltadas para a compreensão de fatores humanos em equipes de desenvolvimento de software, já que a motivação, como discute a Seção 2.2, é fator determinante para os resultados dessas equipes.

5. Resultados da Pesquisa

A Tabela 1 sintetiza os resultados obtidos da análise das respostas da pesquisa de campo realizada. Das seis características desejáveis em equipes de desenvolvimento de software avaliadas na pesquisa, duas apresentaram resultados semelhantes, independentemente do método de desenvolvimento utilizado pelas equipes, enquanto quatro características apresentaram resultados superiores em equipes que utilizam o Scrum, de acordo com a opinião dos participantes da pesquisa.

Característica de Equipes de Software	Resultado: Scrum X Outras Metodologias
Confiança nos Colegas de Equipe	Semelhante
Valorização de Conflitos Construtivos	Superior
Comprometimento com os Planos	Semelhante
Senso de Responsabilidade (Individual e Coletivo)	Superior
Foco nos Resultados do Projeto	Superior
Motivação do Participante	Superior

Tabela 1. Comparação de Características em Equipes de Software

Os pontos identificados como superiores em equipes de desenvolvimento que adotam a metodologia Scrum foram:

- Os conflitos são melhor administrados em equipes Scrum, e são utilizados para fomentar o crescimento e o aprendizado da equipe.
- Os membros de equipes Scrum se responsabilizam mais por seus atos no projeto, ainda que sejam erros.
- Existe um maior senso de responsabilidade individual e coletiva por parte das equipes Scrum em relação às ocorrências do projeto.
- Membros de equipes Scrum são mais focados nos resultados finais e sofrem menos distrações que os participantes de outras metodologias.
- Os participantes de equipes Scrum se sentem mais motivados em seu trabalho na equipe de desenvolvimento de software.

Já as características "confiança" e "comprometimento" apresentaram resultados similares nas respostas dos participantes do grupo que participa de equipe Scrum e do grupo que adota outras metodologias de desenvolvimento. Há indícios, portanto, de que essas características são ortogonais ao método de desenvolvimento utilizado pela equipe.

Vale ressaltar que os critérios utilizados nas questões para qualificar o trabalho em equipe foram semelhantes para os dois tipos de equipes de desenvolvimento de software. Os valores são dados em porcentagem devido às diferentes quantidades de participantes que utilizavam (37) e que não utilizavam (33) o Scrum. Esta diferença, no entanto, não representa ameaça à validade das conclusões do presente estudo, já que a dimensão dos dois grupos é bastante similar.

Nessa pesquisa não foi avaliado se os participantes que afirmaram trabalhar em equipes adeptas da metodologia Scrum de fato seguem todos os princípios e processos desta metodologia. Dessa forma, as conclusões da pesquisa precisam ser confirmadas por outros trabalhos semelhantes e, idealmente, aplicando-se a pesquisa em equipes que possuem evidências objetivas de aplicação de todos os princípios propostos na metodologia. Considerando-se, por outro lado, que o propósito da presente pesquisa é investigar o ponto de vista dos praticantes em relação às características de suas respectivas equipes, as conclusões são válidas, já que o próprio participante avaliou cada característica para responder ao questionário de acordo com a sua percepção em relação à sua equipe.

Outro ponto que merece destaque é que, a fim de evitar vieses que pudessem comprometer a validade da pesquisa, o questionário manteve o anonimato dos respondentes.

Com isso, não é possível verificar se os participantes que responderam a pesquisa em cada equipe das organizações selecionadas para participar desta pesquisa possuem uma boa representatividade em relação à equipe como um todo. A anonimização também torna impossível distinguir a qual equipe da organização cada participante pertence.

Por fim, cabe ressaltar que a presente pesquisa apresenta indícios que embasam as conclusões e resultados apresentados. Todavia, não se pode afirmar, com certeza definitiva, que a superioridade identificada nas equipes de desenvolvimento adeptas do Scrum se deve, exclusivamente, ao fato de adotarem as práticas desta metodologia, já que outros fatores poderiam influenciar esse melhor desempenho das equipes Scrum. Por exemplo, fatores organizacionais poderiam ser a causa da superioridade das equipes Scrum, e não as práticas da metodologia de desenvolvimento de software propriamente dita.

6. Conclusões

Este trabalho apresenta um estudo sobre fatores humanos relacionados à produtividade de equipes de desenvolvimento de software. O estudo identifica características que influenciam positiva e negativamente o trabalho desse tipo de equipe e discute propostas para lidar com cada tipo de característica em equipes de desenvolvimento de software.

Para confirmar a validade de características identificadas nos estudos bibliográficos realizados, o artigo apresenta os resultados de uma pesquisa de campo realizada com a participação de setenta participantes de equipes de desenvolvimento de software de diferentes organizações.

Dois grupos de participantes foram identificados: pessoas que trabalham em equipe de desenvolvimento com base na metodologia de desenvolvimento ágil Scrum e pessoas que trabalham com outras metodologias de desenvolvimento. Com isso foi possível comparar as respostas dadas pelos participantes dos dois grupos, permitindo concluir que as pessoas que trabalham com Scrum tendem a perceber melhores qualidades e características desejáveis em suas respectivas equipes de desenvolvimento de software.

Uma possível explicação para o melhor desempenho da metodologia ágil Scrum em relação à avaliação de características de produtividade é a existência, nesta metodologia, de práticas diretamente relacionadas a fatores humanos e de trabalho cooperativo, tais como facilitação do trabalho em equipe, auto-organização e motivação, remoção de impedimentos, melhoria contínua, e manutenção de ritmo sustentável de trabalho. Assim, a presente pesquisa apresenta indícios de que os componentes e práticas da metodologia Scrum podem contribuir para a produtividade e para a qualidade do trabalho em equipes de desenvolvimento de software.

Como trabalhos futuros pode-se destacar a análise de outras características relacionadas a fatores humanos em equipes de desenvolvimento de software que não foram contempladas no presente trabalho, como por exemplo, fatores motivacionais. Além disso, a aplicação das mesmas questões propostas neste trabalho em equipes de desenvolvimento de software de outras regiões é uma extensão útil para confirmar a generalizabilidade das conclusões aqui apresentadas.

Referências

Batra, D., Xia, W., and Zhang, M. (2017). Collaboration in agile software development: Concept and dimensions. *Communic. of the Association for Information Systems*, 41.

- Beecham, S., Baddoo, N., Hall, T., Robinson, H., and Sharp, H. (2008). Motivation in software engineering: A systematic literature review. *Information and Software Technology*, 50(9-10):860–878.
- Deci, E. L. and M., R. R. (2000). Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions. *Contemporary Educational Psychology*, 25(1):54–67.
- DeMarco, T. and Lister, T. (2013). *Peopleware: Productive Projects and Teams*. Addison-Wesley Professional, 3 edition.
- Emelyanova, T., Ilchenko, E., Varlamova, Z., and Paklina, L. (2019). Teamwork management in the field of software development. *Proc. of the Ecological-Socio-Economic Systems: Models of Competition and Cooperation (ESES 2019)*, pages 490–495.
- Fuks, H., Raposo, A. B., Gerosa, M. A., and Lucena, C. J. P. (1991). Applying the 3c model to groupware development. *Int. Journal of Cooperative Information Systems*.
- Gorla, N. and Lam, Y. W. (2004). Who should work with whom?: building effective software project teams. *Communications of the ACM*, 47(6).
- Johnson, D. W. and Johnson, R. T. (1995). *Conflict, Cooperation, and Justice*, chapter Social Interdependence - Cooperative Learning in Education. JosseyBass Publishers.
- Lencioni, P. (2015). *Os 5 Desafios das Equipes*. Rio de Janeiro: Sextante.
- Lindsjørn, Y., I.K.Sjøberg, Dingsøy, T., R.Bergersen, G., and Dybå, T. (2016). Teamwork quality and project success in software development: A survey of agile development teams. *Journal of Systems and Software*, 122:274–286.
- Locke, E. A. and Schattke, K. (2019). Intrinsic and extrinsic motivation: Time for expansion and clarification. *Motivation Science*, 5(4):277–290.
- Luca, J. and Tarricone, P. (2001). Does emotional intelligence affect successful teamwork? In *Proc. of the 18th Annual Conference of the Australasian Society for Computers in Learning in Tertiary Education*. University of Melbourne.
- Moraes, D. A. (2020). Estudo sobre equipes de desenvolvimento de software. Trabalho de conclusão de curso, Escola de Ciências Exatas e de Computação. Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUCGO).
- O’Connell, T. and Molloy, O. (2019). Trust: Promoting interdependence, knowledge sharing & collaboration in scrum teams. In *Proceedings of the 2019 International Conference on Software Engineering Research & Practice*, pages 10–18. CSREA Press.
- Oliveira, E. C. C. d. (2017). *Fatores de influência na produtividade de desenvolvedores de organizações de software*. PhD thesis, Universidade Federal do Amazonas.
- Ortiz, F. C. and Farina, E. (2015). A motivação dos profissionais que desenvolvem projetos utilizando as tecnologias da informação: um estudo empírico. *Revista Eletrônica Acadêmica Drummond*, 6(7):37–55.
- Scarnati, J. T. (2001). On becoming a team player. *Team Performance Management: An International Journal*, 7(1/2):5–10.
- Sutherland, J. J. (2020). *SCRUM: guia prático*. Rio de Janeiro: Sextante.
- Whitehead, J. (2007). Collaboration in software engineering: A roadmap. *Future of Software Engineering (FOSE '07)*, pages 214–225.

Percepção dos Desenvolvedores sobre Comunicação em Desenvolvimento de Software

Jessica Garcia¹, Joyce Oliveira¹, Vanice Cunha², Christiane Nobre², Giulla Araújo³, Eunice Nunes², Cristiano Araújo²

¹Faculdade de Engenharia – Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT)
Rua Quarenta e Nove, 2367 - Boa Esperança, Cuiabá - MT - Brasil

²Instituto de Computação – Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT)
Rua Quarenta e Nove, 2367 - Boa Esperança, Cuiabá - MT - Brasil.

³Tribunal de Contas do Estado de Mato Grosso (TCEMT)
Rua Conselheiro Benjamin, 01 - Centro Político Administrativo, Cuiabá - MT - Brasil

Jessicagarcia132012@hotmail.com,
joyceoliveira@ufmt.br, {eunice.ufmt, crismac}@gmail.com,
{vanice, christiane}@ic.ufmt.br, giulla@tce.mt.gov.br

Abstract. *Communication has been a widely studied factor, because when performed ineffectively it leads to problems that affect the delivery of products and services to customers. In the context of software development, teams with gaps associated with communication are hampered in terms of time, cost and effort. This article investigates, from the perspective of developers, definitions, strategies, tools, factors and attitudes related to communication that affect software development. The results show that meetings, videoconferencing tools, interpersonal relationships and trust between team members are elements that potentialize the communication.*

Resumo. *A comunicação tem sido um fator amplamente estudado, pois quando realizada de maneira ineficaz leva a problemas que afetam a entrega de produtos e serviços aos clientes. No contexto do desenvolvimento de software, as equipes com lacunas associadas a comunicação são prejudicadas em termos de tempo, custo e esforço. Este artigo investiga, sob a perspectiva de desenvolvedores, definições, estratégias, ferramentas, fatores e atitudes relacionados à comunicação que afetam o desenvolvimento de software. Os resultados mostram que reuniões, ferramentas de videoconferência, relações interpessoais e a confiança entre os membros da equipe são elementos que potencializam a comunicação.*

1. Introdução

O processo de desenvolvimento de aplicações realizado por equipes é influenciado por um conjunto de fatores técnicos, de negócio e humanos que caracterizam a natureza da engenharia de software [Wende et al, 2013]. Entre os fatores humanos inerentes às equipes de desenvolvimento de software se destaca a comunicação

Al-Ani e Edwards (2008) definiram comunicação como “atividade ou processo de expressar ideias e sentimentos ou de dar informações às pessoas”. Yangüe et al. (2016) e

Khan et al. (2015) ressaltam que a comunicação é a função principal usada para trocar as informações entre os membros da equipe. Hsu et al. (2012) afirmam que a comunicação consiste no processo de transferência de informações entre os membros da equipe. Santos et al. (2014) argumentam que a comunicação flui da fonte para o receptor, resultando em transferência e compreensão de um significado” e complementa, apoiando-se em Dierkes et al. (2003), que este processo só é efetivo se o destinatário puder absorver o conteúdo da mensagem e utilizá-lo.

Thissen et al. (2007) e Staton (2017), afirmam que quando a comunicação é realizada ineficazmente prejudica o andamento das ações de rotina e cria conflitos entre as equipes de software. De acordo com Misnevs e Demiray (2017), lacunas na comunicação geram problemas que afetam a entrega de produtos e serviços aos clientes. As tarefas podem ser erroneamente alocadas e, conseqüentemente, mal realizadas prejudicando tempo, custo e esforço relacionados ao desenvolvimento de software [Santos et al, 2014; Schmidt e Meures, 2016; Rutz e Tanner, 2016].

Existem várias interferências que podem limitar a compreensão da mensagem no ato da comunicação, podendo impedi-la por completo, filtrar parte dela ou ainda atribuir um sentido errôneo [Dias, 2013]. Segundo David (1995), o nível de comunicação é frequentemente criticado como insuficiente ou incompleto em diversas estruturas organizacionais. Pessoas, geralmente, acreditam que se comunicam adequadamente. Contudo, o funcionamento como um todo é considerado deficiente.

Em um estudo feito por Dias (2013) considerando fatores humanos em equipes de engenharia de software, para que a comunicação seja efetiva em projetos existe a necessidade, prioritariamente, de comunicações horizontais flexíveis mesmo em uma organização hierárquica. Sendo assim, uma efetiva comunicação entre equipes é essencial para um esforço colaborativo em engenharia de software [Misnevs e Demiray, 2017].

Cramton e Webber (2005) examinaram como a dispersão geográfica afeta a comunicação em equipes de desenvolvimento de software e utilizaram a perspectiva dos sistemas sociotécnicos para orientar a exploração dessa questão no artigo. Khan et al. (2015) apresentam uma estrutura que mostra o efeito das distâncias geográficas, socioculturais e temporais na comunicação durante o processo de Gerenciamento de Mudanças de Requisitos (RCM) no Desenvolvimento Global de Software (GSD). Com esse estudo eles concluíram que esses três fatores têm um forte impacto negativo no processo de comunicação.

Por sua vez, Graziotin et al. (2018) investigaram que a felicidade é um fator que influencia positivamente a comunicação levando a formas econômicas de melhorar as condições e o desempenho no trabalho, além da diminuição da ocorrência de distúrbios psicológicos. Mishra et al. (2012) observaram o efeito de diferentes elementos do ambiente físico na comunicação, coordenação e colaboração. De acordo com este estudo, um ambiente de trabalho aberto com apenas barreiras de vidro a meia altura e espaço comum desempenha um papel importante na comunicação entre os membros da equipe.

Este artigo tem como objetivo geral analisar a relevância da comunicação para o sucesso de projetos de desenvolvimento de software. Como objetivos específicos, busca-se identificar: i) a compreensão de desenvolvedores sobre o termo ‘comunicação’; ii) as estratégias associadas à comunicação, iii) a investigação dos fatores que afetam a

comunicação, iv) as ferramentas que auxiliam o processo da comunicação e v) fatores e atitudes dos desenvolvedores ante situações relacionadas a comunicação.

Este artigo busca se diferenciar dos estudos descritos anteriormente, por se concentrar especificamente na comunicação e por apresentar a visão de especialistas sobre os elementos como definições, estratégias, ferramentas, fatores e atitudes relacionados à comunicação no contexto de desenvolvimento de software.

O artigo está estruturado da seguinte forma: a seção 2 apresenta a metodologia usada para investigar a comunicação na perspectiva dos desenvolvedores; a seção 3 apresenta os resultados e discussões, que agregam respostas às questões de pesquisa sob a ótica de desenvolvedores com comparações sobre o que a literatura diz a respeito do tópico em discussão; na seção 5 são apresentadas as conclusões do estudo realizado.

2. Metodologia

O presente estudo foi conduzido por meio de uma pesquisa de opinião, que de acordo com Pfleeger e Kitchenham (2001) consiste em um método de pesquisa que possui por principal técnica de coleta de dados questionários ou checklists que compõe uma estratégia abrangente para descrever, comparar ou explicar conhecimentos, atitudes e os comportamentos a partir dos dados obtidos. Esse método foi escolhido por ser amplamente utilizado para coletar informações e possibilitar o estudo de um fenômeno sob a ótica de sujeitos que, rotineiramente, estão imersos no contexto investigado.

Como a pesquisa de opinião busca por indivíduos que possuem características definidas previamente, a amostra pode ser caracterizada como não probabilística por julgamento. A amostra por julgamento tem objetivo exploratório e pode ser utilizada em grupos reduzidos de indivíduos. Não faz sentido calcular erro amostral ou número mínimo de participantes neste tipo de amostra.

Dentre os vários profissionais que atuam na computação, os desenvolvedores são os atores envolvidos diretamente no processo de análise, programação e teste em um projeto de desenvolvimento de software. Desta forma, esta pesquisa tem como foco a seleção de desenvolvedores com o objetivo de conhecer a opinião destes profissionais sobre definições, estratégias, ferramentas, fatores e atitudes relacionados à comunicação no contexto de desenvolvimento de software.

Como processo de busca e seleção destes profissionais, foi realizada uma busca em língua portuguesa, na rede social de negócios ‘Linkedin’. Nessa rede é possível selecionar a categoria da profissão, sendo que foram identificados 274 profissionais classificados como desenvolvedores. Após essa etapa, foi encaminhado por correio eletrônico em 01/03/2019 um formulário a cada identificado, com prazo de resposta até 30/04/2019. Acredita-se que a pesquisa através da internet possibilita uma maior abrangência e acesso a desenvolvedores sem limitações das fronteiras geográficas, limitando-se apenas pela língua portuguesa.

Para elaboração do formulário, as perguntas foram retiradas da literatura relacionada à comunicação em equipes de desenvolvimento de software. Foram criadas perguntas objetivas com campos adicionais para os desenvolvedores fornecerem sugestões e opiniões. No total, foram definidas 24 questões compostas por cinco alternativas de resposta.

O formulário disponibilizado aos desenvolvedores possui seis questões demográficas relacionadas ao perfil que englobam o nome do participante, sua formação acadêmica, nome da empresa em que trabalha, quantos anos trabalha na empresa e quanto tempo trabalha na área de desenvolvimento de software. Além disso, o formulário também abordou perguntas sobre o entendimento do participante a respeito da comunicação e sobre os fatores que atuam sobre a comunicação.

O Google Forms foi utilizado para elaborar o formulário. Os dados foram categorizados e analisados por meio de análise temática [Cruzes e Dyba, 2011]. Palavras centrais associadas as respostas foram classificadas por temas que representam a ideia central das opiniões dadas pelos especialistas. As respostas foram tabuladas e categorizadas utilizando técnicas da estatística descritiva. O questionário completo pode ser acessado em goo.gl/forms/pTHXnKah5aXUnzt02

3. Resultados e Discussões

Foram enviados 274 convites, sendo que 34 desenvolvedores aceitaram responder o formulário. Dentre os desenvolvedores participantes, cerca de 88% tem graduação e 12% pós-graduação, significando que a grande maioria dos profissionais não participaram de estudos mais avançados. A média ponderada de tempo de exercício da atividade está em cerca de cinco anos, sendo que 24% tem menos de dois anos de trabalho e 21% tem mais de nove anos de profissão. Cerca de 56% dos profissionais tem no máximo cinco anos de atividade, sinalizando que a maioria ainda está no início da curva de aprendizagem profissional.

A definição de comunicação é essencial para o entendimento da relevância deste fator no desenvolvimento de software. Com base no conceito de comunicação estratégias podem ser elaboradas para geri-la e fomentá-la na organização. Perguntou-se aos desenvolvedores qual seria o conceito de comunicação:

- 47,06% dos desenvolvedores se associaram à percepção de Yagüe et al. (2016) que afirmaram que “a comunicação é o processo de transmissão ou troca de informações através da fala, escrita ou meios tecnológicos”;
- 14,7% dos desenvolvedores concordaram com Dullemond et al. (2011) que destacaram que “a comunicação permite o compartilhamento de informações entre as pessoas do mesmo projeto, gerenciando a troca de conhecimento para resolver tarefas e conflitos”;
- 11,77% dos desenvolvedores seguiram o conceito de Vincent (2008), que defende que “a comunicação é o desenvolvimento da compreensão de uma ideia ou conceitos transmitidos entre as pessoas”;
- 11,77% dos desenvolvedores apoiaram a definição de Mishra et al. (2012) que ressaltaram que “a comunicação é a transferência e compreensão de significados partindo de uma fonte por meio de fala, escrita ou sinais”;
- 8,82% dos participantes indicaram que “a comunicação é definida como um processo de transferência de informações entre os membros da equipe, podendo ser clara ou não.” Esta definição também é dada por Guzzi et al. (2012) que afirmam que “a comunicação produz a capacidade de processar informações”;
- um desenvolvedor de forma objetiva afirmou que a comunicação consiste em “transmitir uma mensagem, independente do meio”;
- um desenvolvedor se absteve de opinar sobre o conceito de comunicação.

3.1. Estratégias para comunicação em equipes de desenvolvimento de software

Estratégias neste artigo podem ser compreendidas como soluções para melhorar a comunicação.

- 38,23% dos desenvolvedores afirmaram que a estratégia mais eficiente de comunicação em desenvolvimento de software consiste em reuniões com toda equipe. Misnevs e Demiray (2017) também destacam a eficiência desta estratégia por facilitar a percepção de sinais não verbais como linguagem corporal e expressões faciais.
- 23,53% dos desenvolvedores alegam que uma boa estratégia é a comunicação por ferramentas que minimizem a distância geográfica, como de videoconferência e de mensagens instantânea. Bano et al. (2016) corroboram a importância dessa estratégia principalmente quando a equipe é geograficamente dispersa.
- 20,59% dos desenvolvedores ressaltaram que troca de informações formais, ou seja, por meio de relatórios, atas, códigos comentados também consiste em uma boa estratégia de comunicação. Esta é uma das estratégias investigadas por Guzzi et al. (2012), que inclusive propõe uma ferramenta que foca na inserção de comentários no código fonte como meio de comunicação.
- 17,65% dos desenvolvedores afirmaram que conversas presenciais e informais entre os membros da equipe também consiste em uma ferramenta estratégica visto que a informalidade dá abertura para troca de experiências e aprendizado. Korkala e Maurer (2014) concordam com essa perspectiva e afirmam que a comunicação informal prover rápido feedback e consequentemente, rápida correção de erros.

3.2. Ferramentas de apoio à comunicação em equipes de desenvolvimento de software

É classificada como uma ferramenta todo meio automatizado para auxiliar uma parte do processo e suportar tarefas de processo individuais, como verificar a consistência de um projeto, compilar um programa e comparar os resultados dos testes [Sommerville, 2007]. Na análise do uso de ferramentas de apoio à comunicação, quanto ao uso do correio eletrônico:

- 75,53% dos desenvolvedores o consideram regular.
- 17,65% dos desenvolvedores o acham ruim; o motivo da baixa aceitação consiste na demora de feedback e nos riscos envolvidos no recebimento da mensagem, por exemplo, se a caixa do receptor estiver cheia, o correio eletrônico pode não ser recebido.
- 8,82% dos desenvolvedores o consideram ótimo.

Quanto ao chat como ferramenta, os desenvolvedores:

- 52,94% acham regular.
- 26,47% consideram chat e redes sociais ótimas.
- 20,59% consideram ruim.

Com relação a videoconferência, os desenvolvedores:

- 55,88% concordam que é uma ótima ferramenta para realização dos projetos.
- 41,18% acham regular.
- 2,94% consideraram essa ferramenta ineficaz para o desenvolvimento de software,

Quanto ao telefone, os desenvolvedores perceberam que:

- 70,58% acham regular como meio de comunicação em equipes de desenvolvimento de software.
- 14,71% acham ruim.

- 14,71% acham uma ferramenta ótima.

3.3. Fatores que influenciam a comunicação em equipes de desenvolvimento de software

Neste artigo, consideramos fatores os elementos que atuam como barreiras ou facilitadores que impactam a comunicação da forma que são geridos. Entre os desenvolvedores:

- 38,23% acreditam que o fator que afeta a comunicação em equipes de desenvolvimento de software é a falta de relações interpessoais; esse fator foi observado por Matturro et al. (2015), onde desenvolvedores normalmente possuem personalidade introspectiva, o que dificulta a interação.
- 23,53% afirmaram rejeição por parte da equipe.
- 23,53% acreditam que conflitos entre os membros também são fatores que afetam a comunicação no processo de desenvolvimento das aplicações.
- 11,77% alegaram que a distância física prejudica a comunicação, o que é um ponto interessante visto que segundo Rutz e Tanner (2016), este é um fator amplamente abordado na literatura como um dos mais negativos à comunicação no contexto de equipes de desenvolvimento de software.
- 2,94% acham que a diversidade cultural consiste em um impedimento à comunicação em equipes de desenvolvimento de software. Esse é um fator abordado por Guzzi et al. (2012) e Wende et al. (2013) que também afirmam que diferentes linguagens, tradições, religiões e políticas afetam a comunicação em equipes de desenvolvimento de software. Os desenvolvedores ainda mencionaram individualismo, ou seja, membros da equipe que não compartilham as informações como um fator negativo à comunicação. De acordo com Iden e Bygstad (2018), este fator ocorre por falta de confiança entre os membros da equipe que podem se sentir ameaçados pela competitividade ou se sentirem inferiorizados ante aqueles que possuem maior conhecimento. O excesso de informação que acaba diluindo as informações importantes também foi apresentado como fator negativo à comunicação nesse contexto. Schröter et al. (2012) afirmam que neste caso é essencial que a equipe dê enfoque a qualidade da informação de modo que o que é relevante seja priorizado.

A comunicação é tida como um dos aspectos associados aos humanos. A atitude do receptor diante do recebimento da mensagem do emissor em muitos casos é influenciada por motivações psicológicas e comportamentais. Ao serem questionados sobre qual atitude os desenvolvedores tomam ao receber uma informação que não compreendem:

- 50% afirmaram que inicialmente tentam compreender o conteúdo sozinhos realizando pesquisas; apenas após essa atitude o receptor questiona o emissor da mensagem.
- 41,18% dos desenvolvedores afirmaram que imediatamente questionam o emissor da mensagem.
- 5,88% questionam outra pessoa da equipe com quem possuem maior afinidade.
- 2,94% tentam compreender sozinhos e não questionam o emissor da mensagem; é perceptível que a falta de confiança e o receio de ser inferiorizado impedem que os desenvolvedores questionem os receptores, o que pode levar à interpretação errônea da mensagem e, conseqüentemente, a falhas e retrabalhos no processo de desenvolvimento [Misnevs e Demiray, 2017].

3.4. Implicações teóricas e práticas

A comunicação é um fator mediador fortemente vinculado à coordenação e controle da equipe e é essencial para qualquer esforço colaborativo bem-sucedido [Al-Ani e Edwards, 2008; Thissen et al., 2007; Fernando et al., 2011; Korkala et al., 2010]. Dadas essas características, a comunicação eficaz é um dos principais contribuintes para o

sucesso dos projetos de desenvolvimento de software [Kluender et al., 2017, Prenner et al., 2018].

Nesse contexto, a incapacidade dos membros da equipe de coordenar e comunicar de maneira suficiente e eficaz leva a três grandes problemas com a produção de software: atrasos na entrega, requisitos mal definidos e esforços repetidos de desenvolvimento [Nordio et al., 2011; Marczak e Damian, 2011; Taweel et al., 2009]. A comunicação não elaborada e de baixa qualidade (ou sua perda) são os principais motivos para a falha do projeto de software. Esses pontos levam a uma falta de alinhamento às informações organizacionais e técnicas, à baixa qualidade do processo adotado para a produção, à redução do andamento do projeto e ao aumento do custo do software [de Farias Junior et al., 2016; Khan et al., 2015; Damian et al., 2013; Niinimaki et al., 2009].

Considerando os argumentos acima mencionados, este artigo tem como principal implicação prática a identificação de definições, estratégias, ferramentas, fatores e atitudes relacionados à comunicação sob a visão de desenvolvedores que rotineiramente estão imersos em equipes que realizam atividades de desenvolvimento de software.

Esse resultado pode ser útil a nível prático para desenvolvedores e gestores interessados em entender os problemas na equipe de desenvolvimento de software, gerados pela comunicação ineficiente, tomando-os como ponto de partida para criar estratégias de mitigação e transformá-los em facilitadores. A nível teórico, os resultados contribuem para o aumento do conhecimento da área.

4. Conclusões

Este artigo investigou definições, estratégias, ferramentas, fatores e atitudes associadas a comunicação em equipes de desenvolvimento de software sob a visão de desenvolvedores. Foi formulado um conceito no qual a comunicação é caracterizada como um processo de transmissão de ideias, pensamentos, informações, opiniões e sentimentos, independentemente do método utilizado - falado, escrito ou por sinais -, que visa alcançar um entendimento entre os pares. Concluiu-se também que, de acordo com os desenvolvedores que participaram da pesquisa, a estratégia de comunicação mais eficiente é a realização de reuniões com toda equipe.

Com relação as ferramentas, os desenvolvedores consideraram que recursos de videoconferência são os mais precisos no apoio à comunicação em equipes de desenvolvimento de software. Os desenvolvedores acreditam que o fator de maior negatividade à comunicação é a falta de relações interpessoais, o que contradiz a literatura, que amplamente investiga a dispersão geográfica como fator que mais afeta a comunicação no contexto mencionado. Os participantes afirmaram que ao não compreenderem uma informação, a maioria tenta interpretá-la sem ajuda.

Uma porcentagem ainda afirmou que mesmo sem entender a mensagem, não pede ajuda ao receptor ou às pessoas próximas para compreendê-la, o que pode levar a erros e a retrabalho no processo de construção de software. Percebe-se, portanto, que há vários fatores humanos, seja com relação a atitudes do destinatário da mensagem, seja referente à reação do receptor, que impactam a comunicação e, conseqüentemente, a eficácia do desenvolvimento de software. Características comportamentais e psicológicas são ricas fontes a serem exploradas para uma maior compreensão acerca da influência destes aspectos sobre o indivíduo e sua atuação enquanto membro de uma equipe. Os autores

agradecem a parceria firmada entre a UFMT, a Uniselva e o TCE-MT que possibilitou a realização da pesquisa

Referências bibliográficas

- Al-Ani, B. and Edwards, H.K. 2008. “A comparative empirical study of communication in distributed and collocated development teams”, in 2008 IEEE International Conference on Global Software Engineering, IEEE, August, pp.35–44.
- Bano, M., Zowghi, D., & Sarkissian, N. 2016. “Empirical study of communication structures and barriers in geographically distributed teams”. *IET Software*, 10(5), 147-153
- Cramton, C. D., & Webber, S. S. 2005. “Relationships among geographic dispersion, team processes, and effectiveness in software development work teams”. *Journal of Business Research*, 58(6), 758-765
- Cruzes, D. S., & Dyba, T. 2011. “Recommended steps for thematic synthesis in software engineering”. In 2011 international symposium on empirical software engineering and measurement, IEEE. September, pp. 275-284.
- Damian, D., Helms, R., Kwan, I., Marczak, S. and Koelewijn, B. 2013. “The role of domain knowledge and cross-functional communication in socio-technical coordination”, in 2013 35th International Conference on Software Engineering (ICSE), IEEE, May, pp.442–451.
- David, W. 1995. *Managing Company-Wide Communication*, Chapman & Hall, London, United Kingdom.
- de Farias Junior, I., Marczak, S., Santos, R., & Moura, H. 2016. *Communication in Distributed Software Development: A Preliminary Maturity Model*. In 2016 IEEE 11th International Conference on Global Software Engineering (ICGSE). IEEE. August. pp. 164-173.
- Dias, F.N.M. 2013. “O impacto do crescimento de equipes de software nos fatores individuais e nos processos em grupo: Um estudo de caso”, *Dissertação de mestrado*. Universidade Federal de Pernambuco.
- Dullemond, K., van Gameren, B., & van Solingen, R. 2011. An exploratory study on open conversation spaces in Software Engineering. In 7th International Conference on Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing (CollaborateCom)IEEE. October. pp. 307-316.
- Fernando, B.A.J., Hall, T. and Fitzpatrick, A. 2011. “The impact of media selection on stakeholder communication in agile global software development: a preliminary industrial case study”, in *Proceedings of the 49th SIGMIS Annual Conference on Computer Personnel Research*, ACM, May, pp.131–139
- Graziotin, D., Fagerholm, F., Wang, X., & Abrahamsson, P. 2018. “What happens when software developers are (un) happy”. *Journal of Systems and Software*, 140, 32-47.
- Guzzi, A., Begel, A., Miller, J. K., & Nareddy, K. 2012. “Facilitating enterprise software developer communication with CARES”. In 2012 28th IEEE International Conference on Software Maintenance (ICSM). September. pp. 527-536. IEEE.

- Hsu, J.S.C., Shih, S.P., Chiang, J.C. and Liu, J.Y.C. 2012. ‘The impact of transactive memory systems on IS development teams’ coordination, communication, and performance’, *International Journal of Project Management*, v.30, n.3, pp.329–340.
- Iden, J. and Bygstad, B. 2018. “The social interaction of developers and IT operations staff in software development projects”, *International Journal of Project Management*, Vol. 36, No. 3, pp.485–497.
- Korkala, M., Pikkarainen, M., & Conboy, K. 2010. (June). “A case study of customer communication in globally distributed software product development”. In *Proceedings of the 11th International Conference on Product Focused Software* (pp. 43-46). ACM.
- Korkala, M. and Maurer, F. 2014. “Waste identification as the means for improving communication in globally distributed agile software development”, *Journal of Systems and Software*, 1th edition Vol.95, pp.122–140.
- Khan, A. A., Keung, J., Hussain, S., & Bennin, K. E. 2015. (April). Effects of geographical, socio-cultural and temporal distances on communication in global software development during requirements change management a pilot study. In *2015 International Conference on Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering (ENASE)* (pp. 159-168). IEEE.
- Kluender, J., Unger-Windeler, C., Kortum, F. and Schneider, K. 2017. “Team meetings and their relevance for the software development process over time”, in *2017 43rd Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA)*, IEEE, August, pp.313–320.
- Marczak, S. and Damian, D. 2011. “How interaction between roles shapes the communication structure in requirements-driven collaboration”, in *2011 IEEE 19th International Requirements Engineering Conference*, IEEE, August, pp.47–56.
- Matturro, G., Raschetti, F., & Fontán, C. 2015. (May). Soft skills in software development teams: A survey of the points of view of team leaders and team members. In *Proceedings of the Eighth International Workshop on Cooperative and Human Aspects of Software Engineering* (pp. 101-104). IEEE Press.
- Mishra, D., Mishra, A., & Ostrovska, S. 2012. Impact of physical ambiance on communication, collaboration and coordination in agile software development: An empirical evaluation. *Information and software Technology*, 54(10), 1067-1078.
- Misnevs, B. and Demiray, U. 2017. “The role of communication and meta-communication in software engineering with relation to human errors”, *Procedia Engineering*, Vol. 178, pp.213–222.
- Nordio, M., Estler, H. C., Meyer, B., Tschannen, J., Ghezzi, C., & Di Nitto, E. 2011. (August). How do distribution and time zones affect software development? a case study on communication. In *2011 IEEE Sixth International Conference on Global Software Engineering* (pp. 176-184). IEEE.
- Niinimäki, T., Piri, A. and Lassenius, C. 2009. “Factors affecting audio and text-based communication media choice in global software development projects”, in *2009 Fourth IEEE International Conference on Global Software Engineering*, IEEE, July, pp.153–162.4

- Pfleeger, S. L., & Kitchenham, B. A. 2001. Principles of survey research: part 1: turning lemons into lemonade. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 26(6), 16-18.
- Prenner, N., Klünder, J. and Schneider, K. 2018. ‘Making meeting success measurable by participants’ feedback’, in *Proceedings of the 3rd International Workshop on Emotion Awareness in Software Engineering*, ACM, June, pp.25–31.
- Rutz, L. and Tanner, M. 2016. ‘Factors that influence performance in global virtual teams in outsourced software development projects’, in *2016 IEEE International Conference on Emerging Technologies and Innovative Business Practices for the Transformation of Societies (EmergiTech)*, IEEE, August, pp.329–335.
- Santos, V., Goldman, A., Martins, D., & Cortés, M. 2014. (January). The Influence of Organizational Factors on Inter-team Knowledge Sharing Effectiveness in Agile Environments. In *2014 47th Hawaii International Conference on System Sciences* (pp. 4729-4738). IEEE.
- Schmidt, N., & Meures, C. 2016. (January). " Mind the Gap": An Analysis of Communication in Agile Global Outsourced Software Development Projects. In *2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)* (pp. 501-510). IEEE.
- Schröter, A., Aranda, J., Damian, D. and Kwan, I. 2012. ‘To talk or not to talk: factors that influence communication around changesets’, in *Proceedings of the ACM 2012 Conference on Computer Supported Cooperative Work*, ACM, February, pp.1317–1326.
- Sommerville, I. 2007. *Software Engineering*, 8ed, v.8, n.9, p.10, Pearson, Add. Wesley.
- Taweel, A., Delaney, B., Arvanitis, T.N. and Zhao, L. 2009. ‘Communication, knowledge and co-ordination management in globally distributed software development: informed by a scientific software engineering case study’, in *2009 Fourth IEEE International Conference on Global Software Engineering*, IEEE, July, pp.370–375.
- Thissen, M. R., Page, J. M., Bharathi, M. C., & Austin, T. L. 2007. (April). Communication tools for distributed software development teams. In *Proceedings of the 2007 ACM SIGMIS CPR conference on Computer personnel research: The global information technology workforce* (pp. 28-35). ACM.
- Vincent, M. 2008. (May). Communicating requirements for business: UML or problem frames? In *Proceedings of the 3rd international workshop on Applications and advances of problem frames* (pp. 16-22). ACM.
- Wende, E., Schwabe, G., Philip, T. and King, G. 2013. ‘Why they do not understand – a model of knowledge discourse in the transition phase of globally distributed projects’, in *2013 46th Hawaii International Conference on System Sciences*, IEEE, January, pp.396–405.
- Yagüe, A., Garbajosa, J., Díaz, J., & González, E. 2016. An exploratory study in communication in Agile Global Software Development. *Computer Standards & Interfaces*, 48, 184-197.

Index of Authors

- Abdala, Matheus, [171](#)
Araújo, Cristiano, [281](#)
Araújo, Giulla, [281](#)
- Berretta, Luciana, [123](#), [149](#)
Bittar, Thiago, [9](#)
Borges, Vinicius, [67](#)
- Calú, José, [191](#)
Campos, Lívia, [211](#)
Carvalho, Celso, [109](#)
Carvalho, Gabriel, [23](#)
Castro, Marcelo, [181](#)
Coelho, Hebert, [137](#)
Corrêa, Henrique, [161](#), [181](#)
Cunha, Vanice, [281](#)
- Fernandes, Katia, [53](#)
Ferreira, David, [109](#)
Ferreira, Deller, [123](#)
Ferreira, João, [211](#)
Ferreira, Julio, [257](#)
Ferreira, Marcus, [95](#)
Formiga, Vanessa, [221](#)
- Galdino, Cárlisson, [191](#)
Garcia, Jessica, [281](#)
- Júnior, Cleon, [211](#)
Júnior, Edinaldo, [39](#), [231](#), [245](#)
Júnior, Wanderlei, [9](#)
- Komati, Karin, [201](#)
Kunzler, Jonas, [53](#)
- Leite, Felipe, [191](#)
Lemos,Rodrigo , [53](#)
Lima, Junio, [257](#)
Lobato, Luanna, [9](#)
Lopes, Gustavo, [171](#)
Lopes, Hudson, [81](#)
Lyrio, Jordan, [201](#)
- Marinho, Max, [39](#)
- Mendes, Ivo, [9](#)
Mombach, Jaline, [221](#)
Moraes, Daniel, [267](#)
- Neto, Adílio, [53](#)
Neto, Antonio, [211](#)
Netto, João, [137](#)
Nobre, Christiane, [281](#)
Nunes, Eunice, [281](#)
- Obana, Fernando, [39](#), [231](#), [245](#)
Oliveira, Jerlianni, [149](#)
Oliveira, Joyce, [281](#)
Oliveira, Juliano, [267](#)
Oliveira, Luma, [23](#)
Oliveira, Rômulo, [191](#)
Oliveira, Thalita, [231](#), [245](#)
- Pereira, Rogerio, [23](#)
- Rainer, Wanderson, [23](#)
Rezende, Ana, [161](#)
Ribeiro, Diogo, [257](#)
Rocha, Flávio, [67](#), [81](#)
Rosa, Pedro, [67](#)
- Santana, Rosângela, [123](#)
Santos, Raimunda, [149](#)
Silva, Júlio, [171](#)
Silva, Maykon, [67](#)
Silva, Sara, [39](#), [231](#), [245](#)
Silva, Waldir, [109](#)
Silva,Hugo, [53](#)
Sousa, Daniel, [53](#)
Souza, Adriana, [267](#)
Sperotto, Lucas, [39](#), [231](#)
- Trindade, Daniel, [201](#)
- Vieira, Flávio, [95](#), [161](#), [181](#)
Vieira, Gabriel, [257](#)
- Zacca, Flavio, [23](#)