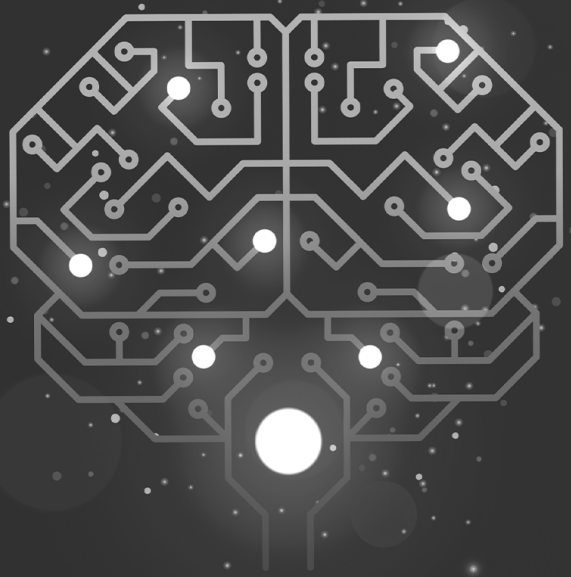
ENGENHARIAS:
qualidade, produtividade e inovação tecnológica

Mariana Natale Fiorelli Fabiche
(Organizadora)

Atena Editora
Ano 2023

ENGENHARIAS:
qualidade, produtividade e inovação tecnológica



Mariana Natale Fiorelli Fabiche
(Organizadora)

Atena Editora
Ano 2023

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA E ENGENHARIAS

Editora chefe
Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Editora executiva
Natalia Oliveira
Assistente editorial
Flávia Roberta Barão
Bibliotecária
Janaina Ramos
Projeto gráfico
Camila Alves de Cremo
Ellen Andressa Kubisty
Luiza Alves Batista
Nataly Evilin Gayde
Thamires Camili Gayde
Imagens da capa
iStock
Edição de arte
Luiza Alves Batista

2023 *by Atena Editora*
Copyright © Atena Editora
Copyright do texto © 2023 Os autores
Copyright da edição © 2023 Atena Editora
Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.
Open access publication by Atena Editora

Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial
Ciências Exatas e da Terra e Engenharias
Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Profª Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA E ENGENHARIAS

Engenharias: qualidade, produtividade e inovação tecnológica

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Yaiddy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadora: Mariana Natale Fiorelli Fabiche

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharias: qualidade, produtividade e inovação tecnológica / Organizadora Mariana Natale Fiorelli Fabiche. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-258-1694-4
DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.944232609

1. Engenharia. I. Fabiche, Mariana Natale Fiorelli (Organizadora). II. Título.

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access, desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce,* ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

A ligação entre a teoria e a prática na engenharia se tornou um grande desafio dentro das instituições de ensino. Frente a esse desafio, a coleção "Engenharias: qualidade, produtividade e inovação tecnológica" é uma coleção de trabalhos científicos de grande relevância e que aborda diversos temas atuais dentro das áreas da Engenharia. Composta por capítulos categorizados e interdisciplinares, com uma abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, graduados, alunos de pós-graduação, docentes, tecnólogos e profissionais da área, apresentando metodologias diversas e modernas, com estudo de caso reais de modo a facilitar o entendimento teórico/prático do assunto e sua aplicação para real para as tomadas de decisões.

Além do mais, a obra busca incentivar a divulgação de novos trabalhos e ressalta a importância dos pesquisadores em divulgar seus trabalhos por meio de plataformas confiáveis, como a Atena Editora.

Aos autores, agradeço pela confiança e parceria.

Boa leitura.

Mariana Natale Fiorelli Fabiche.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 1

APLICAÇÕES DOS MATERIAIS DE MUDANÇA DE FASE (PCM) EM SISTEMAS PASSIVOS: BREVE REVISÃO DE LITERATURA

Mariana Natale Fiorelli Fabiche

https://doi.org/10.22533/at.ed.9442326091

CAPÍTULO 2 14

UMA REVISÃO SISTEMÁTICA INTEGRATIVA DE SIMULADORES DE CHUVA

Herlane Costa Calheiros
Isabela Carolina Mota
Karollainny Ágata Ribeiro de Faria
Ellen de Fátima Ferreira

https://doi.org/10.22533/at.ed.9442326092

CAPÍTULO 3 24

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO EM LAJES ALVEOLARES PROTENDIDAS

Herbert Medeiros Torres Lopes
Luís Philipe Ribeiro Almeida
Lucas da Mata Rocha Menezes
Ray Calazans dos Santos Silva

https://doi.org/10.22533/at.ed.9442326093

CAPÍTULO 4 41

ANÁLISE E OBTENÇÃO DE PROPOSTAS DE REDUÇÃO DE CUSTOS APLICADAS NA CADEIA PRODUTIVA DE MOTOCICLETAS

Gerson Pedro Favacho Lopes
Mailson Batista de Vilhena
Helder Kiyoshi Miyagawa
Edilson Marques Magalhães
Bruno Marques Viegas

https://doi.org/10.22533/at.ed.9442326094

CAPÍTULO 5 54

APRIMORANDO O ENSINO UNIVERSITÁRIO: EXPLORANDO AS PODEROSAS TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, COM ENFOQUE EM *CHABOTS* COMO FERRAMENTA DE APOIO

Márcio Mendonça
Vicente de Lima Gongora
Miguel Angel Chincaro Bernuy
André Luiz Salvat Moscato
Michelle Eliza Casagrande Rocha
Janaína Fracaro de Souza Gonçalves
José Augusto Fabri
Wagner Fontes Godoy
Marcos Antônio de Matos Laia
Vera Adriana Huang Azevedo Hypólito

Carlos Alberto Paschoalino
Fabio Rodrigo Milanez
Luiz Francisco Sanches Buzachero
Henrique Cavalieri Agonilha
Marcos Banheti Rabello Vallim
Kazuyochi Ota Junior
Francisco de Assis Scannavino Junior
Matheus Gil Bovolenta
Fabio Nogueira de Queiroz

https://doi.org/10.22533/at.ed.9442326095

CAPÍTULO 6 68

AVALIAÇÃO DA TEMPERATURA INTERNA DO AR EM UMA ESTRUTURA DE PEQUENO PORTE UTILIZANDO DIFERENTES MÉTODOS MATEMÁTICOS

Jean Carlos de Almeida Nobre
David Lohan Pereira de Sousa
Larissa dos Santos Borges
Jerson Rogério Pinheiro Vaz
Silvio Bispo de Vale
Luiz Claudio Fialho Andrade

https://doi.org/10.22533/at.ed.9442326096

CAPÍTULO 7 81

AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS DE REDES NEURAIS DE APRENDIZADO PROFUNDO PARA SEGMENTAÇÃO DE FERIDAS MALIGNAS CUTÂNEAS EM IMAGENS

Rafael Cardoso Ribeiro da Costa
Rafael Roque de Souza
Robson Cavalcanti Lins
Iago Richard Rodrigues Silva

https://doi.org/10.22533/at.ed.9442326097

CAPÍTULO 8 90

ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DE SIMULADORES DE CHUVA: INVESTIGANDO A PESQUISA CIENTÍFICA

Herlane Costa Calheiros
Isabela Carolina Mota
Karollainny Ágata Ribeiro de Faria
Ellen de Fátima Ferreira

https://doi.org/10.22533/at.ed.9442326098

CAPÍTULO 9 99

BIOADSORVENTE DE FOLHAS GASTAS DE *Cymbopogon citratus* PARA REMOÇÃO DE HIDROXICLOROQUINA

Ramiro Picoli Nippes
Paula Derksen Macruz
Aline Domingues Gomes

Thaísa Frossard Coslop
Rodrigo de Souza Antônio
Leonardo Zavilenski Fogaça
Mara Heloisa Neves Olsen Scaliante

https://doi.org/10.22533/at.ed.9442326099

CAPÍTULO 10 108

DEGRADAÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO UTILIZANDO ALUMINOFOSFATO DE ZINCO COMO FOTOCATALISADOR

Antônio Carlos Marangoni
Omar José de Lima
Tais Arthur Corrêa
Rafael Junqueira Marangoni

https://doi.org/10.22533/at.ed.94423260910

CAPÍTULO 11 144

DIMENSIONAMENTO DE PARQUE EÓLICO A PARTIR DE ANÁLISES DE INDICADORES DE CONFIABILIDADE E SEVERIDADE

Joelson Lopes da Paixão
Alzenira da Rosa Abaide

https://doi.org/10.22533/at.ed.94423260911

CAPÍTULO 12 162

ESTIMATIVA DE PARÂMETROS EM MODELOS DE DINÂMICA DE HIV POR OTIMIZAÇÃO

Ronaldo da Silva Cardoso
Mailson Batista de Vilhena
Josiel Lobato Ferreira
Bruno Marques Viegas
Emanuel Negrão Macêdo

https://doi.org/10.22533/at.ed.94423260912

CAPÍTULO 13 175

ESTUDO CONFIABILÍSTICO DE CHAPAS PERFURADAS UTILIZANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS DE CONTORNO

Luís Philipe Ribeiro Almeida
Herbert Medeiros Torres Lopes
Lucas da Mata Rocha Menezes
Ray Calazans dos Santos Silva
Lucas Henrique Oliveira Muniz
Francisco de Assis V. B. Júnior

https://doi.org/10.22533/at.ed.94423260913

CAPÍTULO 14 188

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA ENGENHARIA BIOMÉDICA: PREVENÇÃO DE DOENÇAS

Fernanda Sevestre Canton

Sonia Barbosa Camargo Igliori

https://doi.org/10.22533/at.ed.94423260914

CAPÍTULO 15 201

LÓGICA FUZZY E PRECURSOR APLICADOS AO NÍVEL DE MANUTENÇÃO BASEADA NA CONFIABILIDADE AGRÍCOLA CIRCUNSCRITO À SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE

Márcio Mendonça
Miguel Angel Chincaro Bernuy
André Luiz Salvat Moscato
Wagner Fontes Godoy
Michele Eliza Casagrande Rocha
Vicente de Lime Gonogora
Fabio Rodrigo Milanez
Janaína Fracaro de Souza Gonçalves
Francisco de Assis Scannavino Junior
Marcos Antônio de Matos Laia
Andressa Haiduk
Emerson Ravazzi Pires da Silva
Kazuyochi Ota Junior
Edgar Matsuo Tsuzuki
Augusto Alberto Foggiato
Fabio Nogueira de Queiroz

https://doi.org/10.22533/at.ed.94423260915

CAPÍTULO 16 214

MAXIMIZANDO A GERAÇÃO HIDRELÉTRICA DE UM RESERVATÓRIO COM RESTRIÇOES AMBIENTALES

Vanessa Nupan Narváez
Nathaly Sarasty Narváez

https://doi.org/10.22533/at.ed.94423260916

CAPÍTULO 17 232

PERFIL DAS ALTERAÇÕES HEMATOLÓGICAS, CITOGENÉTICAS E IMUNOFENOTÍPICAS DE PACIENTES COM SÍNDROMES MIELODISPLÁSICAS

Alexandra Zendersky
Perla Mascarenhas
Milton de Paula Rêgo
Thays de Andrade Moraes

https://doi.org/10.22533/at.ed.94423260917

CAPÍTULO 18 251

PROJETO DE REDE ÓPTICA DE ACESSO PARA O MUNICÍPIO DE BOM LUGAR/MA

Breno Batista
Paulo Fernandes da Silva Junior
Carlos Magno Sousa Júnior

https://doi.org/10.22533/at.ed.94423260918

CAPÍTULO 19 266

TÉCNICAS DE RECONHECIMENTO FACIAL COM MACHINE LEARNING

Diogo Francisco Borba Rodrigues
Ezequiel Gomes Lopes

https://doi.org/10.22533/at.ed.94423260919

CAPÍTULO 20 296

UM MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DA VARIABILIDADE DE CONJUNTOS DE PARTIÇÕES

Nayara G. Ribeiro
Daniel D. Abdala

https://doi.org/10.22533/at.ed.94423260920

CAPÍTULO 21 301

VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DE BIG DATA E SMALL DATA NO AUMENTO DA COMPETITIVIDADE DE MICRO & PEQUENAS EMPRESAS

Murilo Tavares Palos
Vanessa Silva Garcia
Marcos Vinícius Henrique da Silveira
Cirillo Moreno Tavares Palos
Fernando Henrique de Oliveira
Helena de Carvalho
Nelma Paula Vieira Ramos

https://doi.org/10.22533/at.ed.94423260921

CAPÍTULO 22 324

VULNERABILIDADES DE NUVENS COMPUTACIONAIS

Jhoyce Kelly Bonfort Santos
David Caravana de Castro Moraes Ricci

https://doi.org/10.22533/at.ed.94423260922

SOBRE A ORGANIZADORA 331

ÍNDICE REMISSIVO 332

CAPÍTULO 1

APLICAÇÕES DOS MATERIAIS DE MUDANÇA DE FASE (PCM) EM SISTEMAS PASSIVOS: BREVE REVISÃO DE LITERATURA

Data de aceite: 01/09/2023

Mariana Natale Fiorelli Fabiche
Universidade Estadual de Maringá, Umuarama – PR
lattes.cnpq.br/8888223123528183

RESUMO: Atualmente, há um crescente interesse na utilização de Materiais de Mudança de Fase (PCMs - Phase Change Materials) aplicados em elementos de construção, com objetivo de reduzir a inércia térmica das edificações. Os Materiais de Mudança de Fase são capazes de absorver e dissipar grandes quantidades de energia térmica ao longo dos ciclos e essa mudança pode ocorrer durante toda sua vida útil. Tendo em vista a crescente aplicação desses materiais, esse trabalho apresenta uma breve revisão da aplicação dos PCMs em pisos, paredes, lajes, vidros, entre outras etapas dentro de uma construção. Diante do exposto, constata-se uma tendência na redução da temperatura quando há a inserção do PCM dentro do material, porém, para que a utilização do material possa ser aplicado cada vez mais, análises do comportamento térmico, mecânico, viabilidade financeira a longo prazo deve ser estudada para a real aplicação em larga escala.

PALAVRAS-CHAVE: Inércia térmica, temperatura, comportamento térmico, Larga escala.

APPLICATIONS OF PHASE CHANGE MATERIALS (PCM) IN PASSIVE SYSTEMS: BRIEF LITERATURE REVIEW

ABSTRACT: Currently, there is a growing interest in the use of Phase Change Materials (PCMs - Phase Change Materials) applied to construction elements, with the aim of reducing the thermal inertia of buildings. Phase Change Materials are able to absorb and dissipate large amounts of thermal energy over cycles and this change can occur throughout their lifetime. In view of the increasing application of these materials, this work presents a brief review of the application of PCMs in floors, walls, slabs, glass, among other stages within a construction. In view of the above, there is a tendency to reduce the temperature when the PCM is inserted inside the material, however, so that the use of the material can be applied more and more, analyzes of the thermal, mechanical behavior, long-term financial viability must be studied for real

large-scale application.
KEYWORDS: Thermal inertia, temperature, thermal behavior, Large scale.

1 I INTRODUÇÃO

Na arquitetura contemporânea, o uso de materiais leves com baixa inércia térmica em edificações residenciais está cada vez mais difundido. Uma solução para aumentar a inércia térmica dessas edificações é o uso de materiais de mudança de fase (PCM) (ALMEIDA, BRANDALISE, MIZGIER, 2022).

Os materiais de mudança de fase, do termo em inglês *Phase Change Materials* (PCMs), são desenvolvidos com o objetivo de atuar como "armazenadores" de energia na forma de calor (BRITO et al., 2017). O interesse em PCMs na área da construção civil está na capacidade de aproveitar o armazenamento de energia através da transição de fase de calor latente em vez da transição de calor sensível (FLEISCHER, 2015).

Esses materiais têm sido aplicados em revestimento de fachadas, visando tornar os edifícios mais eficientes em nível energético, de maneira que evitem a necessidade de sistemas de geração/absorção de calor, como, por exemplo, os sistemas de ar-condicionado, que possuem grande consumo energético (MARTINS, 2017).

Dessa maneira, estudos mais aprofundados sobre a real aplicação dos PCMs na construção civil devem ser realizados, de maneira que ofereça maior conforto e economia aos usuários, através do aumento da inércia térmica dos materiais, com o objetivo da redução de equipamentos de aquecimento e refrigeração. Portanto, se esses sistemas projetados e dimensionados adequadamente, forem aplicados de forma correta, com PCM, podem gerar economia de escala aos usuários e maior valor às edificações produzidas com esses materiais, por esses serem mais sustentáveis.

2 I REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aplicação dos PCMs em sistemas passivos

2.1.1 Tijolos

Hichem et al. (2013) utilizaram, em seus estudos, tijolos usuais com orifícios quadrados e preencheram esses orifícios com PCMs. Os resultados mostraram que a utilização desses orifícios com PCM pode melhorar consideravelmente a inércia térmica do tijolo. Entretanto, a combinação dos tipos de PCM, a sua localização na parede e a sua quantidade são importantes para melhorar a redução do ganho de calor antes de atingir o espaço interno.

Lai e Chiang (2006) investigaram a influência da incorporação de PCM (parafina denominada octadecano) em tijolos perfurados, conforme exibe a Figura 1.

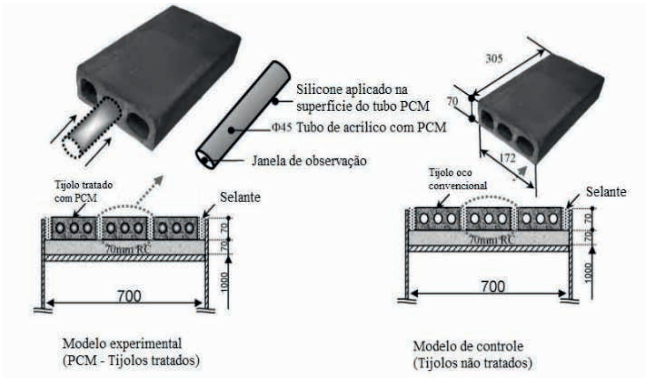


Figura 1 – Modelo experimental dos tijolos

Fonte: Lai e Chiang (2006).

As medições foram realizadas durante o verão, e os autores reportaram que, quando a temperatura externa máxima foi de 35,58 ºC, a temperatura máxima do lado inferior do tijolo tratado com PCM foi de 31,78 ºC. Houve uma diferença de pico de 4,98 ºC entre o tijolo tratado com PCM e o tijolo sem tratamento. Isso comprova que os tijolos tratados com PCM têm melhor efeito de isolamento térmico diurno do que os tijolos comuns não tratados (LAI; CHIANG, 2006).

2.1.2 Painéis de gesso acartonado

Martins (2017) afirma que cápsulas feitas de PCMs podem ser adicionadas diretamente aos materiais de construção ou ser conjugadas para obter outro tipo de componente, como as placas de gesso acartonado embutido com microencapsulamento de PCM, as quais já são comercializadas e aplicadas regularmente.

A Figura 2 apresenta um exemplo de painéis de gesso acartonado contendo materiais de mudança de fase.

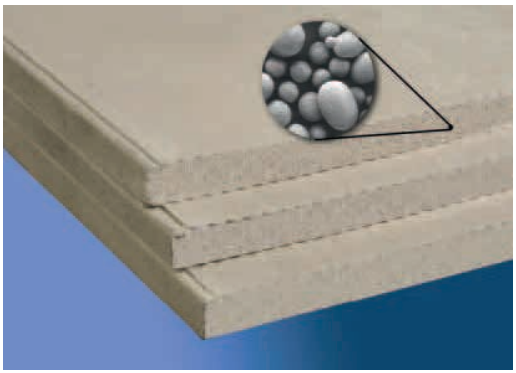


Figura 2 – Placa de gesso acartonado com PCM microencapsulado

Fonte: Basf (2008).

2.1.3 Fachadas, paredes e tetos

Brito et al. (2017) afirmam que, no mercado internacional, já se observam alguns produtos com PCMs que podem ser utilizados em revestimentos de paredes, forros ou divisórias internas. Geralmente, são produtos de parafinas ou sais hidratados encapsulados, que se apresentam na forma de pó ou líquido, a serem aplicados como agregados de argamassas em painéis, cápsulas ou filmes.

A Figura 3 apresenta três tipos diferentes de materiais de construção civil com variadas espessuras, sendo esses uma parede de tijolo, uma parede de concreto e uma parede de gesso acartonado com a aplicação de PCM.

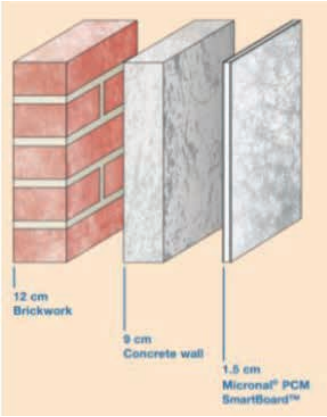


Figura 3 – Materiais diferentes utilizados na construção

Fonte: Basf (2008).

A Figura 4 apresenta o comportamento do PCM em paredes de concreto.

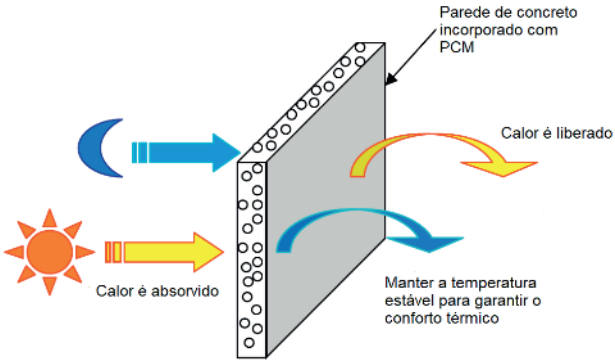


Figura 4 – Função da incorporação do PCM em paredes de concreto

Fonte: Adaptada de Ling e Poon (2013).

A Figura 33 apresenta a diferença de temperatura entre o dia e a noite, o que garante

o processo de fusão e o de solidificação do material, transformando-o em um sistema de aquecimento e resfriamento. Durante o dia, o material absorve o calor, fundindo o PCM; e durante a noite, o PCM torna-se sólido e o calor é liberado de volta para o ambiente (LING; POON, 2013).

Sá (2012) mostrou que os PCMs utilizados nos elementos construtivos, como fachadas, paredes interiores e lajes, caracterizem-se, principalmente, pela mudança entre os seus estados (sólido/líquido) e por apresentar temperaturas próximas das temperaturas de conforto exigidas ao ambiente interior, que variam de 20 ºC a 25 ºC. A Figura 5 exibe uma parede com a inserção de PCM no gesso.

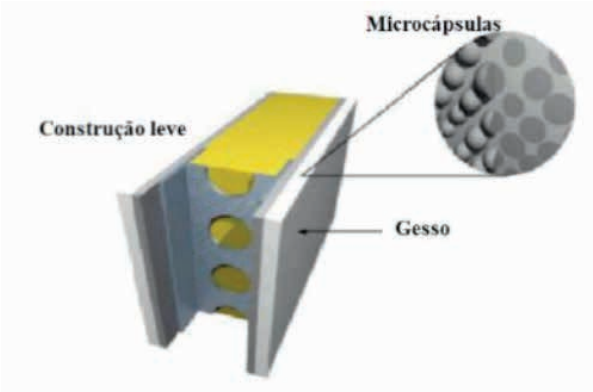


Figura 5 – Vista esquemática de uma parede leve com PCM

Fonte: Sharma et al. (2009).

O desempenho dos painéis de parede com a inserção dos PCMs depende de vários fatores, como a temperatura de fusão do PCM, a faixa da temperatura na qual ocorre a fusão, a capacidade de armazenamento latente por área da parede, a incorporação dos PCMs nas paredes, a orientação da parede, as condições climáticas, os ganhos solares diretos etc. (BAETENS; JELLE; GUSTAVSEN, 2010).

Segundo Khudhair e Farid (2004), o armazenamento de energia nas paredes, no teto e no piso dos edifícios pode ser melhorado com PCM encapsulado, em que no interior dessas superfícies é possível a captação de energia solar e o aumento do conforto térmico dos usuários, diminuindo por consequência a oscilação da temperatura interna do ar e mantendo a temperatura mais próxima da desejada por um longo período de tempo.

Lee, Medina e Sun (2015) estudaram células de testes de 1,8x1,8x1,2 m com PCM de sal hidratado e em condições de ambiente natural/artificial exposto ao sul e ao oeste. O esquema da seção montada para a análise pode ser analisado na Figura 6(a) e o da célula de teste montada pode ser visualizado na Figura 6(b).

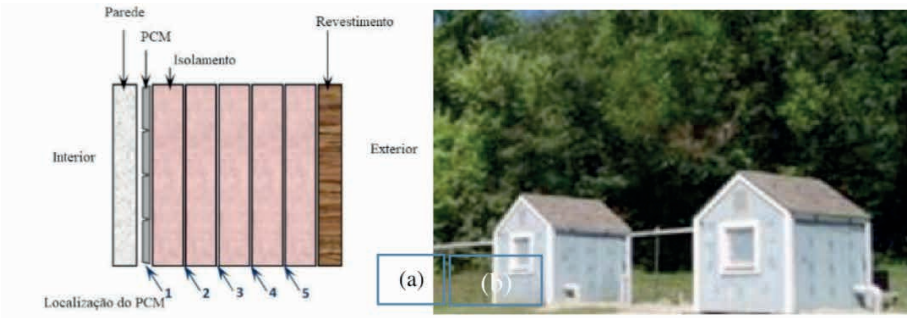


Figura 6 – Esquema da seção da parede mostrando a localização do PCM (a) e a célula de teste (b)

Fonte: Adaptada de Lee, Medina e Sun (2015).

Os autores concluíram que a localização do PCM no meio da parede que melhor reduziu o fluxo de calor foi a do lado sul, com redução de 51,3%, enquanto a superfície próxima do interior foi a do lado oeste, com redução de aproximadamente 29,7%.

Oliveira, Lucarelli e Carlo (2022) relatam que é possível afirmar que a utilização de PCM em paredes tem grande potencial para o aumento das horas em conforto e a redução do consumo de energia. Porém, é necessária uma análise criteriosa de diferentes parâmetros, como a camada em que o PCM será colocado, a orientação solar da parede com PCM, o clima e a estação do ano, a temperatura de fusão do PCM, a temperatura de *setpoint* desejada no ambiente interno e os aspectos construtivos.

No estudo de Lee et al. (2018), foram instalados 22 painéis ao todo, sendo 10 painéis na parede sul e 12 painéis na parede oeste, conforme apresenta a Figura 7(a). O material estudado constituíam-se de placas finas de compostos poliméricos classificados como PCM e laminados com folha de alumínio em ambos os lados ao redor das bordas, conforme exibe a Figura 7(b).

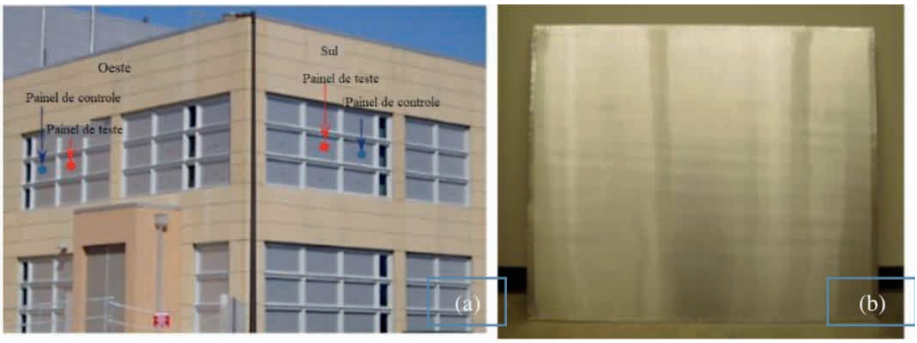


Figura 7 – Paredes do estudo instaladas (a) e placas de PCM (b)

Fonte: Adaptada de Lee, Medina e Sun (2015).

O resultado dos autores Lee, Medina e Sun (2015) mostrou que as reduções médias

diárias de transferência de calor foram de 27,4% para paredes viradas a sul e de 10,5% para paredes virada à oeste, respectivamente. Eles concluíram, também, que a integração de uma fina camada de PCM atrasou o pico de transferência de calor, em média de 2 a 3 horas, por unidade de área da parede.

2.1.4 Persianas/Vidros

Sharma et al. (2009) desenvolveram um envidraçado com a incorporação de PCM em seu exterior. O sistema permanece aberto do lado exterior absorvendo calor com a radiação solar, porém, à noite, o sistema permanece fechado, irradiando calor para o interior da edificação por meio das suas divisões. A Figura 8 apresenta o modelo estudado pelos autores e a Figura 9 apresenta outra tecnologia aplicada em vidros.

Figura 8 – Modelo de persianas com incorporação de PCM

Fonte: Sharma et al. (2009).

Figura 9 – Aplicação de PCM em vidros

Fonte: Adaptada de Kośny (2015).

Essa tecnologia é baseada em uma fina camada de PCM translúcido embalado em plástico transparente contendo 16 mm de espessura. A unidade de vidro isolado

externo tem um filtro prismático suspenso (como uma lente de Fresnel) entre os painéis de vidro que reflete a luz solar do ângulo mais alto de volta enquanto transmite a luz solar. Esse mecanismo de controle solar "passivo" mantém a maior parte do sol de verão de grande incidência solar, enquanto se beneficia do ângulo mais baixo do sol de inverno (KOŚNY, 2015). Matera et al. (2018) estudaram, por meio de simulação, um edifício de dois pavimentos envidraçados, com as suas paredes internas contendo PCM de sais hidratados. Na Figura 10 encontra-se a representação do estudo.

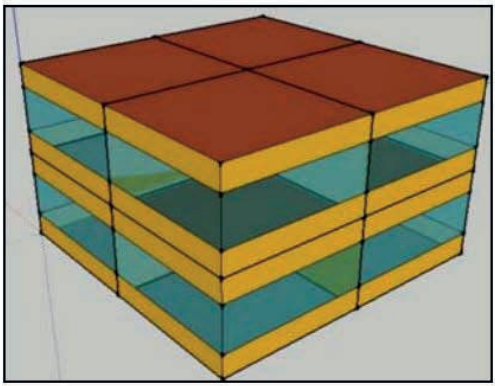


Figura 10 – Representação 3D da envolvente da edificação

Fonte: Matera et al. (2018).

Os autores utilizaram o mesmo parâmetro de controle para o inverno e o verão: nível de isolamento, volume de PCM e temperatura de fusão. E concluíram que no inverno foi observado um desempenho inferior, demandando maior utilização de aquecimento, enquanto no verão houve uma expressiva diminuição da demanda de resfriamento. Isso se deve à grande quantidade de radiação solar que entra no ambiente interno através das superfícies envidraçadas.

2.1.5 Telhado/Painéis solares

A utilização de PCMs em telhados e painéis solares também vem sendo estudada. A Figura 11 apresenta um telhado com painéis de PCM.

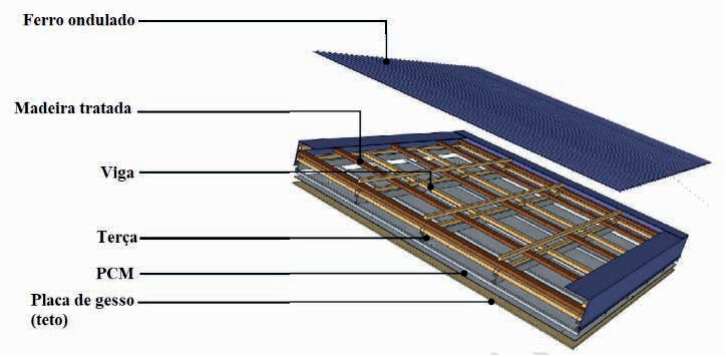


Figura 11 – Painéis de PCM integrado entre telhado e placa de gesso

Fonte: Adaptada de Guichard et al. (2015).

Os painéis de PCM foram integrados ao teto de uma célula de teste com a finalidade de verificar a eficiência do protótipo. Os resultados apresentaram a eficiência do material. Além disso, verificou-se que a temperatura da superfície interna da placa de gesso era de 5 ºC mais alta do que a da superfície externa do PCM, bem como o uso do PCM reduziu a temperatura interna do ambiente aproximadamente 2 ºC em comparação com a da célula de teste convencional (GUICHARD et al., 2015). O laboratório Oak Ridge dos Estados Unidos desenvolveu um sistema para testes de campo com diferentes tipologias de telhado. A Figura 12 apresenta a montagem do estudo.

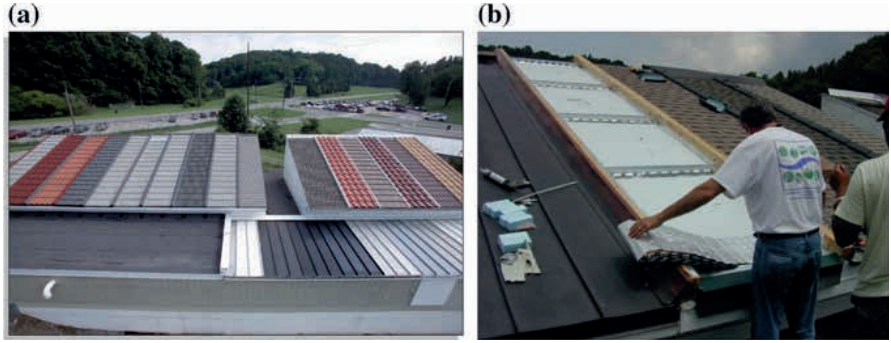


Figura 12 – Conjunto de testes de telhado com PCM (a) e instalação de alumínio inorgânico de PCM (b)

Fonte: Adaptada de Kośny (2015).

De acordo com Kośny (2015), cada telhado possuía 4,9 m de comprimento por 1,5 m de largura e uma inclinação de 18,4º. Um telhado convencional com telhas asfálticas de refletância solar de 0,093 e uma emitância de 0,89 foi usado como referência. Ainda para o mesmo autor, as investigações de PCM foram das mais diversas, como espumas e tecidos, folha de alumínio inorgânico, folhas de plástico orgânico, entre outras. Em geral, os dados

de testes demonstraram cerca de 95% de redução de cargas de resfriamento no horário de pico e mais de 30% de redução geral da carga de resfriamento, comparando-os com projetos de telhados tradicionais.

2.1.6 Pisos

As áreas que estão em contato direto com a radiação solar também possuem um grande potencial de armazenamento de energia térmica (KALNAES; JELLE, 2015).

Soluções de piso incorporando PCMs em áreas de um edifício em que o sol brilha por grande parte do dia podem se beneficiar da incorporação de PCMs. A Figura 13 apresenta perfis planos com a incorporação de PCM, os quais podem armazenar e liberar energia térmica latente.

Figura 13 – Perfis planos de PCM que podem ser instalados sob o piso

Fonte: Cosella-Dörken (2014).

Xu et al. (2005) realizaram uma simulação do desempenho térmico de PCM (na forma estabilizada) durante a estação de inverno. E concluíram que o desempenho nos sistemas foi influenciado pela escolha do material, ou seja, quanto maior a espessura, maior o desempenho. Porém, quando se fala em simulações, a espessura não deve exceder 20 mm, pois isso não aumenta significativamente a influência no armazenamento térmico.

Royon, Karim e Bontemps (2014) usaram um composto de polímero-parafina para preencher a cavidade de lajes alveolares (utilizada como piso/teto), conforme apresentado na Figura 14.

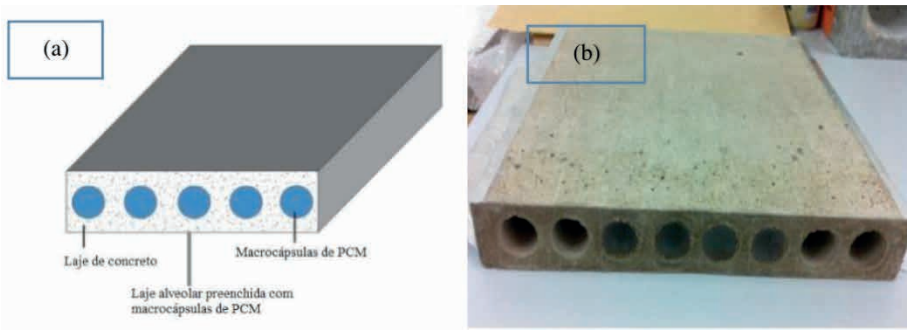


Figura 14 – Laje utilizada na simulação (a) e laje em escala reduzida 1:5 (b)

Fonte: Royon, Karim e Bontemps (2014).

A laje estudada é constituída de um painel oco com cavidades cilíndricas preenchido com os PCMs. Com isso, foi possível aumentar artificialmente a inércia térmica do estudo, de maneira a regular a temperatura interna do edifício em questão.

3 I CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora os PCMs seja um material muito estudado e aplicado nas construções mundo afora, fica evidente a falta de aplicação desse material no Brasil. Uma das barreiras da não utilização desse produto no território brasileiro se dá devido ao seu custo em aplicações reais, bem como a falta de incentivo das empresas brasileiras para desenvolver esse material e baratear o produto.

Diante do exposto, fica comprovado que a aplicação dos PCMs em elementos de construções tem um grande potencial para a redução da inércia térmica dentro das edificações.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. da S.; BRANDALISE, M. P.; MIZGIER, M. O. Materiais de mudança de fase como sistema de resfriamento passivo em habitações de interesse social pré-fabricadas leves. **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, São Paulo, v. 13, 2022. DOI: https://doi.org/10.20396/parc.v13i00.8666777.

BAETENS, R.; JELLE, B. P.; GUSTAVSEN, A. Phase change materials for building applications: a state-of-the-art review. **Energy and Buildings**, v. 42, 1361-1368, 2010. DOI 10.1016/j.enbuild.2010.03.026

BASF. **Micronal PCM**. 2008. Disponível em: https://www.maisonpassive.be/IMG/pdf/Micronal_EN.pdf.

BRITO, A. C. de *et al*. Características térmicas de materiais de mudança de fase adequados para edificações brasileiras. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 125-145, jan./mar. 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000100128.

COSELLA-DÖRKEN. **Delta-Cool 21 used in a floor application of the north house at the US department of energy solar decathlon**. Oct. 2014. Disponível em: http://www.cosella-dorken.com/bvf-ca-en/projects/pcm/northhouse.php.

FLEISCHER, A. S. **Thermal energy storage using phase change materials**: fundamentals and applications. Villanova, PA, USA: Springer, 2015.

GUICHARD, S. *et al.* Experimental investigation on a complex roof incorporating phase-change material. **Energy and Buildings**, v. 108, p. 36-43, 2015. DOI 10.1016/j.enbuild.2015.08.055.

HICHEM, N. *et al.* Experimental and numerical study of a usual brick filled with PCM to improve the termal inertia of buildings. **Energy Procedia**, n. 36, p. 766-775, 2013. DOI 10.1016/j.egypro.2013.07.089.

KALNAES, S. E.; JELLE, B. P. Phase change materials and products for building applications: a state-of-the-art review and future research opportunities. **Energy and Buildings**, n. 94, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.02.023.

KHUDHAIR, A. M.; FARID, M. M. A review on energy conservation in building applications with thermal storage by latent heat using phase change materials. **Energy Conversion and Management**, v. 45, n. 2, p. 263-275, 2004. DOI 10.1016/S0196-8904(03)00131-6.

KOŚNY, J. **PCM**: enhanced building components. An application of phase change materials in building envelopes and internal structures. Boston, USA: Springer, 2015.

LAI, C.-M.; CHIANG, C.-M. How phase change materials affect thermal performance: hollow bricks. **Building Research & Information**, v. 34, n. 2, p. 118-130, 2006. DOI 10.1080/09613210500493197.

LEE, K. O.; MEDINA, M. A.; SUN, X. On the use of plug-and-play walls (PPW) for evaluating thermal enhancement technologies for building enclosures: evaluation of a thin phase change material (PCM) layer. **Energy and Buildings**, v. 86, p. 86-92, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.020.

LEE, K. O. *et al.* Thermal performance of phase change materials (PCM)-enhanced cellulose insulation in passive solar residential building walls. **Solar Energy**, v. 163, p. 113-121, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.01.086.

LING, T. C.; POON, C. S. Use of phase materials for thermal energy storage in concrete: an overview. **Construction and Building Materials**, n. 46, p. 55-62, 2013. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.04.031.

MARTINS, B. F. M. **Materiais de mudança de fase (PCM) para melhoria do desempenho térmico de edifícios**. 2017. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017. Disponível em: https://pdfs.semanticscholar.org/b490/6576f8de8643cad74c4c920f37491c2a1558.pdf?_ga=2.261399501.156006525.1595209132-1471779208.1579830961.

MATERA, N. *et al.* Optimal design of PCM in internal walls for nZEB buildings. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENT AND ELECTRICAL ENGINEERING; IEEE INDUSTRIAL AND COMMERCIAL POWER SYSTEMS EUROPE, 2018, Palermo. **Proceedings** [...]. Palermo, 2018.

ROYON, L.; KARIM, L.; BONTEMPS, A. Optimization of PCM embedded in a floor panel developed for thermal management of the lightweight envelope of buildings. **Energy and Buildings**, n. 82, p. 385-390, 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.012.

SÁ, A. M. V. D. O. **Sustentabilidade na construção**: comportamento térmico de edifícios em Portugal usando materiais de mudança de fase. 2012. 216 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012. Disponível em: https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/68699.

SHARMA, A. *et al*. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, n. 13, p. 318-345, 2009. DOI 10.1016/j.rser.2007.10.005.

XU, X. *et al*. Modeling and simulation on the thermal performance of shape-stabilized phase change material floor used in passive solar buildings. **Energy and Buildings**, 2005. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.12.016.

CAPÍTULO 2

UMA REVISÃO SISTEMÁTICA INTEGRATIVA DE SIMULADORES DE CHUVA

Data de aceite: 01/09/2023

Herlane Costa Calheiros
Universidade Federal de Itajubá
https://orcid.org/0000-0001-6535-8079

Isabela Carolina Mota
Universidade Federal de Itajubá

Karollainny Ágata Ribeiro de Faria
Universidade Federal de Itajubá

Ellen de Fátima Ferreira
Universidade Federal de Itajubá

RESUMO: Os simuladores de chuva são equipamentos muito versáteis usados em pesquisas da área de ciências agrárias, ambientais e engenharia. O objetivo deste artigo é conhecer, a partir de revisão bibliométrica (Parte I) associada a uma revisão integrativa, as pesquisas que utilizaram simulador de chuva dentro do período de 2010 a 2020. Com isso, possibilita uma maior compressão da importância destes equipamentos para uma gama variada de estudos do escoamento superficial da água, do processo de erosão do solo, do arraste de sedimentos, poluentes e micro-organismos, dentre outros. Além de avaliar e sintetizar o conteúdo da produção acadêmica sobre os simuladores de chuva e constatar os avanços alcançados ao longo do tempo.

PALAVRAS-CHAVE: água meteórica, chuva artificial, chuva simulada.

A SYSTEMATIC INTEGRATIVE REVIEW OF RAINFALL SIMULATORS

ABSTRACT: Rainfall simulators are equipments with the intention of producing artificial rain similar to natural rain, being possible to control the intensity, speed and frequency of the drops when it collides with the soil surface, with the presence of a vegetation cover or not. The objective of this article is to know, from a bibliometric review (Part I) associated with an integrative review, the researches that used rain simulator within the period 2010 to 2020. With this, it allows a greater compression of the importance of these equipments for a varied range of studies on the runoff of water, the process of soil erosion, the dragging of sediments, pollutants and microorganisms, among others. In addition to evaluating and synthesizing the content of academic production on rain simulators and verifying the progress achieved over time.

KEYWORDS: meteoric water, artificial rainfall, simulated rain.

1 | INTRODUÇÃO

Em função da importância estratégica dos simuladores de chuva para numerosos estudos de solo, agrícola e ambiental que necessitem produzir chuvas permitindo rápida coleta de dados em condições relativamente uniformes, com menor custo e sem descontinuidade dos trabalhos, é relevante esta pesquisa de revisão bibliográfica para que se conheça as pesquisas realizadas nos últimos tempos, pois apresenta conhecimentos atuais, novos e com perspectivas futuras, sugerindo novas investigações sobre o tema.

O objetivo principal desta revisão é conhecer as pesquisas que utilizaram simulador de chuva dentro do período de 2010 a 2020. Para tanto, fez-se revisão integrativa, onde pode-se avaliar e sintetizar o conteúdo da produção acadêmica sobre os simuladores de chuva. Assim para nortear o estudo foram elencadas algumas questões para serem respondidas na revisão integrativa: (i) o que é um simulador de chuva? (ii) quais são os principais tipos de simuladores de chuva? (iii) quais são as principais características das chuvas? (iv) em quais tipos de pesquisas são normalmente utilizados simuladores de chuva?

2 | O QUE É UM SIMULADOR DE CHUVA?

Os simuladores de chuva são equipamentos adequados para pesquisas de precipitação, considerando que são preparados para fornecer chuva de intensidade e pressão controladas. Tais equipamentos permitem avaliar a precipitação em uma situação na qual há uma superfície de solo com alguma cobertura vegetal e outra sem. Sendo assim, a simulação de chuva é uma ferramenta útil para a investigação de questões de variadas naturezas, como em erosão do solo, escoamento superficial e infiltração (Ngasoh, Mbajiorgu, Kamai & Okoro, 2020).

A chuva natural tem sofrido variações ao longo dos anos, devido às mudanças dos fenômenos atmosféricos. Um exemplo disto acontece no Estado de Minas Gerais no Brasil que, segundo Reboita, Rodrigues, Silva e Alves (2015), é afetado por certos fenômenos atmosféricos, caracterizando seu regime pluvial em estações distintas, sendo elas: um verão chuvoso durante os meses de novembro à março e de um inverno seco entre os meses de maio e setembro. Assim, exige-se um longo período para a obtenção dos dados sob a chuva natural, além de uma equipe persistente (Bertol, Bertol & Barbosa, 2012). Logo, os simuladores de chuva são uma alternativa adequada para obtenção de dados experimentais ao invés da chuva natural, pois permite que a chuva artificial seja controlada e possa ser usada a qualquer tempo (Spohr, 2015). Assim, por exemplo, em pesquisas de deslizamento de solo e rochas ao invés de depender de dados da chuva natural como no trabalho de Da Silva & Santos (2020), pode-se produzir chuva artificial.

Para a caracterização da chuva artificial deve-se avaliar intensidade, uniformidade

de distribuição, energia cinética, tamanho da gota de chuva e velocidade terminal da chuva (Liu, Lin & Che, 2018). Os resultados do levantamento realizado revelam o aumento do interesse na obtenção das características das chuvas simuladas (Cavazza, Guarnieri, Fabbri, Cevoli & Molari, 2016; Kavian, Mohammadi, Cerdà, Fallah, & Gholami, 2018).

3 | TIPOS DE SIMULADORES DE CHUVA

Ngasoh et al. (2020) constataram que existem três tipos diferentes de simuladores de chuva: (i) formador de gotas; (ii) com bocal pressurizado e (iii) híbrido. Aliás, Morin, Goldberg e Seginer (1967) subclassificam os simuladores de chuva com base no mecanismo formador de gotas em simulador por gotejamento e simulador por aspersão. Recomenda-se o simulador por gotejamento para estudos em superfícies erodíveis e o simulador pressurizado para superfícies não erodíveis.

Diversos autores, como Benito, De Blas, Santiago e Varela (2001), Blanquies, Scharff e Hallock (2003), Mutchler e Moldenhauer (1963), Palmer (1963), Yakubu e Yusop (2017), apresentam características, vantagens e desvantagens dos simuladores de chuva. Cada tipo de simulador é adequado a um determinado tipo de aplicação em função de suas características, vantagens e limitações.

Vê-se aumentar a busca pelo aperfeiçoamento de projeto e procedimentos relacionados aos simuladores de chuva, principalmente, dos portáteis ou mini simuladores (Kibet et al., 2014; Lassu, Seeger, Peters & Keesstra, 2015; Sadeghi, 2016; Vergni, Todisco & Vinci, 2018; Kavian et al., 2019; Nielsen et al., 2019).

4 | APLICAÇÃO DOS SIMULADORES DE CHUVA

A década se caracteriza principalmente pela publicação de artigos (Sequinatto, 2018; Aliramayee, Darvishan & Arabkhedri, 2019; Mamoon, Jahan, He, Joergensen & Rahman, 2019, entre outros), que descrevem o projeto/design e a operação de simuladores de chuva na avaliação de perda de solo, geração de escoamento superficial e qualidade da água de escoamento (nutrientes e micro-organismos), podendo ser usado sob condições de laboratório e in situ Por exemplo, Anderson e Lockaby (2011) utilizam simulador de chuva em sua pesquisa onde relacionam manejo florestal e arraste de sedimentos em corpos d'água.

Outros estudos como os de Davidson et al. (2014), Ferrar et al. (2010), Mahbub, Goonetilleke, Ayoko e Egodawatta (2011), Muthusamy et al. (2018), Ries, Kirn e Weiler (2020) e Thai et al. (2015) se somam, analisando o efeito das mudanças climáticas (seca, aumento da variabilidade das chuvas, eventos extremos) em sistemas agrícolas vulneráveis, em encostas e na lixiviação de poluentes de áreas urbanas e agrícolas.

Intensificam-se os estudos voltados a eficiência de materiais artificiais e resíduos industriais e, também, o interesse em se conhecer o balanço hídrico em áreas recuperadas

após desativação de áreas de mineração (Chen, Chang, Wang e Lin, 2011; Lozano-Garcia, Parras-Alcantara e De Albornoz, 2011; Luo et al., 2013).

Estudos com utilização de equipamentos e técnicas de modelagem matemática mais sofisticadas foram verificados, como a aplicação de rede neural artificial para avaliar o efeito da energia da gota de chuva na infiltração de água no solo, a utilização de escâneres a laser de alta precisão para a avaliação de texturas de pavimento rodoviário sob diferentes intensidades de chuva, o estudo de erosão de solo fazendo rastreamento por fotogrametria de alta resolução ou usando como traçador elementos de terras raras (Bitelli, Simone, Girardi & Lantieri, 2012; Goldshleger, Chudnovsky, Ben-Dor & Rossel, 2012; Hänsel, Schindewolf, Eltner, Kaiser & Schmidt, 2016; Liu, Xiao, Liu, Zhang & Zhang, 2016).

O olhar dos cientistas sobre os fenômenos naturais, a partir de 2012, volta-se para a bacia hidrográfica. Assim, surge como ponto focal a chuva distribuída espacialmente, como no estudo do efeito do movimento de tempestades no escoamento superficial de bacias hidrográficas, na aplicação de sistemas de informações geográficas e sensoriamento remoto para avaliar a geração de escoamento em bacias hidrográficas, na análise da frequência de inundações e no desenvolvimento de modelo matemático para a determinação do tempo de concentração do escoamento superficial em bacias hidrográficas (Sigarodi, Sardoii, Salajagheh, Farizhendi & Shoaa, 2012; Li et al., 2015; Maina & Raude, 2016; Guo et al., 2017; Gianinetto et al., 2019; Del Rio, Ramirez & Sanchez, 2020; Hoje, Dong & Inhwan, 2020).

Na segunda metade da década investigada, as questões relacionadas a conservação ambiental ganham destaque com pesquisas sobre os efeitos da cobertura vegetal ou mesmo do desmatamento nas propriedades do solo, no escoamento da água, na erosão do solo, deslizamento de encostas, no transporte de micro-organismos e materiais radioativos e, também, na recarga, níveis e fluxo da água subterrânea (Wang et al., 2014; Davidova, Dostal, David & Strauss, 2015; Davidson et al., 2016; Saber, Somjunyakul, Ok & Watanabe, 2019; Gao & Sun, 2020; Litt et al., 2020; Chen & Zhao, 2020; Wang e Deng, 2020; Zhang, 2020). Bem como, a utilização de tecnologias sustentáveis como uso de energia solar associado a produção agrícola (agrovoltaísmo) têm motivado pesquisas com a de Cheviron et al. (2018) sobre a influência de painéis solares na distribuição das chuvas no solo.

Questões urbanas e relacionadas a sustentabilidade estão cada vez mais sob investigação, por exemplo: uso de resíduos urbanos (lixo, lodo de esgoto, resíduos de poda) para a reabilitação do solo e da vegetação em áreas incendiadas; influência de chuvas impulsionadas pelo vento no escoamento superficial em áreas urbanas; pesquisas sobre infraestrutura verde como pavimentos permeáveis e telhados verdes (Cellier et al., 2012; Sedyowati, Suhardjono, Suhartanto & Sholichin, 2017; Li et al., 2018; Bateni et al., 2019; Calheiros, Silva, Costa & Macedo, 2020; Jaerock, Jaehyun, Jonghyun, Jaehyuk & Hyunsuk, 2020; Turco et al., 2020).

Nota-se que os simuladores de chuva são empregados para produzir chuvas

artificiais em pesquisas científicas com diferentes objetivos nas áreas das ciências agrárias e engenharias. No entanto, um tema recorrente é a erodibilidade de solos e vários estudos de caso provenientes da Alemanha, da china, da Espanha, do Iran, do Brasil, da Rússia, da África do Sul, da Itália, dentre outros países foram publicados sobre o tema entre 2010 e 2020.

5 I CONCLUSÃO

Os simuladores são equipamentos que possibilitam que a intensidade da chuva e a frequência da precipitação sejam controladas. Para garantir a qualidades dos dados e sua representatividade, é importante que os simuladores de chuva produzam chuva com características (energia cinética, diâmetro médio e velocidade das gotas) similares da chuva natural.

Ao longo da década 2010-2010, aumentou-se a busca pelo aperfeiçoamento de projeto e procedimentos relacionados aos simuladores de chuva, principalmente, dos portáteis ou mini simuladores e estudos para o conhecimento das características das chuvas simuladas.

Os resultados revelam também que os avanços tecnológicos de materiais e sistemas computacionais estão cada vez mais presentes nas pesquisas e sobretudo aplicados na modernização dos próprios simuladores de chuva e particularização em função de sua aplicação.

Notou-se o interesse em estudar o efeito da vegetação na redução do escoamento hídrico superficial e da erosão de solo, com consequente diminuição do transporte de sedimentos para cursos d'água, para isto faz-se necessário a utilização de simulador de chuva.

Estudos sobre conservação ambiental tendo a bacia hidrográfica como unidade territorial de análise é evidente a partir de meados dos anos 2010, contribuindo para o seu planejamento e gestão.

Observa-se nitidamente que existe a preocupação com os resíduos sólidos, sejam eles urbanos ou industriais, e o seu reaproveitamento de modo a reparar ou minimizar prejuízos decorrentes da degradação ambiental antrópica. Da mesma forma, chama a atenção a quantidade de trabalhos, publicados a partir de 2017, relacionados as infraestruturas verdes como uma alternativa a drenagem cinza (infraestrutura tradicional de drenagem urbana) em busca de uma convivência harmoniosa do ser humano com a natureza no meio urbano.

Este estudo apresentou respostas que envolvem simuladores de chuva ao combinar método bibliográfico com análise integrativa, colaborando para o aumento do conhecimento sobre o tema, apontando avanços e as principais tendências nos estudos.

REFERÊNCIAS

ALIRAMAYEE, R.; DARVISHAN, A.K.; ARABKHEDRI, M. Investigating the hydrological response and nutrient loss in rainfed lands in northeast of iran using rainfall simulator. Agriculture and Forestry, v.65, n.2, p.99-112, 2019.

ANDERSON, CHRISTOPHER; LOCKABY, B. Research Gaps Related to Forest Management and Stream Sediment in the United States. Environmental Management, v.47, n.2, p.303-313, 2011.

BATENI, NORAZLINA; LAI, SAI; PUTUHENA, F.; MAH, DARRIEN; MANNAN, MD.; CHIN, REN. Hydrological Performances on the Modified Permeable Pavement with Precast Hollow Cylinder Micro detention Pond Structure. KSCE Journal of Civil Engineering, v.23, n.9, p.3951-3960, 2019.

BENITO, E.; DE BLAS, E.; SANTIAGO, J. L.; VARELA, M. E. Descripción y puesta a punto de un simulador de lluvia de campo para estudios de escorrentía superficial y erosión del suelo. Revista de Xeoloxía Galega e do Hercínico Peninsular, v.26, n.4, p.211–220, 2001.

BITELLI, GABRIELE; SIMONE, ANDREA; GIRARDI, FABRIZIO; LANTIERI, CLAUDIO. Laser Scanning on Road Pavements: A New Approach for Characterizing Surface Texture. Sensors, v.12, n.7, p.9110-9128, 2012.

BLANQUIES, J.; SCHARFF, M.; HALLOCK, B. The Design and Construction of Rainfall Simulator, presented at the International Erosion Control Association (IECA), 34th Annual Conference and Exposition. Nevada: Las Vegas, 2003, 10p.

CALHEIROS, H.C.; SILVA, F. G. G.; COSTA, L. S.; MACEDO, M. L. Water balance study on green roof in Brazil. International Journal of Hydrology, v.4, p.141-144, 2020.

CAVAZZA, LUIGI; GUARNIERI, ADRIANO; FABBRI, ANGELO; CEVOLI, CHIARA; MOLARI, GIOVANNI. Theoretical and experimental study on mechanical characterisation of a water drop impact on a solid surface. Journal of Agricultural Engineering, v.47, n.1, p.12-16, 2016.

CELLIER, ANTOINE; FRANCOU, CEDRIC; HOUOT, SABINE; BALLINI, CHRISTINE; GAUQUELIN, THIERRY; BALDY, VIRGINIE. Use of urban composts for the regeneration of a burnt Mediterranean soil: A laboratory approach. Journal of Environmental Management, v.95, p.S238-S244, 2012.

CHEN, SU-CHIN; CHANG, KUANG-TSUNG; WANG, SHI-HAO; LIN, JUN-YUE. The efficiency of artificial materials used for erosion control on steep slopes. Environmental Earth Sciences, v.62, n.1, p.197-206, 2011.

CHEN, WENLE; ZHAO, PENG. Experimental study on the effects of tree planting on slope stability. Landslides, v.17, n.4, p.1021-1035, 2020.

CHEVIRON, BRUNO; MANGE, ANNABELLE; DEJEAN, CYRIL; LIRON, FRANÇOIS; BELAUD, GILLES. Rain concentration and sheltering effect of solar panels on cultivated plots. Hydrology and Earth System Sciences, v.22, n.2, p.1285-1298, 2018.

DA SILVA, D. DE F. S.; SANTOS, A. E. M. Rockfall hazard assessment and geological-geotechnical characterization of a rock slope in BR-356. Holos. v.36, n.8, p.1-13, 2020.

DAVIDOVA, T.; DOSTAL, T.; DAVID, V.; STRAUSS, P. Determining the protective effect of agricultural crops on the soil erosion process using a field rainfall simulator. Plant Soil And Environment, v.61, n.3, p.109-115, 2015.

DAVIDSON, PAUL; JONES, RUSSELL; HARBOURT, CHRISTOPHER; HENDLEY, PAUL; GOODWIN, GREGORY; SLIZ, BRADLEY. Major transport mechanisms of pyrethroids in residential settings and effects of mitigation measures. Environmental Toxicology and Chemistry, v.33, n.1, p.52-60, 2014.

DAVIDSON, PAUL; KUHLENSCHMIDT, THERESA; BHATTARAI, RABIN; KALITA, PRASANTA; KUHLENSCHMIDT, MARK. Overland Transport of Rotavirus and the Effect of Soil Type and Vegetation. Water, v.8, n.3, p.1-16, 2016.

DEL RIO, ALICIA; RAMIREZ, ALDO; SANCHEZ, MAURICIO. The Role of Topography on the Shape of Unit Hydrographs in Small and Medium Sized Watersheds through a Physical Model. Water, v.12, n.8, p.1-26, 2020.

FERRAR, R. M.; TREVISIOL, P.; ACUTIS, M.; RANA, G.; RICHTER, G. M.; BAGGALEY, N. Topographic impacts on wheat yields under climate change: two contrasted case studies in Europe. Theoretical and Applied Climatology, v.99, n.1-2, p.53-65, 2010.

GAO, PENG; SUN, WENYI. Distinguishing the effects of vegetation restoration on runoff and sediment generation on simulated rainfall on the hillslopes of the loess plateau of China. Plant and Soil, v.447, n.1-2, p.393-412, 2020.

GIANINETTO, MARCO; AIELLO, MARTINA; POLINELLI, FRANCESCO; FRASSY, FEDERICO; RULLI, MARIA CRISTINA; RAVAZZANI, GIOVANNI; BOCCHIOLA, DANIELE; CHIARELLI, DAVIDE DANILO; SONCINI, ANDREA; VEZZOLI, RENATA. D-RUSLE: a dynamic model to estimate potential soil erosion with satellite time series in the Italian Alps. European journal of remote sensing, v.52, n. sup4, p.34-53, 2019.

GOLDSHLEGER, NAFTALI; CHUDNOVSKY, ALEXANDRA; BEN-DOR, EYAL; ROSSEL, RAPHAEL VISCARRA. Using Reflectance Spectroscopy and Artificial Neural Network to Assess Water Infiltration Rate into the Soil Profile. Applied and Environmental Soil Science, v.2012, p.1-9, 2012.

GUO, BING; ZHANG, FEI-FEI; YANG, GUANG; CAI-HONG, SUN; HAN, FANG; JIANG, LIN. Improved estimation method of soil wind erosion based on remote sensing and geographic information system in the Xinjiang Uygur Autonomous Region, China. Geomatics, Natural Hazards & Risk, v.8, n.105, p.1-16, 2017.

HÄNSEL, PHOEBE; SCHINDEWOLF, MARCUS; ELTNER, ANETTE; KAISER, ANDREAS; SCHMIDT, JÜRGEN. Feasibility of High-Resolution Soil Erosion Measurements by Means of Rainfall Simulations and SfM Photogrammetry. Hydrology, v.3, n.4, p.1-16, 2016.

HOJE, SEONG; DONG, SOP RHEE; INHWAN, PARK. Analysis of Urban Flood Inundation Patterns According to Rainfall Intensity Using a Rainfall Simulator in the Sadang Area of South Korea. Applied sciences, v.10, n.3, p.1-12, 2020.

JAEROCK, PARK; JAEHYUN, PARK; JONGHYUN, CHEON; JAEHYUK, LEE; HYUNSUK, SHIN. Analysis of Infiltrating Water Characteristics of Permeable Pavements in a Parking Lot at Full Scale. Water (Basel), v.12, n.8, p.1-9, 2020.

KAVIAN, ATAOLLAH; MOHAMMADI, MAZIAR; CERDA, ARTEMI; FALLAH, MOGHADASEH; ABDOLLAHI, ZAHRA. Simulated raindrop's characteristic measurements. A new approach of image processing tested under laboratory rainfall simulation. Catena (Giessen), v.167, p.190-197, 2018.

KAVIAN, ATAOLLAH; MOHAMMADI, MAZIAR; CERDÀ, ARTEMI; FALLAH, MOGHADASEH; GHOLAMI, LEILA. Calibration of the SARI portable rainfall simulator for field and laboratory experiments. Hydrological Sciences Journal, v.64, n.3, p.350-360, 2019.

KIBET, L.C.; SAPORITO, L.S.; ALLEN, A.L.; MAY, E.B.; KLEINMAN, P.J.A.; HASHEM, F.M.; BRYANT, R.B. A protocol for conducting rainfall simulation to study soil runoff. Journal of Visualized Experiments, v.86, p.1-14, 2014.

LASSU, TAMAS; SEEGER, MANUEL; PETERS, PIET; KEESSTRA, SASKIA D. The Wageningen Rainfall Simulator: Set-up and Calibration of an Indoor Nozzle-Type Rainfall Simulator for Soil Erosion Studies. Land Degradation & Development, v.26, n.6, p.1-9, 2015.

LI, XIAOXIAO; CAO, JUNJUN; XU, PEIXIAN; FEI, LING; DONG, QIN; WANG, ZHAOLONG. Green roofs: Effects of plant species used on runoff. Land Degradation & Development, v.29, n.10, p.3628-3638, 2018.

LI, RUNKUI; RUI, XIAOPING; ZHU, A-XING; LIU, JUNZHI; BAND, LAWRENCE; SONG, XIANFENG. Increasing detail of distributed runoff modeling using fuzzy logic in curve number. Environmental Earth Sciences, v.73, n.7, p.3197-3205, 2015.

LITT, GUY F.; OGDEN, FRED L.; MOJICA, ALEXIS; HENDRICKX, JAN M. H.; KEMPEMA, EDWARD W.; GARDNER, CHRISTOPHER B.; BRETFELD, MARIO; REGINA, JASON A.; HARRISON, J. BRUCE J.; CHENG, YANYAN; LYONS, W. BERRY. Land cover effects on soil infiltration capacity measured using plot scale rainfall simulation in steep tropical lowlands of Central Panama. Hydrological Processes, v.34, n.4, p.878-897, 2020.

LIU, N.; LIN, J.; CHE, S. Raindrop characteristics analysis (Oct 25, 2015) of natural rainfall in Zhengzhou city of Yello River basin. In: IOP Conf.: Earth and Environmental Science, v.128, 2018, 7p.

LIU, GANG; XIAO, HAI; LIU, PULING; ZHANG, QIONG; ZHANG, JIAQIONG. An improved method for tracing soil erosion using rare earth elements. Journal of Soils and Sediments, v.16, n.5, p.1670-1679, 2016.

LUO, HAN; ZHAO, TINGNING; DONG, MEI; GAO, JUN; PENG, XIANFENG; GUO, YU; WANG, ZHIMING; LIANG, CHAO. Field studies on the effects of three geotextiles on runoff and erosion of road slope in Beijing, China. Catena, v.109, p.150-156, 2013.

LOZANO-GARCIA, B.; PARRAS-ALCANTARA, L.; DE ALBORNOZ, M. DEL TORO CARRILLO. Effects of oil mill wastes on surface soil properties, runoff and soil losses in traditional olive groves in southern Spain. Catena, v.85, n.3, p.187-193, 2011.

MAHBUB, P.; GOONETILLEKE, A.; AYOKO, G.; EGODAWATTA, P. Effects of climate change on the wash-off of volatile organic compounds from urban roads. Science Of The Total Environment, v.409, n.19, p.3934-3942, 2011.

MAINA, C.; RAUDE, J. Assessing Land Suitability for Rainwater Harvesting Using Geospatial Techniques: A Case Study of Njoro Catchment, Kenya. Applied and Environmental Soil Science, v.2016, n.2, p.1-9, 2016.

MAMOON, ABDULLAH AL; JAHAN, SAYKA; HE, XIULAN; JOERGENSEN, NIELS E.; RAHMAN, ATAUR. First flush analysis using a rainfall simulator on a micro catchment in an arid climate. The Science of the total environment, v.693, p.1-12, 2019.

MORIN, J.; GOLDBERG, D.; SEGINER, I. A rainfall simulator with a rotating disk. Transacions of the ASAE, v.10, p.74-79, 1967.

MUTCHLER C, MOLDENHAUER W. Applicator for laboratory rainfall simulator. Transactions of ASAE. v.6, n.3, p.220-222, 1963.

MUTHUSAMY, MANORANJAN; TAIT, SIMON; SCHELLART, ALMA; BEG, M.; NAZMUL, AZIM; CARVALHO, RITA F.; DE LIMA, JOAO L. M. P. Improving understanding of the underlying physical process of sediment wash-off from urban road surfaces. Journal of Hydrology, v.557, p.426-433, 2018.

NGASOH, FELIX GEMLACK; MBAJIORGU, CONSTANTINE CROWN; KAMAI, MATTHEW BONIFACE; OKORO, GIDEON ONYEKACHI. A revisit of rainfall simulator as a potential toll for hydrological research. MEENA, RAM SWAROOP (Ed.), Agrometeoroloy. IntechOpen, 2020, 19p.

NIELSEN, KRISTOFFER T.; MOLDRUP, PER; THORNDAHL, SØREN; NIELSEN, JESPER E.; DUUS, LENE B.; RASMUSSEN, SØREN H.; UGGERBY, MADS; RASMUSSEN, MICHAEL R. Automated rainfall simulator for variable rainfall on urban green areas. Hydrological Processes, v.33, n.26, p.3364-3377, 2019.

PALMER, R. S. The influence of a thin water layer on waterdrop impact forces. International Association of Hydrological Sciences, v.65, p.141-148, 1963.

REBOITA, MICHELLE SIMÕES; RODRIGUES, MARCELO; SILVA, LUIZ FELIPE; ALVES, MARIA AMÉLIA. Aspectos climáticos do Estado de Minas Gerais. Revista Brasileira de Climatologia, v.17, p.206-226, 2015.

RIES, FABIAN; KIRN, LARA; WEILER, MARKUS. Runoff reaction from extreme rainfall events on natural hillslopes: a data set from 132 large-scale sprinkling experiments in south-western Germany. Earth System Science Data, v.12, n.1, p.245-255, 2020.

SABER, AYMAN N.; SOMJUNYAKUL, PINITI; OK, JUNGHUN; WATANABE, HIROZUMI. Rainfall-Runoff Simulation of Radioactive Cesium Transport by Using a Small-Scale Portable Rainfall Simulator. Water, Air, & Soil Pollution, v.230, n.9, p.1-15, 2019.

SADEGHI, SEYED. The impact of standard preparation practice on the runoff and soil erosion rates under laboratory conditions. Solid Earth, v.7, n.5, p.1293-1302, 2016.

SEDYOWATI, LAKSNI; SUHARDJONO, SUHARDJONO; SUHARTANTO, ERY; SHOLICHIN, MOHAMMAD. Runoff velocity behaviour on smooth pavement and paving blocks surfaces measured by a tilted plot. Journal of water and land development, v.33, n.1, p.149-156, 2017.

SEQUINATTO, LETÍCIA. Nutrient losses due to water erosion using simulated rainfall in southern Brazil. Dyna, v.85, n.206, p.236-241, 2018.

SIGARODI, SHAHRAM KHALIGHI; SARDOII, ELHAM RAFIEI; SALAJAGHEH, ALI; FARIZHENDI, GHASEM MORTAZAEE; SHOAA, TAIEBEH ZINATI. Evaluating rainstorm movement effect on rainfall-runoff simulation on watershed scale (case study: AmirKabir dam watershed). Advances in Environmental Biology, v.6, n.5, p. 1862-1867, 2012.

SPOHR, RENATO BEPPLER. Construção e validação de um simulador de chuvas pendular de pequeno porte. CAMARGO, M.; RODRIGUES, PATRÍCIA; WASTOWSKI, ARCI DIRCEU; RODRIGUES, ALEXANDRE COUTO (Org.). Engenharias na extensão universitária, UFSM, 2015, p.33-52.

THAI, PHONG K.; SUKA, YUMA; SAKAI, MASARU; NANKO, KAZUKI; YEN, JUI-HUNG; WATANABE, HIROZUMI. Export of radioactive cesium from agricultural fields under simulated rainfall in Fukushima. Environmental Science: Processes & Impacts, v.17, n.6, p.1157-1163, 2015.

TURCO, MICHELE; BRUNETTI, GIUSEPPE; PALERMO, STEFANIA ANNA; CAPANO, GILDA; GROSSI, GIOVANNA; MAIOLO, MARIO; PIRO, PATRIZIA. On the environmental benefits of a permeable pavement: metals potential removal efficiency and Life Cycle Assessment. Urban water journal, v.17, n.7, p.619-627, 2020.

VERGNI, L.; TODISCO, F.; VINCI, A. Setup and calibration of the rainfall simulator of the Masse experimental station for soil erosion studies. Catena (Giessen), v.167, p.448-455, 2018.

WANG, HONG; GAO, JIANEN; LI, XINGHUA; WANG, HONGJIE; ZHANG, YUANXING. Effects of Soil and Water Conservation Measures on Groundwater Levels and Recharge. Water, v.6, n.12, p.3783-3806, 2014.

WANG, QIDONG; DENG, LIN. Effects of rainfall intensity, slope angle, and vegetation coverage on the erosion characteristics of Pisha sandstone slopes under simulated rainfall conditions. Environmental Science and Pollution Research International, v.27, n.15, p.17458-17467, 2020.

YAKUBU, M. L.; YUSOP, Z. Adaptabilty of rainfall simulators as a research tool on urban sealed surfaces. Hydrological Sciences Journal, v.62, p.996-1012, 2017.

ZHANG, X.C. Dynamic depth distribution of cesium-133 near soil surfaces in packed soils under multiple simulated rains. Catena, v.194, p.1-7, 2020.

CAPÍTULO 3

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO EM LAJES ALVEOLARES PROTENDIDAS

Data de submissão: 29/06/2023 *Data de aceite: 01/09/2023*

Herbert Medeiros Torres Lopes
Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas
São Carlos – SP
http://lattes.cnpq.br/7034927727844327

Luís Philipe Ribeiro Almeida
Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas
São Carlos – SP
http://lattes.cnpq.br/4965036934315787

Lucas da Mata Rocha Menezes
Pontifícia Universidade Católica do Rio (PUC-Rio), Departamento de Engenharia de Estruturas
Rio de Janeiro - RJ
http://lattes.cnpq.br/8177329687046734

Ray Calazans dos Santos Silva
Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas
São Carlos – SP
http://lattes.cnpq.br/5372629655559184

RESUMO: O objetivo deste trabalho é avaliar o estado limite último de força cortante de lajes alveolares protendidas considerando o comprimento de transferência, protensão efetiva na região de extremidade, comparando as cargas de ruptura obtidas em alguns ensaios experimentais [Pajari (2005), Catoia (2011) e França (2012), Araújo *et al*. (2020)], com as equações disponíveis na literatura, para identificar qual das equações melhor representa a resistência ao cisalhamento em lajes de espessura reduzida. Para isso, desenvolveu-se um estudo teórico com o emprego do equacionamento analítico disponível na literatura técnica, além de identificar análise paramétrica das variáveis que mais interferem nas previsões do comportamento das lajes alveolares protendidas. Verificou-se que para as estruturas particulares avaliadas, em geral, a espessura laje, a força de protensão aplicada e o preenchimento de alvéolos com concreto são parâmetros que interferem diretamente no modo de ruptura à força cortante de lajes alveolares protendidas. Já para painéis alveolares de espessura reduzida a contribuição do preenchimento de alvéolos na resistência ao cisalhamento foi insignificante do ponto de vista estatístico. Com relação aos os códigos normativos, a NBR 14861:2011 foi que melhor representou o comportamento

ao cisalhamento em lajes alveolares de espessura reduzida. Caso diferente, foi observado para lajes de espessura reduzida que possuem núcleos preenchidos por concreto, em que os códigos normativos aplicados para o cálculo teórico não obtiveram uma boa correlação com os valores experimentais.
PALAVRAS-CHAVE: Concreto Pré-moldado; Lajes Alveolares; Resistência ao Cisalhamento.

1 | INTRODUÇÃO

A indústria de pré-fabricados de concreto tem avançado na aplicação, conhecimento e viabilidade técnico-econômica de solução estrutural frente às edificações e pontes. Atualmente, o atendimento às demandas da sociedade decorre de soluções fundamentadas na sustentabilidade, ou seja, construir com economia, desempenho técnico, segurança e rapidez são premissas de estruturas pré-fabricadas de concreto. Além disso, a utilização destas estruturas permite obter significativa eficiência estrutural, com o emprego de elementos mais esbeltos, a partir do uso otimizado dos materiais, reduzindo o desperdício de recursos.

As lajes ou painéis alveolares estão entre os produtos pré-moldados mais empregados no mundo, em especial na América do Norte e Europa Ocidental. As primeiras lajes alveolares foram desenvolvidas na década de 1950, na Alemanha, quando evoluiu a tecnologia de produção do concreto e também da protensão em pistas longas de concretagem (El Debs, 2017). Esse tipo de elemento possui uma concepção arrojada, podendo ser usado nos mais variados sistemas estruturais, funcionando como laje de piso ou como painéis de fechamento. No Brasil, a utilização de lajes alveolares tem sido crescente e tem se mostrado competitiva em relação aos sistemas convencionais. Pode-se citar diversas obras que utilizam esse tipo de sistema, como: o shopping *Midway Mall*, em Natal (RN) e na recente construção do estádio do Atlético-MG (Arena MRV).

As lajes alveolares protendidas têm ganhado bastante importância e competividade em todo o mundo, permitem minimizar o consumo de concreto e maximizar os vãos, convergindo para uma solução otimizada. Isso é justificado pelo efeito da protensão associada a uma seção transversal estruturalmente eficiente. Além disso, a facilidade de manuseio, transporte e armazenamento; adequado isolamento acústico; característica de alcançar grandes vãos em decorrência do baixo peso próprio, com elevada capacidade de carga e pequenos deslocamentos; apresenta uma espessura média reduzida devido ao emprego de concreto de mais alta resistência e protensão, quando comparada aos sistemas estruturais moldados *in loco* (CATOIA, 2011).

Os vazios longitudinais denominados alvéolos são responsáveis pela seção complexa da laje alveolar protendida, sendo fabricada basicamente por dois métodos: moldagem com fôrmas deslizantes (concreto com s*lump* mais elevado) e moldagem por extrusão (concreto com baixo *slump*), em longas pistas de concretagem. As armaduras utilizadas são cordoalhas, e até mesmo fios protendidos longitudinalmente na borda

inferior, podendo ser utilizados também na borda superior. Em decorrência do processo de fabricação, não é usual a introdução de armadura de cisalhamento, em função disso, as lajes alveolares são compostas exclusivamente de armadura ativa (SANTOS, 2014).

O objetivo deste trabalho é avaliar o estado limite último de força cortante de lajes alveolares protendidas considerando o comprimento de transferência, protensão efetiva na região de extremidade, comparando as cargas de ruptura obtidas em alguns ensaios experimentais [Pajari (2005), Catoia (2011), França (2012) e Araújo *et al*. (2020)], com as equações disponíveis na literatura, para identificar qual das equações melhor representa a resistência ao cisalhamento. Para isso, será desenvolvido um estudo teórico com o emprego do equacionamento analítico disponível na literatura técnica, além de identificar análise paramétrica das variáveis que mais interferem nas previsões do comportamento das lajes alveolares protendidas.

2 I REVISO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Lajes alveolares protendidas

A norma brasileira NBR 14861:2011 (ABNT, 2011) define laje alveolar como peça de concreto com alvéolos produzida industrialmente, fora do local de utilização definitiva, sob rigoroso controle de qualidade. É caracterizada por armadura longitudinal ativa, que engloba totalmente a armadura inferior de tração necessária e por ausência de armadura transversal de cisalhamento. A seção transversal é alveolar (Figura 1), com altura constante e presença de almas de concreto e alvéolos longitudinais (responsáveis pela redução do peso próprio da estrutura). Esta definição, apresentada na norma brasileira, representa o tipo de laje alveolar mais utilizado no Brasil que é a pré-fabricada em concreto protendido.

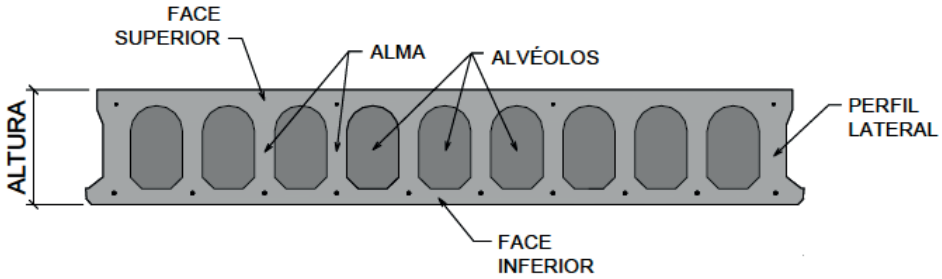


Figura 1 – Seção transversal de um painel alveolar.

Como a laje alveolar não possui armadura transversal, a resistência ao cisalhamento depende inteiramente da resistência à tração do concreto, por isso, a qualidade do concreto, bem como o controle da produção desse elemento estrutural devem ser constantemente certificados em todos os estágios.

O sistema de lajes alveolares obteve um grande sucesso no mercado da construção

civil devido as condições de manuseio, transporte, armazenagem e aplicação em grandes vãos, facilitando o *layout* e a otimização, com redução da espessura média da estrutura e ganho nas fundações.

2.2 Processo de fabricação dos painéis alveolares

A padronização e a racionalização do projeto, a fim de conferir uma maior eficiência estrutural das lajes, e, consequentemente, um menor custo do empreendimento, são parâmetros almejados na construção civil. Nessa linha, os processos de fabricação de lajes alveolares protendidas comumente utilizados são: por fôrma deslizante ou por extrusão (mais utilizado). A manufatura das lajes alveolares está constantemente ligada a um processo de automatização, que emprega concreto de alta resistência, cordoalhas de protensão, máquina para corte, além de sistemas de içamento (pontes rolantes, balancins, garras e cabos de aço). A Figura 2 ilustra, de forma resumida, o processo de fabricação de painéis alveolares:

Figura 2 – Fabricação de painéis alveolares, Clube de concreto (2021).

Segundo El Debs (2017), uma das etapas críticas do projeto dos painéis alveolares é a sua resistência à força cortante, pois, via de regra, não se coloca armadura transversal na alma da peça, em virtude do processo de produção de lajes alveolares. Quando é necessário vencer vãos com maiores dimensões ou suportar cargas mais elevadas, alguns mecanismos são avaliados para tal situação, tais como: a utilização de arranjos com maior número de cordoalhas, aumento da resistência do concreto, aumento da altura da laje e, ainda, pode-se realizar o preenchimento de alvéolos nas extremidades da peça pré-moldada.

O preenchimento dos alvéolos pode ser realizado com o intuito de melhorar a resistência da laje alveolar ao cisalhamento. Os alvéolos longitudinais podem ser preenchidos na pista de concretagem, juntamente com a moldagem das peças ou na obra,

caso em que os concretos empregados possuem diferentes idades (perda de água do concreto de menor idade) comprometendo a aderência entre os dois concretos (CATOIA, 2011). Assim, maiores cuidados são necessários para garantir boa aderência entre o concreto de preenchimento e o da laje.

2.3 Comportamento de lajes alveolares ao cisalhamento

As unidades de lajes alveolares são normalmente constituídas por cordoalhas protendidas, posicionadas em uma ou mais camadas na região inferior das nervuras, e, em alguns casos, também podem ser inseridas na região superior. A força de protensão é introduzida por aderência, e o valor de cálculo do comprimento de transferência depende do nível de protensão e do tipo de cordoalhas utilizadas.

Palmer e Schultz (2009), sobre cisalhamento em lajes alveolares, citam que as formas rupturas mais comuns são flexo-cortante e por tração diagonal (Figura 3). Segundo os autores, a tração diagonal é frequente em elementos com nervura pouco espessa, com consideráveis níveis de protensão e com carregamento concentrado aplicado próximo ao apoio, ao passo que a ruptura por flexo-cortante ocorre em situações contrárias as mencionadas.

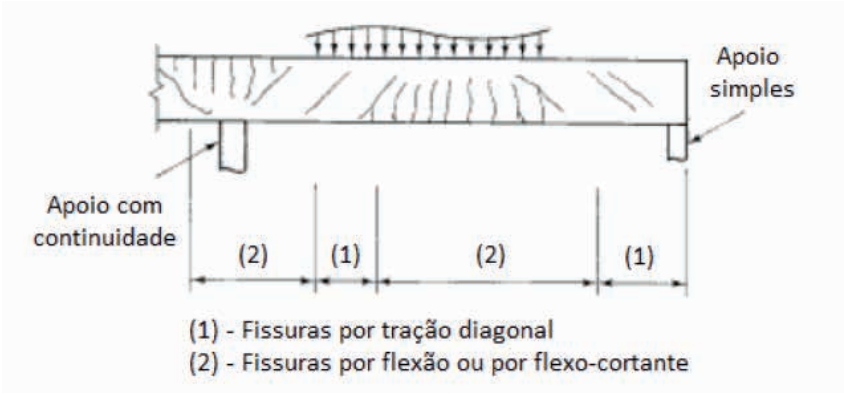


Figura 3 – Tipos de fissura em uma laje, Nawy (1996).

O mecanismo de ruptura por tração diagonal (Figura 4) ocorre em regiões de lajes alveolares não fissuradas por flexão, ou seja, quando a tensão principal atinge o valor da resistência à tração concreto. A fissura inclinada ocorre repentinamente e próxima ao apoio, sendo uma forma de caracterizar esse processo. Dessa maneira, este mecanismo é denominado como “ruptura por cisalhamento em elementos não fissurados”, uma vez que, próximo ao colapso, não existe fissura na região do apoio.

Figura 4 – Ruptura por tração diagonal de uma laje alveolar, Santos (2014).

O mecanismo flexo-cortante (Figura 5) ocorre quando as tensões de cisalhamento e de flexão são elevadas, fazendo com que a ruptura por cisalhamento sofra influência da flexão. As tensões de flexão ocasionam fissuras ao longo do vão, sendo tal mecanismo denominado como “ruptura por cisalhamento em elementos fissurados”.

Figura 5 – Ruptura por flexo-cortante de uma laje alveolar, Santos (2014).

A dificuldade em analisar a capacidade resistente da peça envolve uma análise de redistribuição de esforços após a fissuração e dado a inexistência de armaduras transversais, a propagação das fissuras no concreto ultrapassam a linha neutra, atingindo o banzo comprimido. Os principais mecanismos de influência pontuados por Wight e Mecgregor (2012) são devidos a resistência à tração do concreto; taxa de armadura longitudinal (efeito pino); fator de escala; relação entre a distância de aplicação da força concentrada e a altura útil da seção; esforço axial (por exemplo, protensão) e tipo /tamanho do agregado.

2.4 Dimensionamento ao cisalhamento - prescrições normativas e empíricas

A seguir são apresentadas algumas recomendações normativas para o cálculo da resistência à força cortante em elementos estruturais sem armadura transversal. A norma brasileira de lajes alveolares, NBR 14861:2011, apresenta uma única formulação para cálculo desta verificação. Já o Eurocode 2 (CEN, 2004), o ACI 318 (ACI, 2019) e EN 1168 (norma europeia para lajes alveolares) fazem distinção no cálculo da resistência à força cortante em regiões fissuradas e não fissuradas por flexão.

2.4.1 NBR 14861:2011

A norma brasileira NBR 14861:2011 (ABNT, 2011) de lajes alveolares apresenta uma formulação para a verificação da resistência à força cortante, não fazendo distinção entre regiões fissuradas e não fissuradas por flexão. Esta formulação representa o mecanismo de ruptura por flexo-cortante, portanto relativa às regiões fissuradas por flexão.

A NBR 14861:2011 (ABNT, 2011) para lajes alveolares protendidas sem preenchimento de alvéolos recomenda para o cálculo da resistência ao cisalhamento a Equação 1:

$$V_c = 0{,}25.\, f_{ctk,0,05}(1{,}6 - d)(1{,}2 + 40.\, \rho_1) b_w.\, d + 0{,}15.\, \sigma_{cp}.\, b_w.\, d \qquad \text{(Equação 1)}$$

em que,

$$f_{ct,m} = 0{,}3.\, \sqrt[3]{f_{ck}{}^2} \qquad \text{(Equação 2)}$$

$$f_{ctk,0,05} = 0{,}7.\, f_{ct,m} \qquad \text{(Equação 3)}$$

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w.\, d} \qquad \text{(Equação 4)}$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_p}{A_c} \qquad \text{(Equação 5)}$$

onde,

V_c é a resistência ao cisalhamento fornecida pelo concreto (kN);

$f_{ctk,0,05}$ é a resistência característica à tração inferior do concreto (5% da produção) (MPa);

d é profundidade efetiva da seção transversal (mm);

ρ_1 é a taxa de armadura longitudinal;

b_w é a largura da alma interna da laje (mm);

A_c é a área da seção transversal de concreto (mm²);

σ_{cp} é a tensão normal do concreto no ponto crítico (MPa).

Para lajes alveolares com núcleo preenchidos, a norma brasileira recomenda que a resistência ao cisalhamento pode ser estimada pela Equação 6. Interessante mencionar que a principal diferença entre as Equações 1 e 6 é que esta leva em conta a contribuição do concreto que preenche os alvéolos, contribuindo na rigidez do elemento estrutural e,

consequentemente, gerando acréscimo na resistência ao cisalhamento.

$$V_c = 0{,}25.f_{ctk,0{,}05}(1{,}6 - d)(1{,}2 + 40.\rho_2)b_{w2}.d + 0{,}15.\sigma_{cp,2}.b_{w,2}.d \qquad \text{(Equação 6)}$$

em que,

$$b_{w,2} = b_{w,ext} + b_{w,int} + 0{,}5.n.b_{core}.\frac{E_c}{E_p} \qquad \text{(Equação 7)}$$

$$\rho_2 = \frac{A_{sl}}{b_{w,2}.d} \qquad \text{(Equação 8)}$$

$$\sigma_{cp,2} = \frac{N_p}{A_{c,2}} \qquad \text{(Equação 9)}$$

$$A_{c,2} = A_c + n.A_{core} \qquad \text{(Equação 10)}$$

onde,

$b_{w,2}$ é a largura total das almas da laje alveolar, incluindo os núcleos preenchidos (mm);

$b_{w,ext}$ é a largura da alma externa da laje (mm);

$b_{w,int}$ é a largura da alma interna da laje (mm);

$A_{c,2}$ é a área da seção transversal de núcleos preenchidos de concreto (mm²).

2.4.2 EN1192-1-1:2004

De acordo com a Norma Europeia EC2-1-1, a capacidade resistente ao cisalhamento em região fissurada por flexão para elementos sem armadura transversal é determinada pela Equação 11:

$$V_c = \left[0{,}18.k.(100.\rho_1.f_{ck})^{1/3} + 0{,}15.\sigma_{cp}\right]b_w.d \qquad \text{(Equação 11)}$$

em que,

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2{,}0 \qquad \text{(Equação 12)}$$

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w.d} \leq 0{,}002 \qquad \text{(Equação 13)}$$

Vale salientar que da análise perfunctória das Equações 1 e 11 constata-se grande similaridade entre seus componentes, haja vista inspiração na norma europeia EN 1192-1-1:2004 para criação da norma brasileira.

2.4.3 EN1168:2005

A Norma Europeia EN 1168:2005, apresenta um equacionamento para as lajes que rompem por cisalhamento à tração. Recomenda-se a Equação 14, onde α representa a relação entre a distância do ponto crítico do suporte e da parte superior valor limite do comprimento de ancoragem do elemento de protensão:

$$V_c = 0{,}25.0{,}8.\frac{b_w.I}{S_c}\sqrt{{f_{ctk,0,05}}^2 + 0{,}9.\alpha.f_{ctk,0,05}.\sigma_{cp}} \quad \text{(Equação 14)}$$

sendo,

I o momento de inércia da seção transversal (mm^4);

S_c o momento estático da área da seção transversal acima do ponto crítico (mm^3).

O preenchimento dos núcleos longitudinais do painel alveolar pode ser feito na fábrica, antes da aplicação da protensão, ou *in loco*. Quando o preenchimento dos alvéolos é realizado *in situ*, a resistência ao cisalhamento da laje alveolar com vários núcleos preenchidos pode ser estimada pela Equação 15:

$$V_c = 0{,}8.\frac{b_w.I}{S_{cp}}\sqrt{{f_{ctk,0,05}}^2 + 0{,}9.\alpha.f_{ctk,0,05}.\sigma_{cp}} + \frac{2}{3}n.b_{core}.d.f_{ct,filling} \quad \text{(Equação 15)}$$

sendo,

b_{core} a largura dos alvéolos preenchidos com concreto (mm);

$f_{ct,filling}$ a resistência à tração do concreto do alvéolo preenchido (MPa);

n o número de alvéolos preenchidos.

2.4.4 ACI 318-19

Segundo a norma americana, American Concrete Institute Standard ACI 318-19, é recomendada uma equação empírica (Equação 16) para avaliar a resistência ao cisalhamento de lajes alveolares. Esta equação é baseada em dois termos: contribuição do concreto e contribuição da protensão (no caso de cordoalhas retas essa parcela é nula).

$$V_c = \left(0{,}29\sqrt{f_{ck}} + 0{,}3.\sigma_{cp}\right)b_w.d + V_p \quad \text{(Equação 16)}$$

2.4.5 Modelo de Yang (1994)

Na literatura, existem algumas equações analíticas disponíveis para estimar a resistência ao cisalhamento de lajes alveolares. O procedimento analítico mais conhecido foi apresentado por Yang (1994), baseado em suas modelagens numéricas e sugere a equação de tensões na região crítica da laje. As Equações a seguir resumem a formulação de Yang para lajes alveolares protendidas.

$$\sigma_c = -\frac{N_c}{A_c} + \frac{N_{p,inf}.e_{inf}}{I}z - \frac{N_{p,sup}.e_{sup}}{I}z - \frac{V_z.L_x}{I}z \quad \text{(Equação 17)}$$

$$\tau_c = \frac{1}{b_w}\left[\left(\frac{A_{cp}}{A_c} - \frac{S_{cp}.e_{inf}}{I} + \frac{S_{cp}.e_{sup}}{I}\right)\frac{dN_p}{dx}\right] + \frac{V_z.L_x}{I}z \quad \text{(Equação 18)}$$

$$f_{ct} = \frac{\sigma_{cp}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{cp}}{2}\right)^2 + {\tau_c}^2} \quad \text{(Equação 19)}$$

onde,

$N_{p,inf}$ é a força axial de protensão na borda inferior (N);

$N_{p,sup}$ é a força axial de protensão na borda superior (N);

e_{inf} é a distância entre a cordoalha de protensão inferior e a face inferior da laje (mm);

e_{sup} é a distância entre a cordoalha de protensão superior e a face superior da laje (mm);

V_z é a força de cisalhamento (kN);

A_{cp} é a área da seção transversal acima do ponto crítico (mm²);

Z é a distância do eixo do centroide à fibra onde está localizado o ponto crítico (mm);

L_x é a distância do final da laje até a seção crítica (mm);

tc é tensão de cisalhamento.

3 | METODOLOGIA

Várias equações analíticas e empíricas têm sido propostas para estimar o valor de resistência ao cisalhamento teórico para lajes alveolares protendidas. Além disso, parâmetros como espessura da laje, força de protensão aplicada, presença de capa de concreto e preenchimento dos vazios longitudinais são fatores que podem influenciar no modo de ruptura deste tipo de laje. Dessa forma, o presente capítulo descreve a metodologia empregada (Figura 6), dividido-o em três etapas principais com a finalidade de atingir os objetos propostos para o trabalho.

A primeira etapa compreende a revisão bibliográfica para aprofundar-se no assunto e obter parâmetros físicos e geométricos de lajes ensaiadas experimentalmente. Os principais trabalhos escolhidos foram: (i) Pajari (2005), no qual analisou-se 49 lajes alveolares submetidas à esforços cisalhantes, com seções transversais diversas, e variando a espessura das lajes entre 200 mm a 500 mm; (ii) Catoia (2011), que desenvolveu um extenso programa experimental para avaliar o esforço resistente ao cisalhamento em regiões fissuradas por flexão em painéis alveolares; (iii) França (2012), no qual foram obtidos dados experimentais para comparação com os valores teóricos dos códigos normativos; (iv) Araújo *et al*. (2020), no qual estuda-se a resistência ao cisalhamento de lajes alveolares protendidas de 160 mm de espessura, comumente utilizadas no Brasil.

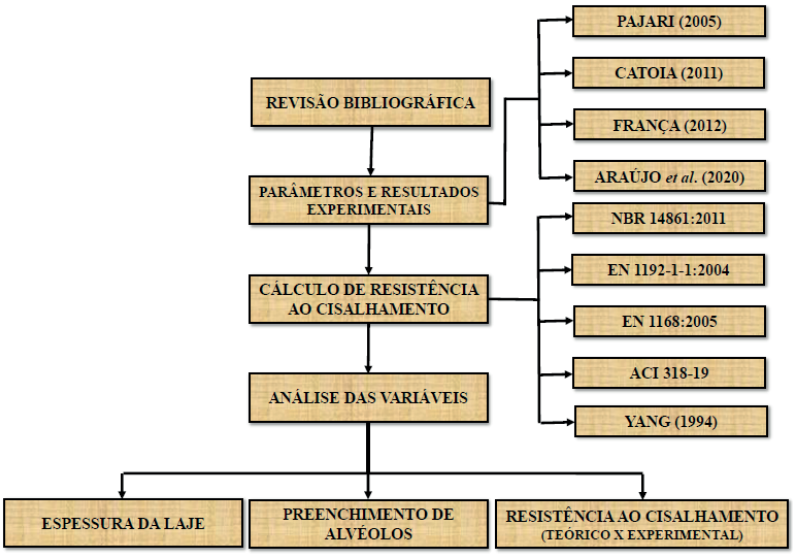


Figura 6 – Fluxograma das principais atividades desenvolvidas.

Uma vez determinados os dados experimentais a segunda etapa consistiu no cálculo teórico da resistência ao cisalhamento por meio dos códigos normativos: (i) NBR 14861:2011; (ii) EN 1192-1-1:2004; (iii) EN 1168:2005; (iv) ACI 318-19; (v) Yang (1994). Por último, efetuou-se a análise dos principais parâmetros que influenciavam na resistência ao cisalhamento dessas lajes, e para um conjunto de lajes com espessura reduzidas foi verificado qual equação disponível na literatura melhor representava a resistência ao cisalhamento dele.

Os principais parâmetros das lajes alveolares ensaiadas experimentalmente por Pajari (2005) e Araújo *et al.* (2020) são apresentados na Tabela 1. Posteriormente, tais dados foram utilizados para avaliar a influência da espessura da laje na resistência à força cortante. No conjunto de lajes com espessura de 165 mm de Araújo *et al.* (2020) verificou-se também qual equação normativa ou empírica melhor representava a resistência ao cisalhamento de uma laje alveolar com espessura reduzida este espaço amostral. Por fim, calculou-se a resistência ao cisalhamento de forma analítica e, em seguida, comparou-se com os valores com os obtidos experimentalmente.

Laje	H (mm)	b_w (cm)	L (cm)	f_{cm} (MPa)	N_p (MPa)
Araújo *et al.* (2020)	165	124	400	42	1341
Pajari (2005)	200	116	548	60	1075
Pajari (2005)	265	116	551	61	995
Pajari (2005)	320	116	699	64	1039
Pajari (2005)	370	114	700	72	1000
Pajari (2005)	400	116	744	66	1044
Pajari (2005)	500	117	881	72	1000

Tabela 1 – Parâmetros geométricos e físicos das lajes alveolares protendidas ensaiadas com altura variável.

As lajes alveolares protendidas, de acordo com a realidade brasileira, possuem espessuras entre 150 mm a 250 mm, sendo particularizado o estudo para esse intervalo. Com a finalidade de avaliar a influência do preenchimento de alvéolos na resistência ao cisalhamento de lajes com espessura reduzida, selecionou-se um conjunto de lajes ensaiadas experimentalmente dos trabalhos de Araújo *et al.* (2020), Catoia (2011) e França (2012) identificando os principais parâmetros delas, conforme apresentado na Tabela 2.

Laje	H (mm)	b_w (cm)	L (cm)	f_{cm} (MPa)	$f_{cm,alv}$ (MPa)	N_p (MPa)	Nº de alv. laje	Alv. preenchidos
Araújo *et al.* (2020)	165	124	400	42	48	1341	9	3-5
Catoia (2011)	200	125	310	50	50	1140	6	2-4
França (2012)	265	125	400	30	30	912	5	2-3

Tabela 2 – Parâmetros geométricos e físicos das lajes alveolares protendidas ensaiadas com e sem alvéolos preenchidos.

4 I RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico, são apresentados os resultados obtidos no trabalho e as respectivas análises e discussões. Inicialmente, são apresentadas as análises de resistência à força cortante para lajes alveolares: (i) com espessura variável; (ii) com e sem alvéolos preenchidos. Por fim, realizou-se também o cálculo dos valores de resistência ao cisalhamento obtidos por meio uma análise experimental por cálculo analítico para um conjunto de lajes com espessura de 165 mm, verificando-se qual equação melhor representava o comportamento experimental.

4.1 Resistência ao cisalhamento de lajes alveolares com espessura variável

Na Tabela 3, apresenta-se a resistência à força cortante obtida experimentalmente e calculadas analiticamente pelo Eurocode 2 e pela equação de Yang, bem como a correlação entre estes resultados.

Laje	H (mm)	$V_{u,exp}$ (kN)	V_{EC2} (kN)	$\frac{V_{u,exp}}{V_{EC2}}$	V_{YANG} (kN)	$\frac{V_{u,exp}}{V_{YANG}}$
Araújo *et al.* (2020)	165	152,99	106,99	1,43	215,49	0,71
Pajari (2005)	200	112,32	168,20	0,67	148,53	0,76
Pajari (2005)	265	193,92	205,96	0,94	202,16	0,96
Pajari (2005)	320	255,71	317,25	0,81	288,80	0,89
Pajari (2005)	370	294,20	399,15	0,74	377,37	0,78
Pajari (2005)	400	353,37	458,37	0,77	389,10	0,91
Pajari (2005)	500	468,87	710,70	0,66	544,28	0,86

Tabela 3 – Análise de resistência ao cisalhamento de lajes alveolares com espessura variável.

Percebe-se que os valores de resistência ao cisalhamento aumentam ao passo que a espessura da laje é elevada. Entretanto, uma exceção é observada entre as lajes de 165 mm e 200 mm de espessura, onde ocorreu uma redução de 36,2 % no valor da resistência ao cisalhamento. Apesar da laje de 200 mm de espessura possuir uma resistência à compressão 42,9% maior que a laje de 165 mm de espessura, esta apresenta uma maior força de protensão (19,8 %) quando comparada com a primeira. Assim, uma possível justificativa é que a força de protensão tem uma maior influência do que a elevação da espessura da laje para esse intervalo de espessuras de lajes.

O cálculo de resistência ao cisalhamento teórico foi aplicado para EN 1192-1-1:2004 e para equação proposta por Yang (1994), os quais foram comparados com os valores experimentais. Observa-se que tanto o Eurocode 2 como a equação de Yang possuem uma boa correlação com os resultados experimentais para lajes de 265 mm de espessura. Já para os demais casos, tais códigos normativos obtiveram resultados mais conservadores, salvo a laje de 165 mm de espessura, onde a formulação do Eurocode 2 subestimou os resultados experimentais em 43 %.

4.2 Resistência ao cisalhamento de lajes alveolares com e sem preenchimento de alveólos

Segundo Pajari (2005), o preenchimento dos vazios longitudinais por concreto aumenta a rigidez desse elemento estrutural, ocasionando, assim, uma melhora substancial na resistência ao cisalhamento das lajes alveolares. A Tabela 4 apresenta os valores de resistência ao cisalhamento obtidos experimentalmente e de forma analítica

pela NBR 14861:2011 para lajes alveolares com a presença ou não de vazios longitudinais preenchidos.

Laje	H (mm)	Nº de alv. Prenchido	$V_{u,exp}$ (kN)	$V_{NBR,preenchido}$ (kN)	$\frac{V_{u,exp}}{V_{NBR,preenchido}}$
Araújo *et al.* (2020)	165	0	152,99	152,99	1,00
		3	156,19	188,22	0,83
		5	133,61	210,45	0,63
Catoia (2011)	200	0	121,39	102,17	1,19
		2	166,52	170,97	0,97
		4	175,49	234,68	0,75
França (2012)	265	0	201,68	142,50	1,42
		2	304,51	192,39	1,58
		3	284,97	217,18	1,31

Tabela 4 – Análise de resistência ao cisalhamento de lajes alveolares com e sem núcleos preenchidos.

Observa-se que a laje alveolar de 265 mm de espessura apresentou um incremento de 51% no valor de resistência ao cisalhamento, com preenchimento de dois alvéolos em relação a laje sem preenchimento. Entretanto, para o caso em que ocorreu o preenchimento de três alvéolos, o incremento foi apenas de 41,3 % em relação a laje de referência. Dessa forma, conclui-se que, para uma laje alveolar protendida de 265 mm de espessura é recomendado que o número máximo de alvéolos preenchidos seja de dois, visto que a eficiência acima desse número diminui, tendo assim um gasto com material e mão de obra.

Para a laje alveolar de 200 mm de espessura com dois alvéolos preenchidos, é visto uma ótima correlação com a NBR 14861:2011, valor bem próximo de 1. Percebe-se, também, que a resistência à força cortante não acompanhou de forma proporcional o incremento de resistência teórica à medida que aumentava a área de concreto que preenche a seção transversal da laje.

Por fim, a laje alveolar de 165 mm de espessura não apresentou um ganho de resistência ao cisalhamento significativo ao preencher os alvéolos. Como a laje de 200 mm de espessura, a resistência à força cortante obtida nos ensaios experimentais também não acompanhou o aumento de resistência calculada de forma analítica pela NBR 14861:2011. Assim, a correlação entre valores experimentais e teóricos possui uma boa aproximação para lajes alveolares de 165 mm que não possuem núcleos preenchidos, porém, à medida que ocorre o preenchimento dos vazios longitudinais, esta correlação cai drasticamente.

4.3 Comportamento à força cortante de lajes alveolares de 165 mm de espessura

Na última etapa, selecionou-se o conjunto de lajes alveolares com 165 mm de espessura com valores experimentais de força cortante com e sem alvéolos preenchidos e determinou-se, de forma analítica, os valores de resistência ao cisalhamento por meio das principais equações disponíveis na literatura, conforme exposto na Tabela 5 e 6.

Elemento	$V_{u,exp}$ (kN)	V_{NBR} (kN)	V_{EC2} (kN)	V_{EN1168} (kN)	V_{ACI} (kN)	V_{YANG} (kN)
Laje alveolar sem alvéolo preenchido	152,99	152,99	106,99	119,52	196,14	215,49
Laje alveolar com alvéolo preenchido	138,51	200,74	-	251,84	-	206,73

Tabela 5 – Valores de resistência ao cisalhamento obtidos por meio de ensaio experimental e por cálculo analítico.

Elemento	$\frac{V_{u,exp}}{V_{u,exp}}$	$\frac{V_{u,exp}}{V_{NBR}}$	$\frac{V_{u,exp}}{V_{EC2}}$	$\frac{V_{u,exp}}{V_{EN1168}}$	$\frac{V_{u,exp}}{V_{ACI}}$	$\frac{V_{u,exp}}{V_{YANG}}$
Laje alveolar sem alvéolo preenchido	1,00	1,00	1,43	1,28	0,78	0,71
Laje alveolar com alvéolo preenchido	1,00	0,69	-	0,55	-	0,67

Tabela 6 – Análise da resistência ao cisalhamento de lajes alveolares protendidas com espessura reduzida com e sem preenchimentos dos alvéolos.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 6 para lajes alveolares sem alvéolos preenchidos, observa-se que a NBR 14861:2011 é o código normativo que melhor representa o comportamento experimental de lajes alveolares com 165 mm de espessura. Já os valores de resistência ao cisalhamento determinados pela EN 1192-1-1:2004 e pela EN 1168:2005, subestimaram os resultados experimentais, ou seja, os valores teóricos são inferiores aos determinados experimentalmente, nesse caso, esses dois códigos normativos são considerados conservadores para aquele tipo de laje. Já a equação de Yang e ACI 318-19 superestimam os resultados experimentais, isto é, os valores teóricos calculados são superiores aos determinados experimentalmente, não sendo indicados para aquele tipo de laje.

Por fim, quanto as lajes alveolares protendidas com alvéolos preenchidos com 165 mm de espessura, diante dos códigos normativos aplicados, nenhuma foi capaz de simular, com boa correlação, a resistência ao cisalhamento, sendo necessário o aprimoramento de tais normas para contemplar, de forma mais precisa, essa situação, visto que, no Brasil, lajes com espessuras reduzidas são frequentes em obras civis.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

As principais conclusões deste trabalho são:

- Parâmetros como a espessura da laje, força de protensão aplicada e preenchimento de alvéolos influenciam diretamente na resistência ao cisalhamento de lajes alveolares protendidas;
- Nas lajes alveolares protendidas com espessura reduzida a contribuição realizada pelo preenchimento dos vazios longitudinais com concreto é insignificante quando comparada as lajes mais espessas, devido o acréscimo de rigidez ser muito baixo.
- O código normativo a NBR 14861:2011 foi o que melhor representou o comportamento experimental à força cisalhante em lajes alveolares protendidas com espessura reduzida sem alvéolos preenchidos;
- Os códigos normativos estudados neste trabalho não apresentam uma boa correlação com os valores experimentais obtidos para lajes alveolares protendidas de espessura reduzida com presença de alvéolos preenchidos.

Dessa maneira, é importante o aprimoramento contínuo desses códigos normativos, a fim de contemplar todas as peculiaridades daquele tipo de elemento estrutural, principalmente para as lajes alveolares protendidas com espessura reduzida, visto que tais peças possuem uma grande aplicabilidade no Brasil, e ainda possuem poucos trabalhos desenvolvidos na literatura técnica/científica.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI Committee 318**. Building code requirements for structural concrete. Commentary on Building Code Requeriments for Structural Concrete (ACI 318R-19). Farmington Hills, MI: ACI Committee 318, 2019.

ARAÚJO, D. L.; SALES, M. W. R.; SILVA, R. P. M.; ANTUNES, C. F. M.; FERREIRA, M. A. Shear strength of prestressed 160 mm deep hollow core slabs. **Engineering Structures**, v. 218, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14861**: Lajes alveolares pré-moldadas de concreto protendido – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2011. 36p.

CATOIA, B. **Lajes alveolares protendidas: cisalhamento em região fissurada por flexão**. 2011. 325p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION – CEN. **EN 1992-1-1:2004** – Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1.1: General rules and rules for buildings. Brussels, Belgium, 2004.

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION– CEN. **EN 1168:2005**. Precast Concrete Product – Hollow Core Slabs. Brussels, Belgium, 2005

EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado: Fundamentos e aplicações**. São Paulo, Oficina de textos, 2017. 456p.

FERREIRA, M. A. Cisalhamento em Lajes Alveolares. Disponível em: http://www.netpre.ufscar.br/index.php/recursos/textos-e-publicacoes/. Acesso em: 03 maio 2021.

FRANÇA, A. A. V. **Estudo das lajes alveolares pré-fabricadas em concreto protendido submetidas a ensaios de cisalhamento**. 2012. 136p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

NAWY, E. G. **Reinforced concrete: a fundamental approach**. 3.ed. New Jersey, U.S.A Prentice Hall, 1996.

PAJARI, M. **Resistance of Prestressed Hollow Core Slabs Against Web Shear Failure**. Research Notes 1292, VTT Technical Research Centre of Finland, 2005. 69p.

PALMER, K. D; SCHULTZ, A. E. **Web shear strength of precast, prestressed concrete hollow core slab units: a final report**. Departament of Civil Engineering. University of Minnesota. Minneapolis, MN, U.S.A. 2009.

PETRUCELLI, N. S. **Considerações sobre projeto e fabricações de lajes alveolares protendidas**. 2009. 106f. Dissertação (Mestrado) - - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

SANTOS, A. P. **Análise da continuidade em lajes alveolares: estudo teórico e experimental**. 2014. 370p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

TESSARI, F. L. **Análise numérica de cisalhamento em lajes alveolares protendidas**. 2019. 112f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Espírito Santo, Vitória, 2019.

WIGHT, J. K; MACGREGOR, J. G. **Reinforced concrete: mechanics & design**. 6 ed. New Jersey, U.S.A. Pearson, 2012.

YANG, L. Design of prestressed hollow core slabs with reference to web shear failure. **Journal of Stuctural Engineering**. American Society of Civil Engineers (ASCE). Reston, VA, U.S.A. v. 120, n.9, p. 2675-2696. 1994

CAPÍTULO 4

ANÁLISE E OBTENÇÃO DE PROPOSTAS DE REDUÇÃO DE CUSTOS APLICADAS NA CADEIA PRODUTIVA DE MOTOCICLETAS

Data de aceite: 01/09/2023

Gerson Pedro Favacho Lopes
Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos (PPGEP)
Belém – Pará
http://lattes.cnpq.br/0778884729011417

Mailson Batista de Vilhena
Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia (PRODERNA)
Belém – Pará
http://lattes.cnpq.br/0383588164193085

Helder Kiyoshi Miyagawa
Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos (PPGEP)
Belém – Pará
http://lattes.cnpq.br/5848592858919971

Edilson Marques Magalhães
Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos (PPGEP)
Belém – Pará
http://lattes.cnpq.br/1570353513360972

Bruno Marques Viegas
Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos (PPGEP)
Belém – Pará
http://lattes.cnpq.br/1196600058247902

RESUMO: Baseado na necessidade de reduzir os aumentos dos custos de fabricação contidos na cadeia produtiva de motocicletas, em função da instabilidade econômica. Este trabalho apresenta uma proposta para redução, se não total, parcialmente, dos impactos financeiros refletidos no preço do produto final. Dessa forma, foram realizadas análises visando à obtenção dos melhores setores, dentro da cadeia produtiva, para a aplicação da redução de custos. Para a organização sequencial das ações utilizou-se análises através de fluxogramas. O diagrama de Pareto foi utilizado para identificar o maior potencial financeiro para aplicação das estratégias da pesquisa. O ciclo PDCA norteou o planejamento, as ações e o desenvolvimento das estratégias. O 5W2H orientou o desenvolvimento das propostas obtidas, assim como análises sobre o custo

industrial. Os resultados mostraram o seguimento e os itens onde pode-se aplicar o estudo da redução de custos dentro da cadeia produtiva de motocicletas, quais sejam: seguimento de estamparia e o conjunto do garfo traseiro. A utilização da metodologia proposta neste trabalho aponta para uma redução de custo em torno de 5% equivalente a R$ 420.000,00/ano, o qual pode-se refletir positivamente para a redução no preço do produto final.
PALAVRAS-CHAVE: Ciclo PDCA, 5W2H, Eficácia de custos, Diagrama de Pareto, Produção de motocicletas.

ANALYSIS AND ACQUISITION OF COST REDUCTION PROPOSALS APPLIED TO THE MOTORCYCLE PRODUCTION CHAIN

ABSTRACT: Based on the need to reduce increases in manufacturing costs contained in the motorcycle production chain, due to economic instability, this study presents a proposal to mitigate, if not entirely, partially, the financial impacts reflected in the final product price. In this way, analyzes were carried out in order to obtain the best sectors, within the production chain, for the application of cost reduction. For the sequential organization of actions, analysis through flowcharts was used. The Pareto diagram was used to identify the greatest financial potential for applying the research strategies. The PDCA cycle guided the planning, actions and development of strategies. The 5W2H guided the development of the proposals obtained, as well as analyzes on the industrial cost. The results showed the follow-up and the items where the cost reduction study can be applied within the motorcycle production chain, namely: stamping follow-up and the rear fork set. The use of the methodology proposed in this work points to a cost reduction of around 5% equivalent to R$ 420,000.00/year, which can be positively reflected in the reduction in the price of the final product.
KEYWORDS: PDCA cycle, 5W2H, Cost Effectiveness, Pareto diagram, Motorcycle production.

1 | INTRODUÇÃO

Em dezembro de 2019 surgiu um surto de uma doença respiratória febril devido a um novo coronavírus, denominado de COVID-19 (Al-qaness *et al*., 2020; Cotta *et al*., 2020; Hui *et al*., 2020). O isolamento como uma das formas de proteção impactou negativamente o comércio e outras áreas da economia, e com isso, as consequências previstas pelo governo brasileiro no início de 2020 voltaram-se para a redução de exportações, diminuição no preço de *commodities* e piora nos termos de troca; suspensão de cadeias produtivas de alguns setores, declínio nos preços de ativos e regressão das condições financeiras; gerando a diminuição no fluxo de pessoas e mercadorias (Ministério da Economia, 2020). Em meio a esse momento de retração é necessário a busca da superação do mercado nacional para tornar-se mais competitivo.

Com a diminuição do poder aquisitivo da população, ocorreu um aumento da utilização da motocicleta como meio de locomoção, geração de renda e transporte. Os principais fabricantes de motocicletas do país estão localizados no Polo Industrial de Manaus (PIM) e representam a maior parcela da produção nacional, que em 2013 apresentou 82% do mercado nacional de motocicletas Moraes (2016).

Segundo Perez e Famá (2015), o processo de globalização e a evolução das tecnologias aumentou a competitividade entre as empresas, exigindo diferenciais entre elas, como a obtenção de um produto que apresente elevada qualidade e que tenha um preço acessível, a fim de atender as expectativas do cliente final.

De acordo com Nakagawa (1994) *apud* Marques (2017), para manter a competitividade entre as empresas, essas devem dinamizar operações, minimizar desperdícios, aplicando comprometimento para evolução da qualidade e adicionando novas tecnologias de manufatura. Para conter a influência externa no preço do produto é necessário o aprofundamento cada vez maior na forma de produção, tais como: a origem de seus componentes, tratativa aplicada em cada processo, especificação dos materiais, *Bill of Material* (*BOM*) e logística aplicada em estoque e movimentação.

Conforme Prates (2007) e Silva (2015), os fatores externos são variáveis relevantes da economia, pois os mesmos são responsáveis por manter a economia aberta através da aquisição e exportação de matérias-primas, como é o caso dos metais que são utilizados como insumos na produção industrial. Em função disso, é necessário buscar propostas visando à mitigação de parte das ações sofridas em função de fatores externos, que refletem na composição do custo do produto, sendo imprescindível identificar qual a representatividade de cada fator externo na consolidação do custo direto, ou seja, na aquisição de insumos e matéria-prima, na mão de obra direta e nos gastos gerais de fabricação, sendo esses facilmente mensuráveis Schleder (2011).

Segundo Santos *et al.* (2018), é relevante o uso de indicadores de desempenho para determinar os próximos passos da empresa, pois eles podem proporcionar melhorias significativas nas atividades internas junto às estratégias e objetivos gerais da empresa. O desenvolvimento dos indicadores sólidos é gerado a partir de procedimentos aplicados, proporcionando respaldo seguro para que as tomadas de decisões sejam assertivas para a consolidação de um custo justo para o produto.

Nesta pesquisa, foram utilizadas ferramentas da qualidade, tais como fluxogramas, diagrama de Pareto, ciclo PDCA e 5W2H, usadas para a criação de um roteiro de gestão, planejamento e desenvolvimento junto com os conhecimentos a respeito do custo industrial, suas composições e particularidades, visando à obtenção de propostas para a redução dos custos que estão contidos nos fluxos da cadeia de produção de motocicletas, resultando em métricas utilizadas nas análises, confecções de laudos com o resultado preliminar do estudo e procedimentos que contribuam para as atividades de buscas e análises de propostas que consigam gerar reduções de custos.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Os estudos foram realizados nas informações técnicas obtidas da montagem de uma motocicleta, cujos destaques foram para os desenhos técnicos de onde foram extraídos

dados como as matérias-primas utilizadas para a produção dos itens, seus consumos, suas tolerâncias e especificações, assim como quais processos foram necessários para suas transformações; no caso dos componentes, foram obtidas as mesmas informações, com exceção do processo de transformação, pois o mesmo é utilizado, geralmente, para montagem em um conjunto ou diretamente na composição do produto acabado. A Figura 1 demonstra, de forma geral, os fluxos que as matérias-primas e os componentes seguem dentro da cadeia produtiva de fabricação da motocicleta.

Como demonstrado na Figura 1, a matéria-prima é processada e transformada em componentes, seguido da etapa de montagem; enquanto os componentes seguem diretamente para a etapa de montagem. A análise do produto divide-se em: identificação dos itens; processo produtivo e custo de produção.

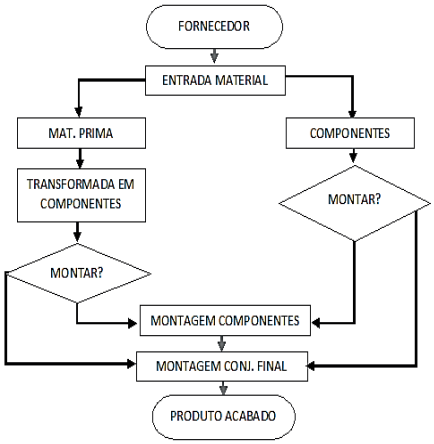


Figura 1 - Fluxograma das matérias-primas e componentes na cadeia de produção de motocicleta.

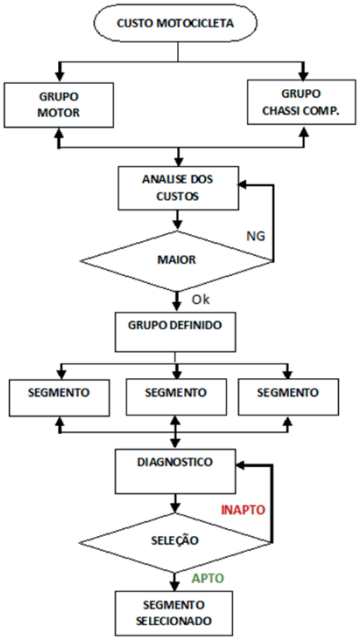


Figura 2 - Fluxograma da análise da divisão da motocicleta em grupo.

Como etapa inicial, para auxiliar o planejamento, desenvolvimento e a checagem das ações a serem implementadas utilizou-se o ciclo PDCA. O objetivo foi separar os componentes em grupos que sofressem o mesmo processo de produção, facilitando a uniformização da metodologia adotada. A Figura 2 apresenta o fluxograma da metodologia utilizada para identificar o grupo com maior relevância financeira, seguido das análises aplicadas.

Verifica-se na Figura 2 que foi realizado a definição do grupo onde a pesquisa seria

desenvolvida. Na etapa seguinte foi realizado a separação dos componentes em grupos por segmentos de fabricação para facilitar a aplicação de uma metodologia uniforme de análises, conforme a distinção do processo de cada segmento agrupado.

Selecionado o segmento, avaliaram-se os conjuntos que faziam parte do segmento para aplicação de ferramentas de qualidade adicionais para identificar os principais conjuntos. A Figura 3 ilustra o fluxograma da análise dos segmentos.

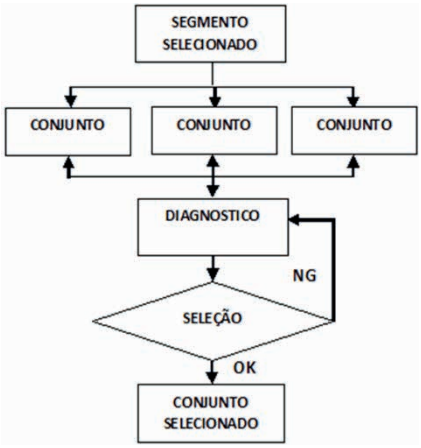


Figura 3 - Fluxograma da análise da seleção dos segmentos.

A Figura 3 demonstra o estreitamento do campo de avaliação para selecionar as informações para chegar a um ponto exato de pesquisa. Selecionado em qual conjunto seria possível a continuidade da pesquisa, utilizou-se a fermenta 5W2H, que aliada ao ciclo PDCA, para orientar e ratificar as etapas seguintes. Dessa forma, foi realizada a decomposição dos componentes visando à aplicação de uma análise item a item. Foram analisados os itens processados internamente, bem como os materiais comprados, tanto a matéria-prima como componentes. Em seguida, identificou-se os itens que apresentaram maior possibilidade de obtenção de propostas de redução de custo.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Diagnóstico financeiro de cada grupo

A Tabela 1 demonstra a representatividade financeira de cada grupo para identificar qual contém a maior representatividade financeira e assim definir o grupo e aplicar a redução de custo.

VALORES CONTIDOS NO CUSTO DA MOTOCICLETA		
GRUPO	VALORES (R$)	PERCENTUAL %
MOTOR	R$ 2.134,8	31%
CHASSI COMP.	R$ 4.831,6	69%
TOTAL	R$ 6.966,4	100%

Tabela 1 - Representatividade financeira de cada grupo.

Verifica-se na Tabela 1 os valores agregados em cada grupo e seus percentuais em relação ao custo total de fabricação da motocicleta, com destaque para o grupo chassi completo. No grupo chassi completo foi aplicado a estratégia de separação dos itens por segmentos de produção. A representatividade financeira de cada segmento pode ser observada com o auxílio do diagrama de Pareto (Figura 4). Como observado na Figura 4 os principais segmentos que contribuem para o custo do chassi são: a montagem dos componentes, a pintura, a estamparia e a solda, os quais foram escolhidos para o ciclo PDCA.

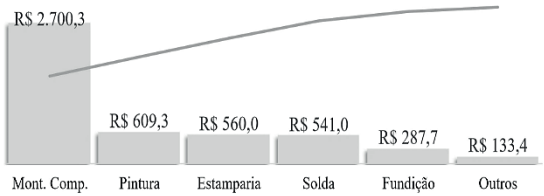


Figura 4 - Diagrama de Pareto.

3.2 Estudos aplicados nos segmentos

Seguindo as orientações do ciclo PDCA para a realização das avaliações aplicadas nos segmentos, foi necessário a decomposição dos custos para a obtenção de um painel de dados, no qual foram realizadas as análises e obtiveram-se como resposta a geração do laudo contendo, entre outras informações, a de que o segmento está inapto ou apto para os estudos da pesquisa. Os segmentos de montagem, pintura e solda, foram considerados inaptos devido principalmente as restrições de informações técnicas dos componentes, pois somente os fornecedores detém o *know-how* de fabricação e processos.

A Figura 5 apresenta o painel de dados referente ao segmento estamparia. Primeiramente, é apresentada a divisão do custo entre os itens comprados e os processados internamente, onde destacou-se a relevância financeira dos itens comprados, os quais foram divididos por procedência. Para esses itens, há um certo equilíbrio nos custos contidos no tópico local e o nacional.

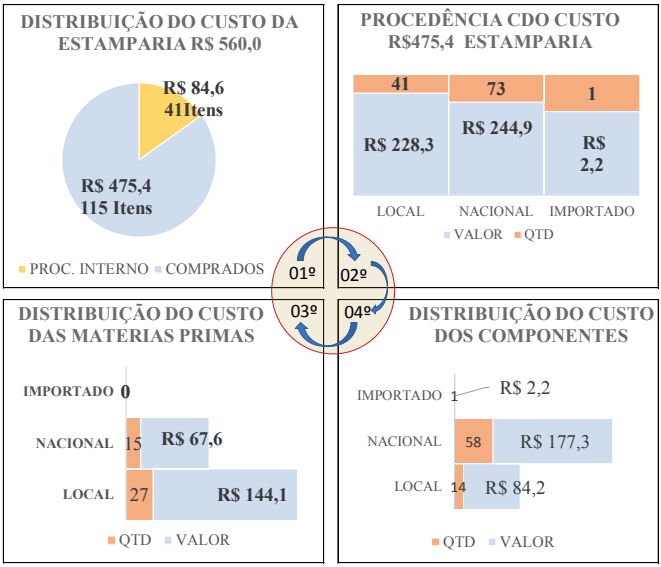


Figura 5 - Análise do segmento estamparia.

A possibilidade de conseguir obter propostas nos itens processados internamente, direcionou a pesquisa para esse segmento de estamparia. A partir desse resultado, as próximas ações foram as de avaliar os conjuntos que o compunham, aplicando uma metodologia semelhante a que foi utilizada nos estudos dos segmentos.

3.3 Estudo aplicado nos conjuntos que foram selecionados

A Figura 6 apresenta os resultados da análise dos conjuntos do segmento estamparia.

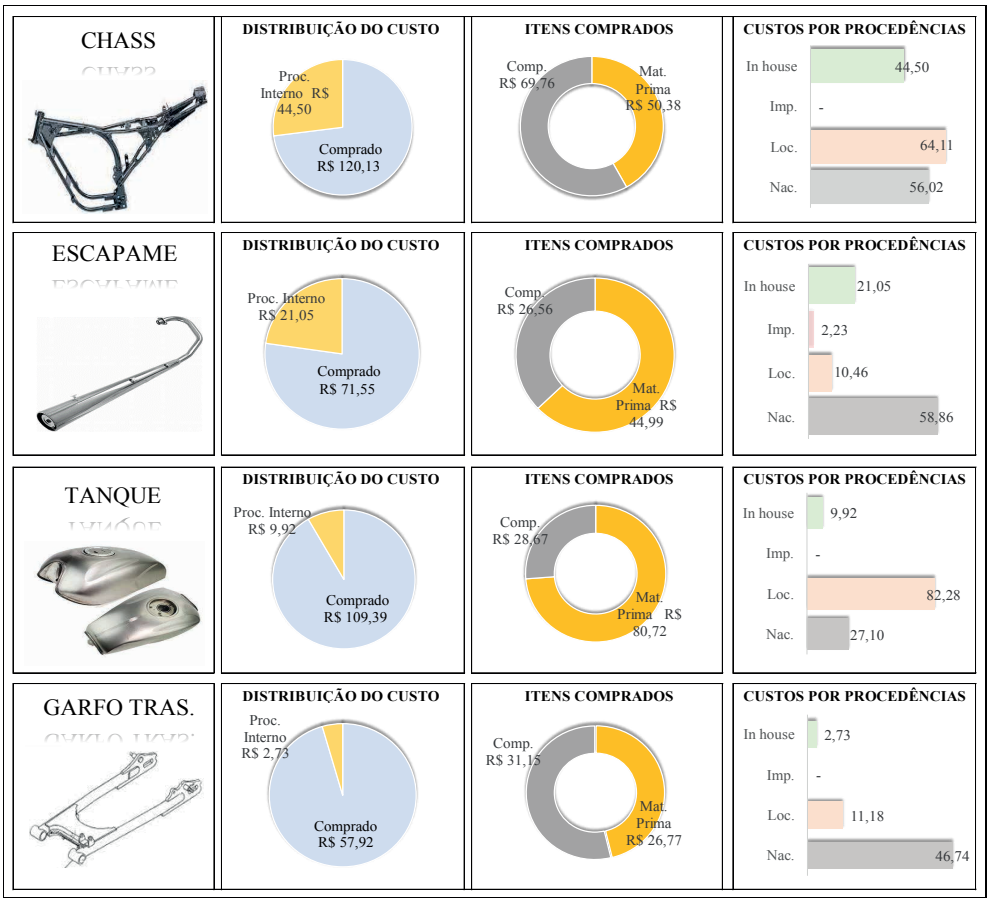


Figura 6 - Análise dos conjuntos do segmento estamparia.

A Figura 6 mostra a decomposição do custo dos conjuntos contidos no segmento estamparia. As informações financeiras foram avaliadas em conjunto com as informações técnicas, que resultou nas avaliações de cada conjunto. Os conjuntos chassi, escapamento e tanque, possuem dificuldades de acesso às informações técnicas, assim como o conhecimento do processo de fabricação por parte de fornecedores e fabricante o que impossibilita a continuidade dos estudos nesses conjuntos. No caso do conjunto garfo traseiro houve acesso às informações, mesmo que parcial, possibilitando a continuidade da pesquisa.

3.4 Análise e definição das propostas de redução de custo

Com os estudos realizados surgiu a possibilidade de conseguir um custo menor de processo de estampagem com o processo sendo realizado por um fornecedor local. Porém, ainda haveria o empecilho de conseguir a aquisição da matéria-prima nos mesmos valores conseguidos pelo fabricante atual das peças. Então avaliou-se a situação e definiu-

se pela estratégia de desverticalizar o processo de estamparia, mas aplicando em conjunto a estratégia de triangulação da matéria-prima, onde o fornecedor selecionado executa a estampagem das peças, mas a matéria-prima seria fornecida pelo fabricante atual, onde ela entraria e seria enviada para o fornecedor como remessa para industrialização. Dessa forma, o fornecedor cobraria somente pelo processo aplicado. A Figura 8 ilustra o fluxograma atual dos itens selecionados, desde a entrada da matéria-prima até o processo de soldagem. A Figura 9 apresenta como ficaria o fluxograma a partir dos resultados obtidos nesta pesquisa.

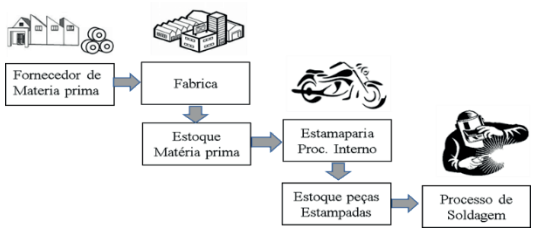


Figura 8 - Fluxograma atual dos itens selecionados.

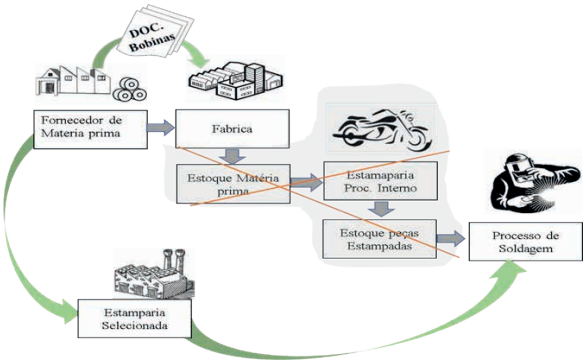


Figura 9 - Fluxograma com a triangulação de material e desverticalização de processo.

Verifica-se na Figura 8 que o fluxograma atual dos itens selecionados seguem o seguinte trâmite: o fornecedor de matéria-prima envia o material para a fábrica, em seguida entra no estoque de material e é enviado para o setor de estamparia para ser processado. Após isso, as peças processadas são separadas no estoque de peças acabadas para serem enviadas ao processo de soldagem junto com outros componentes, tendo como produto final o garfo traseiro soldado pronto para ir para o processo de pintura.

No fluxograma proposto na Figura 9, o fornecedor enviará a documentação da matéria-prima para o fabricante atual, onde o mesmo faria todo o trâmite burocrático, mas fisicamente o material será entregue na estamparia selecionada para produzir os itens. Após processadas, as peças serão enviadas para o fabricante de motocicleta, entrando no estoque de peças acabadas e prontas para soldagem, seguindo o fluxo normal do processo

até a finalização de produção do garfo traseiro.

3.5 Análise dos resultados obtidos com a pesquisa

Para o cálculo do mérito da proposta, precisou-se realizar o levantamento de alguns dados referentes a produção da motocicleta, como o plano de produção anual que seria de 600.000 unidades/ano e o mensal de 50.000 unidades mês. Em seguida, realizou-se o comparativo do custo entre o do fabricante atual e o fornecedor escolhido na definição de quem iria desenvolver o tema.

Foi estabelecido um valor para cada pré-requisito, que foram os seguintes: 5 pontos quando atender por completo o pré-requisito; 4 pontos quando atender parcialmente ao pré-requisito; 3 pontos quando atender com restrições ao pré-requisito; e 2 pontos quando não atender ao pré-requisito. Em seguida, definiu-se a pontuação ideal a ser alcançada (25 pontos) e a aceitável (23 pontos). O fornecedor 3, apesar de apresentar uma pontuação de atendimento parcial no tópico layout, foi o qual apresentou uma melhor performance no resultado da análise do gráfico de radar (Figura 10), sendo o escolhido a desenvolver a proposta da pesquisa. A Tabela 2 apresenta o comparativo do custo atual x custo do fornecedor.

Informações Descritivas				Informaçoes dos Processos				Informaçoes dos Custos		
ORD	NÍVVEL	DESCRIÇÃO	PROCED.	SETOR	T&P	UNID.	QTD.	CUSTO ATUAL	CUSTO FORNEC.	DIF.
1	...4	Garfo Tras.	In House	SD		Pc				
2	5	Placa T. Garfo Tras.	In House	Estamparia	13,76	Pc	1,000	1,35	0,83	-0,52
3	6	Bobina A	Local			Kg	1,690	10,97	10,97	0,00
4	5	Spt. 1D Guia	In House	Estamparia	2,24	Pc	1,000	0,22	0,13	-0,09
5	6	Bobina D	Local			Kg	0,012	0,08	0,08	0,00
6	5	Spt. 1C Guia	In House	Estamparia	2,24	Pc	1,000	0,22	0,13	-0,09
7	6	Bobina C	Local			Kg	0,017	0,12	0,12	0,00
							Total	**12,97**	**12,27**	**- 0,70**

Tabela 2 - Comparativo custo atual x custo fornecedor.

Verifica-se na Tabela 2 a diferença do custo de produção do preço atual em comparação ao custo proposto pelo fornecedor selecionado. Observa-se na composição do custo que o valor referente à matéria-prima se repete. Conclui-se com essa análise que a soma do mérito unitário conseguido com a pesquisa foi de R$ 0,70 o que representa uma redução de 5,4% nos custos de produção.

Esta pesquisa gerou o seguinte roteiro: primeiramente, buscou-se definir onde seriam realizadas as análises de redução de custo na cadeia de produção da motocicleta. Em seguida, agrupou-se os itens por segmentos e aplicou-se as análises onde surgiram as dificuldades com restrições a acessos a dados técnicos, fornecedor que detinha o *know-how* do processo, especificações exclusivas de material, etc. Apesar das dificuldades

em obter certas informações, foi possível desenvolver as propostas de redução de custo proporcionando estudos promissores. A Figura 10 apresenta a ilustração do roteiro obtido, mostrando que mesmo com as restrições de informações, há um potencial para buscar mais propostas de redução de custos na cadeia de produção das motocicletas.

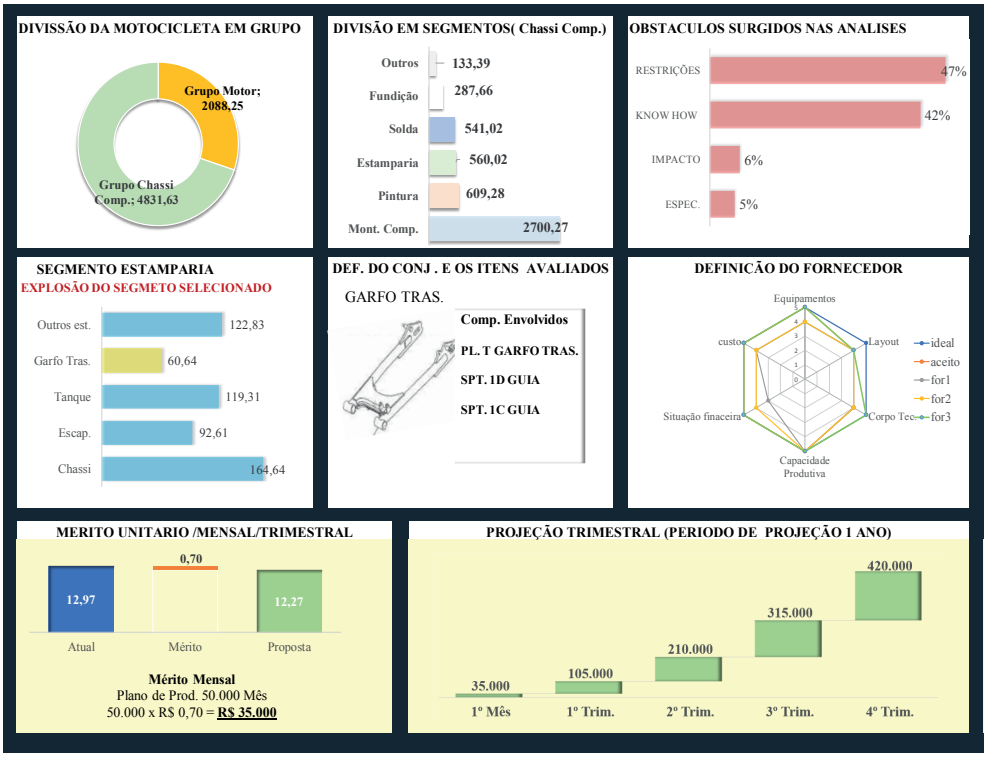


Figura 10 - Ilustração do roteiro aplicado na pesquisa.

4 I CONCLUSÃO

Na primeira análise do custo geral do produto, identificou-se dois grupos distintos na motocicleta que possuem peculiaridades em seus processos. Dessa forma, a representatividade em valor de cada grupo serviu como métrica para o direcionamento da pesquisa em busca de seu objetivo. Após a definição do grupo chassi como grupo mais representativo, foi aplicado uma análise na composição do custo, na qual identificou-se a necessidade de aumentar o nível de detalhamento para uma melhor coleta de informações e acuracidade das análises. Foram também organizados os itens por segmento para facilitar as referidas análises.

Para um desenvolvimento e uma resposta mais precisa na aplicação da pesquisa, avaliou-se a composição do custo de cada segmento evidenciando os tópicos em processos interno e material, os quais foram divididos em local, nacional e importado. Com uma visão mais ampla da composição do custo, deu-se início as análises dos segmentos e na

composição de seus custos consecutivamente.

Feito as avaliações, quando possível, identificou-se que no segmento estamparia, apesar de não ser possível a análise de todos os itens, era onde havia a maior viabilidade de aplicação da pesquisa.

O custo não pode ser fator determinante na definição de quem produzirá as peças, portanto é necessário avaliar o fornecedor de acordo com os requisitos mínimos de atuação na produção dos itens. O fornecedor escolhido foi aquele que reduziu o custo do item garfo em 5% e obteve um mérito mensal de R$ 35.000, o que no acumulado do ano representa R$ 420.000, atendendo as expectativas da pesquisa.

REFERÊNCIAS

AL-QANESS, M. A. A.; EWEES, A. A.; FAN, H.; AZIZ, M. A. E. **Optimization Method for Forecasting Confirmed Cases of COVID-19 in China**. Journal of Clinical Medicine, v. 9, pp. 674, 2020.

COTTA, R. M.; NAVEIRA-COTTA, C. P.; MAGAL, P. **Modelling the COVID-19 epidemics in Brasil: Parametric identification and public health measures influence**. medRxiv, 20049130, pp. 1-28, 2020.

HUI, D. S.; AZHAR, E. I.; MADANI, T. A.; NTOUMI, F.; KOCK, R.; DAR, O.; IPPOLITO, G.; MCHUGH, T. D.; MEMISH, Z. A.; DROSTEN, C.; ZUMLA, A.; PETERSEN, E. **The continuing 2019-nCoV epidemic threat of novel coronaviruses to global health - The latest 2019 novel coronavirus outbreak in Wuhan**. International Journal of Infectious Diseases, v. 91, pp. 264-266, 2020.

MARQUES, F. C. **Metodologia de redução de custos em indústria automotiva.** 2017. 13 pág. Administração. Universidade Federal Fluminense. Volta Redonda. 2017.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. **Ministério da Economia avalia impacto econômico do coronavirus**. Disponível: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/financas-impostos-e-gestao-publica/2020/03/ministerio-da-economia-avalia-impacto-economico-do-coronavirus-no-brasil>. Acesso:12 de julho de 2020.

MORAES, E. de O. **Espaço e indústria: um estudo sobre a produção e distribuição de motocicletas honda no estado do amazonas**. REVISTA IGAPÓ-Revista de Educação Ciência e Tecnologia do IFAM, 10.1 (2016): 114-127.

PEREZ, M. M.; FAMÁ, R. **Características estratégicas dos ativos intangíveis e o desempenho econômico da empresa.** UNISANTA Law and Social Science – p. 107 - 123; Vol. 4, nº 2 (2015).

PRATES, D. M. **A alta recente dos preços das commodities**. Revista de Economia Política, vol. 27, nº 3 (107), pp. 323-344, julho-setembro/2007.

SANTOS, P. V. S.; SANTOS, L. Di P. G. **Brazilian Journal of Production Engineering, São** Mateus, Vol. 4, N.º4, p. 115-133. (2018). Editora CEUNES/DETEC.

SCHLEDER, R. F. **Os impactos ocasionados pela readequação dos custos indiretos de fabricação.** 41 pag. (Ciências Contábeis) - Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul. 2011.

SILVA, C. da B. **Impactos da volatilidade da taxa de câmbio sobre o comércio intra-industrial do Mercosul.** 2015. 46 pg. Curso de Ciências Econômicas-Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2015.

CAPÍTULO 5

APRIMORANDO O ENSINO UNIVERSITÁRIO: EXPLORANDO AS PODEROSAS TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, COM ENFOQUE EM *CHABOTS* COMO FERRAMENTA DE APOIO

Data de aceite: 01/09/2023

Márcio Mendonça
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
PPGEM-CP - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica PP/CP
Cornélio Procópio - PR
http://lattes.cnpq.br/5415046018018708

Vicente de Lima Gongora
Faculdade da Industria Senai
Londrina - PR
http://lattes.cnpq.br/6784595388183195

Miguel Angel Chincaro Bernuy
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento de Engenharia Elétrica – Daele
Cornélio Procópio - PR
http://lattes.cnpq.br/0848702819711420

André Luiz Salvat Moscato
Instituto Federal do Paraná, Campus Jacarezinho
Jacarezinho - PR
http://lattes.cnpq.br/1744149363927228

Michelle Eliza Casagrande Rocha
Universidade Norte do Paraná – Unopar – Kroton
Londrina - PR
http://lattes.cnpq.br/4411484670091641

Janaína Fracaro de Souza Gonçalves
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
PPGEM-CP - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica PP/CP
Cornélio Procópio - PR
http://lattes.cnpq.br/1857241899832038

José Augusto Fabri
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Computação (DACOM)
Cornélio Procópio - PR
http://lattes.cnpq.br/1834856723867705

Wagner Fontes Godoy
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento de Engenharia Elétrica – Daele
Cornélio Procópio - PR
http://lattes.cnpq.br/7337482631688459

Marcos Antônio de Matos Laia
Universidade Federal de São Joao Del Rei
Departamento De Ciência Da Computação – UFSJ
Minas Gerais - MG
http://lattes.cnpq.br/7114274011978868

Vera Adriana Huang Azevedo Hypólito
Departamento Computação-
ETEC Jacinto Ferreira de Sá
http://lattes.cnpq.br/6169590836932698

Carlos Alberto Paschoalino
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento de Engenharia Elétrica – Daele
Cornélio Procópio - PR
http://lattes.cnpq.br/0419549172660666

Fabio Rodrigo Milanez
Faculdade da Industria Senai
Londrina - PR
http://lattes.cnpq.br/3808981195212391

Luiz Francisco Sanches Buzachero
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento de Engenharia Elétrica – Daele
Cornélio Procópio - PR
http://lattes.cnpq.br/1747856636744006

Henrique Cavalieri Agonilha
Acadêmico - Universidade Filadélfia (Unifil) Londrina
Londrina - PR
http://lattes.cnpq.br/9845468923141329

Marcos Banheti Rabello Vallim
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento de Engenharia Elétrica – Daele
Cornélio Procópio - PR
http://lattes.cnpq.br/2326190172340055

Kazuyochi Ota Junior
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Mestrando - PPGEM-CP - Programa de Pós-Graduação Multicampi em Eng Mecânica
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/3845751794448092

Francisco de Assis Scannavino Junior
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento de Engenharia Elétrica – Daele
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/4513330681918118

Matheus Gil Bovolenta
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Acadêmico - Departamento de Engenharia Elétrica – Daele
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/1518815195539638

Fabio Nogueira de Queiroz
Centro Paula Souza
Departamento Computação-FATEC Ourinhos
Ourinhos – Sp
http://lattes.cnpq.br/4466493001956276

RESUMO: Este artigo discorre sobre o uso de técnicas de inteligência artificial (IA) - especificamente aprendizado de máquinas, algoritmos evolutivos e lógica fuzzy - como ferramentas de apoio no ensino universitário. Essas técnicas ajudam a melhorar a compreensão de conceitos complexos e a resolver problemas desafiadores. O aprendizado de máquinas permite que sistemas melhorem a partir de dados. Os algoritmos evolutivos buscam soluções ideais para problemas complexos, inspirando-se nos princípios da evolução biológica. A lógica fuzzy é útil para lidar com situações incertas ou vagas, especialmente em problemas com muitas variáveis e complexidades. No ensino de disciplinas como robótica, essas técnicas de IA têm impacto significativo na melhoria do aprendizado, permitindo que os alunos entendam melhor os conceitos teóricos ao lidar com exemplos práticos e criar soluções para cenários reais. O texto conclui ressaltando a importância dessas técnicas para a formação de profissionais inovadores e a necessidade de pesquisas futuras para continuar aprimorando o ensino.
PALAVRAS-CHAVE: Sistemas Computacionais Inteligentes, Soluções Problemas, Ensino Universitário, Robótica.

IMPROVING UNIVERSITY EDUCATION: EXPLORING THE POWERFUL TECHNIQUES OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE, WITH A FOCUS ON *CHATBOTS* AS A SUPPORT TOOL

ABSTRACT: This article discusses the use of artificial intelligence (AI) techniques - specifically machine learning, evolutionary algorithms, and fuzzy logic - as support tools in university education. These techniques help improve the understanding of complex concepts and solve challenging problems. Machine learning allows systems to improve from data. Evolutionary algorithms seek ideal solutions for complex problems, drawing inspiration from the principles of biological evolution. Fuzzy logic is useful for dealing with uncertain or vague situations, especially in problems with many variables and complexities. In the teaching of disciplines such as robotics, these AI techniques have a significant impact on improving learning, allowing students to better understand theoretical concepts by dealing with practical examples and creating solutions for real scenarios. The text concludes by emphasizing the importance of these techniques for training innovative professionals and the need for future research to continue improving education.
KEYWORDS: Intelligent computing systems, problem-solving solutions, university education, Robotics

1 | INTRODUÇÃO

De acordo com Russell e Norvig (2010, p. 2), a inteligência artificial é "o estudo de como fazer computadores realizarem tarefas que, atualmente, requerem inteligência humana". Para isso, as técnicas da área são utilizadas para criar sistemas que possam aprender e se adaptar a novas situações, encontrar soluções para problemas complexos e tomar decisões baseadas em dados.

No contexto do ensino universitário, as técnicas de inteligência artificial têm sido utilizadas em diversas áreas, desde a educação à distância até o desenvolvimento de sistemas de tutoria inteligente (MITROVIC; WEERASINGHE, 2009). Segundo Mitrovic e Weerasinghe (2009, p. 1), "a inteligência artificial pode ser uma ferramenta útil para apoiar o ensino universitário, ajudando a tornar o processo de aprendizagem mais eficiente e eficaz".

Entre as técnicas de inteligência artificial utilizadas como ferramentas de apoio no ensino universitário, destacam-se o aprendizado de máquinas, os algoritmos evolutivos e a lógica fuzzy (MITROVIC; WEERASINGHE, 2009). O aprendizado de máquinas, por exemplo, é utilizado para criar sistemas que possam aprender com dados e tomar decisões com base nessas informações. Já os algoritmos evolutivos são utilizados para encontrar soluções ótimas para problemas complexos, enquanto a lógica fuzzy é utilizada para lidar com incertezas e imprecisões nos dados.

Diante do exposto, é possível afirmar que as técnicas da área de inteligência artificial têm um grande potencial como ferramentas de apoio no ensino universitário, contribuindo para tornar o processo de aprendizagem mais eficiente e eficaz (MITROVIC; WEERASINGHE, 2009).

Com a evolução da tecnologia e a crescente utilização de ferramentas digitais, o uso de *Chatbot*s como ferramenta de apoio no ensino universitário tem se tornado cada vez mais comum (OPENAI, 2023). O *ChatGPT*, por exemplo, pode ser utilizado como uma possível ferramenta para aprendizado universitário.

ChatGPT (sigla em inglês para Generative Pre-trained Transformer, ou em português, Transformador Pré-treinado de Gerador de Conversas é um assistente virtual inteligente no formato *Chatbot* online, dotado de inteligência artificial, desenvolvido pela OpenAI. Especializado em diálogos, foi lançado em novembro de 2022. O *Chatbot* é baseado em um modelo de linguagem ajustado por meio de técnicas de aprendizado supervisionado e por reforço, tendo como modelo básico o GPT-3.5 da OpenAI, uma versão aprimorada do GPT-3. Em 15 de março de 2023, o GPT-4 foi lançado exclusivamente para os usuários do *ChatGPT* Plus.

O *ChatGPT*, enquanto protótipo de inteligência artificial, chamou a atenção por suas respostas detalhadas e articuladas. Contudo, a precisão de suas informações foi alvo de críticas. Conforme o New York Times, o entusiasmo em torno da aplicação da

tecnologia da OpenAI lembrou outros momentos que “transformaram o Vale do Silício, desde a chegada do primeiro iPhone e do mecanismo de busca Google até a introdução do navegador Netscape, que pavimentou o caminho para a comercialização da internet” (NEW YORK TIMES, 2023). Bill Gates, da Microsoft, acredita que o *ChatGPT* tem potencial para mudar o mundo: “Até agora, a inteligência artificial podia ler e escrever, mas não conseguia entender o conteúdo. Os novos programas, como o *ChatGPT*, vão tornar muitos trabalhos de escritório mais eficientes. Isso vai mudar o nosso mundo”

Uma das principais vantagens do uso de *Chatbot*s como o *ChatGPT* é a sua disponibilidade 24 horas por dia, 7 dias por semana. Isso significa que os estudantes podem ter acesso a uma fonte de informações e esclarecimentos de dúvidas a qualquer hora, sem precisar esperar por horários específicos ou pela disponibilidade de um professor ou tutor.

Além disso, o *ChatGPT* é capaz de fornecer respostas rápidas e precisas para uma ampla gama de perguntas e assuntos relacionados a diferentes áreas do conhecimento. Ele pode ajudar os estudantes a compreender conceitos e teorias complexas, fornece exemplos práticos e até mesmo fornecer orientações para a resolução de problemas.

Outra vantagem do uso do *ChatGPT* como ferramenta de apoio no ensino universitário é a sua capacidade de adaptar-se às necessidades individuais de cada estudante. Ele pode fornecer feedbacks personalizados com base nas respostas do aluno e ajustar a abordagem de ensino para atender às necessidades específicas de cada estudante.

No entanto, é importante ressaltar que o uso do *ChatGPT* como ferramenta de apoio no ensino universitário deve ser visto como complementar, e não substituto, à interação presencial com professores e colegas de turma. O *Chatbot* pode ser uma ferramenta útil para o estudo individual e para tirar dúvidas, mas o diálogo e a discussão em sala de aula são fundamentais para o desenvolvimento do pensamento crítico e para a compreensão mais aprofundada dos conteúdos abordados.

Em resumo, o *ChatGPT* pode ser uma ferramenta eficaz de apoio no ensino universitário, permitindo que os estudantes tenham acesso a informações e esclarecimentos de dúvidas a qualquer hora, além de fornecer feedbacks personalizados e adaptar-se às necessidades individuais de cada aluno. No entanto, é importante utilizar o *Chatbot* de forma complementar e não substituta à interação presencial com professores e colegas de turma.

O *Chatbot* da google é mais recente, mais sugere algumas melhorias como inclusao de imagem atualização contínua e nao até recentemente como o *chatGPT*.

Descrição do *Bard* pelo próprio *Chatbot*

Bard ainda é muito recente e informações sobre o mesmo ainda não estão difundidas como do *ChatGPT*, entretanto é um grande modelo de linguagem desenvolvido pelo Google. Ele é treinado em um enorme conjunto de dados de texto e código, e pode gerar texto, traduzir idiomas, escrever diferentes tipos de conteúdo criativo e responder às suas perguntas de forma informativa. *Bard* ainda está em desenvolvimento, mas já aprendeu a

realizar muitos tipos de tarefas, incluindo

Vou tentar o meu melhor para seguir suas instruções e concluir seus pedidos com atenção.

Vou usar meu conhecimento para responder às suas perguntas de forma abrangente e informativa, mesmo que sejam abertas, desafiadoras ou estranhas.

Vou gerar diferentes formatos de texto criativo de conteúdo de texto, como poemas, código, scripts, peças musicais, e-mail, cartas etc. Vou tentar o meu melhor para cumprir todos os seus requisitos.

Por favor, instrui-me o que você quer que eu faça hoje.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: na seção 2, fundamentos de tópicos circunscritos a pesquisa, como por exemplo a cinemática. Já a seção 3 apresenta alguns detalhes da construção do protótipo incluindo alguns detalhes de visão robótica e sobre o cenário empregados para os experimentos. A seção 4 apresenta uma discussão dos resultados obtidos. E, finalmente, a seção 5, conclui e endereça futuros trabalhos.

2 | FUNDAMENTOS

Essa seção objetiva apresentar a importância das ferramentas computacionais inteligentes na robótica.

Entretanto, é importante ressaltar a importância dos experimentos simulados, porque o *ChatGPT* quando não desenvolve um código completo, se aproxima muito auxiliando a docência.

Os experimentos simulados no ensino são uma ferramenta pedagógica que tem ganhado cada vez mais relevância no campo da educação. Eles permitem aos alunos vivenciar e aprender conceitos científicos de forma interativa e segura, o que potencializa o engajamento e a compreensão dos conteúdos abordados (RUTHERFORD, 2014). Ao longo deste texto, serão discutidas as principais vantagens dos experimentos simulados no ensino e algumas referências relevantes no formato ABNT.

Segundo Finkelstein et al. (2005), o uso de simulações no ensino pode promover o desenvolvimento do pensamento crítico e aprimorar habilidades de resolução de problemas, à medida que os alunos exploram diferentes cenários e hipóteses. Além disso, experimentos simulados podem contribuir para a inclusão de estudantes com necessidades especiais, já que permitem adaptações e customizações conforme as demandas específicas de cada aluno (WINDSOR & WINDSOR, 2011).

Os experimentos simulados também apresentam vantagens práticas, como a redução de custos com materiais e a diminuição dos riscos associados a experimentos reais, como o manuseio de substâncias tóxicas ou a exposição a situações perigosas (SUN et al., 2008). Isso torna a aprendizagem mais acessível e segura, sem comprometer a qualidade do ensino (RODRIGUEZ & NERCESSIAN, 2012).

Por fim, é importante destacar que o uso de simulações no ensino deve ser integrado a outros métodos pedagógicos, de modo a proporcionar uma aprendizagem significativa e complementar aos estudantes (HÄMÄLÄINEN et al., 2011).

2.1 Sistemas computacionais inteligentes

A robótica, juntamente com outras disciplinas como lógica, eletrônica, programação e mecânica, tem se tornado uma presença cada vez mais marcante em nosso cotidiano, graças ao contínuo avanço tecnológico. A aplicação de sistemas computacionais inteligentes na robótica possibilitou a criação de robôs capazes de realizar tarefas complexas, como navegação autônoma, reconhecimento de voz, objetos e interação com seres humanos. Esses avanços têm resultado em diversas aplicações práticas no campo da robótica.

Um exemplo notável é o sistema de visão computacional, que permite aos robôs identificar objetos e pessoas no ambiente em que estão inseridos, através do processamento de imagens capturadas por câmeras. Conforme ressaltado por Alves (2018), esse tipo de sistema tem sido amplamente utilizado em contextos industriais e na área da saúde. Uma aplicação específica é o uso de robôs cirúrgicos, que se valem do sistema de visão computacional para auxiliar cirurgiões em procedimentos minimamente invasivos [3].

Outro exemplo importante é o sistema de aprendizado de máquina, conforme abordado por Ribeiro (2018). Esse sistema capacita os robôs a aprenderem com base em exemplos fornecidos pelos usuários ou por outros sistemas, dispensando a necessidade de programação explícita para tarefas específicas. Essa flexibilidade permite que os robôs se adaptem a diferentes situações e ambientes, tornando-os mais versáteis e eficientes.

Em síntese, a aplicação de sistemas computacionais inteligentes na robótica tem levado ao desenvolvimento de robôs cada vez mais autônomos e com capacidade de interação natural com os usuários. Essas soluções têm possibilitado que os robôs executem tarefas complexas, como navegação autônoma e reconhecimento de voz e objetos, com eficiência e adaptabilidade. Com isso, a robótica tem ganhado crescente relevância em diversos setores, como na indústria, saúde e educação, tornando-se uma parte significativa e benéfica de nossas vidas.

3 I DESENVOLVIMENTO

A fundamentação do *ChatGPT* pode ser aplicada no *BARD* da Google. Ao usar a IA *ChatGPT*, como o modelo desenvolvido pela OpenAI (MARCUS, 2020), para desenvolvimento de códigos, textos e listas de questões no contexto da robótica, você pode aproveitar o poder do processamento de linguagem natural (NLP) e a capacidade da IA de gerar informações relevantes e úteis (BROWN et al., 2020). Aqui estão algumas dicas sobre como abordar cada aspecto:

Desenvolvimento de códigos:

ChatGPT pode auxiliar na geração de exemplos de código ou fornecer soluções

para problemas específicos de codificação (NGUYEN, 2019). Você pode pedir sugestões de código ou soluções para problemas relacionados à robótica. No entanto, lembre-se de que *ChatGPT* é um modelo de linguagem e pode não ser perfeito ao gerar códigos complexos (VASWANI et al., 2017). Ao receber sugestões de código da IA, certifique-se de revisar e adaptar as soluções conforme necessário.

Desenvolvimento de textos:

Ao escrever textos sobre robótica, você pode usar *ChatGPT* para gerar trechos informativos, ideias e exemplos (RAFFEL et al., 2020). A IA pode ajudá-lo a criar parágrafos explicativos, introduções, conclusões e até mesmo revisar e aprimorar seu texto atual. Ao usar a IA para escrever, lembre-se de verificar a precisão das informações e adaptar o conteúdo às suas necessidades específicas.

Lista de questões:

ChatGPT pode ajudá-lo a criar listas de questões sobre temas específicos relacionados à robótica (SICILIANO & KHALED, 2016). Por exemplo, você pode pedir à IA para gerar perguntas sobre programação de robôs, sensores, atuadores ou aplicações práticas. Essas listas de questões podem ser úteis para testar seus conhecimentos, criar materiais de estudo ou conduzir discussões em grupo.

Ao utilizar o *ChatGPT* no contexto da robótica, é importante lembrar que a IA é uma ferramenta para auxiliar e complementar seu trabalho (RUSSELL & NORVIG, 2016). Sempre revise e verifique as informações geradas pela IA e adapte-as conforme necessário. A combinação de sua expertise e a capacidade de geração de conteúdo do *ChatGPT* pode resultar em materiais de alta qualidade e informativos na área de robótica.

4 I RESULTADOS

A simulação em robótica é uma técnica que permite testar algoritmos, estratégias de controle, programação de movimento e outras aplicações antes de implantá-los em robôs reais. Ela pode ser realizada em diferentes tipos de ambientes, como simulações em computador, testes em bancadas de laboratório ou em ambientes externos.

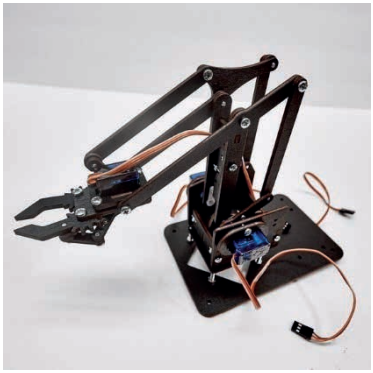


Figura 1–Estrutura de desenvolvimento

Código atualizado para versões mais recentes do MatLab pelo *ChatGPT* e *Bard*, iguais.

```
“syms a1 a2
eq1 = 0.5*cos(a1) + 0.6*cos(a1+a2) == 0.88;
eq2 = 0.5*sin(a1) + 0.6*sin(a1+a2) == 0.65;
[a1Sol, a2Sol] = solve([eq1, eq2], [a1, a2]);

a1SolRad = double(a1Sol);
a2SolRad = double(a2Sol);
fprintf(‘Solução 1: a1 = %0.4f rad, a2 = %0.4f rad\n’, a1SolRad(1), a2SolRad(1));
fprintf(‘Solução 2: a1 = %0.4f rad, a2 = %0.4f rad\n’, a1SolRad(2), a2SolRad(2));”
```

Existem diversos softwares de simulação de robôs disponíveis no mercado, como o Gazebo, V-REP e ROS. Esses softwares permitem a criação de modelos virtuais de robôs e a simulação de suas interações com o ambiente em que estão inseridos. Além disso, permitem a programação de movimentos e a execução de tarefas específicas.

A simulação em robótica oferece diversos benefícios, como:

Redução de custos: a simulação pode ajudar a reduzir os custos de desenvolvimento de robôs, pois permite testar diferentes algoritmos e estratégias de controle sem a necessidade de construir robôs físicos.

Aumento da segurança: a simulação pode ajudar a aumentar a segurança de robôs, pois permite testar seus movimentos e interações com o ambiente em um ambiente controlado.

Melhoria da eficiência: a simulação pode ajudar a melhorar a eficiência do desenvolvimento de robôs, pois permite testar diferentes algoritmos e estratégias de controle de forma rápida e fácil.

A simulação em robótica é uma ferramenta valiosa para o desenvolvimento de robôs

seguros, eficientes e eficazes.

Uma das vantagens da simulação em robótica é a possibilidade de testar diferentes cenários e condições em um ambiente controlado e seguro. Além disso, a simulação pode ser utilizada para treinar algoritmos de aprendizado de máquina e redes neurais, permitindo que o robô aprenda a realizar tarefas complexas de forma autônoma.

O texto entre aspas mostra uma atualização do código do MatLab que utiliza o solve, solução numérica para solução do clássico do problema da cinemática inversa de um robô de duas dimensões, como por exemplo o robô da figura 1. Nesse código à solução está no plano de atuação do ombro e cotovelo do robô, a base por exemplo pode estar no plano paralelo ao da projeção da imagem. Em outras palavras a variável de rotação da base é relaxada.

4.1 Aplicação do *Chatbot* gerando questões teóricas de robótica

1. O que é robótica autônoma e qual é o seu objetivo?

2. Quais são os principais desafios enfrentados na implementação de robôs autônomos?

3. Quais são os tipos de sensores utilizados em robótica autônoma?

4. Como os algoritmos de localização e mapeamento simultâneos (SLAM) são utilizados em robótica autônoma?

5. Quais são as aplicações práticas de robótica autônoma em diferentes setores, como na indústria, na saúde e na agricultura?

6. Quais são os impactos socioeconômicos da adoção de robôs autônomos na indústria e no mercado de trabalho?

7. Quais são as principais diferenças entre robôs autônomos e robôs controlados remotamente?

8. Como os robôs autônomos podem ser programados para realizar tarefas específicas e como o aprendizado de máquina é utilizado nesse processo?

9. Quais são as principais questões éticas envolvidas no desenvolvimento e uso de robôs autônomos?

10. Quais são as perspectivas futuras para a robótica autônoma e como ela pode impactar a sociedade no futuro?

Pergunta e resposta do *Chatbot* ***BARD*** da Google

o que é cinemática inversa na robótica?

A cinemática inversa é o processo de determinar os ângulos de juntas de um robô a partir da posição e orientação desejada do efetuador. É o oposto da cinemática direta, que calcula a posição e orientação do efetuador a partir dos ângulos de juntas.

A cinemática inversa é um problema não linear e pode ser difícil de resolver. Existem vários métodos diferentes para resolver a cinemática inversa, incluindo:

Resposta *Bard* com citações:

A cinemática inversa é o processo de determinar os ângulos de juntas de um robô a partir da posição e orientação desejada do efetuador. É o oposto da cinemática direta, que calcula a posição e orientação do efetuador a partir dos ângulos de juntas.

A cinemática inversa é um problema não linear e pode ser difícil de resolver. Existem vários métodos diferentes para resolver a cinemática inversa, incluindo:

- O método das coordenadas cartesianas
- O método de Jacobiano
- O método de Newton-Raphson
- O método de gradiente descendente

O método mais adequado para resolver a cinemática inversa depende do número de graus de liberdade do robô, da complexidade da configuração do robô e da precisão desejada.

A cinemática inversa é uma ferramenta essencial para o controle de robôs. É usada para mover o robô para posições e orientações desejadas, para evitar obstáculos e para garantir que o robô seja seguro de operar.

Alguns exemplos de como a cinemática inversa é usada na robótica:

Em robôs industriais, a cinemática inversa é usada para mover o robô para pegar e soltar peças.

Em robôs de pesquisa, a cinemática inversa é usada para mover o robô para explorar ambientes complexos.

Em robôs médicos, a cinemática inversa é usada para mover o robô para realizar cirurgias.

Em robôs de atendimento ao cliente, a cinemática inversa é usada para mover o robô para interagir com os clientes. Paul, R. D. (1981) e Spong, M. W., Hutchinson, S., & Vidyasagar, M. (2006)

Uma solução alternativa para os sensores binários de limite máximo e mínimo seria usar um sensor de nível de água contínuo ou analógico. Em vez de fornecer apenas dois estados (ou seja, “muito alto” e “muito baixo”), estes sensores podem fornecer uma leitura contínua do nível de água, dando-lhe muito mais controle sobre a bomba de água.

Uma bomba de água tem dois sensores de limite máximo e mínimo. Para uma solução factível o ideal seria usar outra solução que não a binária. Limite máximo desliga a válvula e mínimo liga a válvula (*chatGPT*)

Sensor de pressão diferencial: Esses sensores podem medir o nível de líquido baseando-se na pressão diferencial entre o topo e o fundo de um tanque. Essa pressão é proporcional à altura da coluna de água, permitindo uma medida precisa.

Sensor ultrassônico: Este sensor emite ondas de ultrassom que ricocheteiam na

superfície da água e voltam para o sensor. A distância é calculada usando o tempo que as ondas levam para retornar, fornecendo uma leitura contínua do nível da água.

Sensor de radar: Funciona de maneira semelhante ao sensor ultrassônico, mas usa ondas de radar em vez de ultrassom. Eles são especialmente úteis quando a espuma ou outros fatores no tanque podem interferir com os sensores ultrassônicos.

Sensor capacitivo: Mede o nível de água detectando a alteração na capacitância entre dois eletrodos imersos no líquido. O nível de líquido afeta a constante dielétrica entre os eletrodos, o que pode ser medido e convertido em uma leitura de nível.

Esses sensores, quando conectados a um controlador adequado, podem permitir que você tenha muito mais controle sobre o seu sistema de bomba de água. Você pode configurar limiares específicos para ligar e desligar a bomba, bem como níveis intermediários para modulação da bomba (como velocidade variável, por exemplo), resultando em um controle mais eficiente e preciso.

Já a proposta de solução do *Bard* é mais genérica, porém as duas fazem sentido e podem até ser combinadas.

Algumas soluções que não são binárias para um sistema de bomba de água com dois sensores de limite máximo e mínimo:

- Controle proporcional: Nesse sistema, a velocidade da bomba é controlada de acordo com a posição dos sensores. Quanto mais perto o sensor de nível máximo estiver do sensor de nível mínimo, mais rápido a bomba funcionará. Isso garante que a bomba sempre tenha a quantidade certa de água, independentemente da demanda.
- Controle PID: Esse sistema é mais avançado do que o controle proporcional e leva em consideração a taxa de variação da posição dos sensores ao controlar a velocidade da bomba. Isso fornece um melhor controle da bomba e evita que ela funcione demais ou de menos.
- Controle adaptativo: Nesse sistema, os parâmetros do controlador são ajustados automaticamente ao longo do tempo com base no desempenho do sistema. Isso garante que o sistema sempre seja otimizado para as condições atuais.
- Qual desses sistemas é o mais adequado para você dependerá de suas necessidades específicas. Se você precisa de um sistema que seja altamente eficiente e confiável, o controle PID ou o controle adaptativo podem ser uma boa opção. Se você precisa de um sistema que seja fácil de instalar e usar, o controle proporcional pode ser uma boa opção.

5 I CONCLUSÃO

O uso de *Chatbots* no ensino de robótica e outras disciplinas na universidade tem se revelado uma ferramenta extremamente valiosa e eficiente, especialmente para auxiliar no desenvolvimento de códigos em MATLAB e consolidar os fundamentos teóricos da

área. Essa tecnologia educacional permite uma abordagem personalizada e adaptativa ao aprendizado, facilitando a compreensão de conceitos complexos e contribuindo para a solução de problemas específicos.

Tanto o *ChatGPT* quanto o *Bard*, em sua forma atual, possibilitam que os estudantes explorem ideias e soluções de maneira interativa e colaborativa, promovendo a troca de conhecimento e aprimorando habilidades técnicas essenciais na área de robótica. Ao oferecer suporte no desenvolvimento de algoritmos e códigos em MATLAB, esses *Chatbots* facilitam a aplicação prática dos conceitos teóricos, aumentando a eficácia do aprendizado e melhor preparando os alunos para os desafios da indústria.

Além disso, a utilização principalmente do *ChatGPT* também pode otimizar o tempo e os esforços dos educadores, permitindo que eles se concentrem em questões mais complexas e aprofundem o ensino. Dessa forma, a incorporação dessa ferramenta no ensino de robótica na universidade tem um impacto significativo no avanço da área, produzindo profissionais mais capacitados e preparados para enfrentar os desafios futuros da robótica e automação.

Como trabalho futuro, pode-se explorar a coexistência de técnicas de aprendizado de máquina para solucionar problemas como a matriz jacobiana, por exemplo. Isso certamente contribuiria ainda mais para o avanço da pesquisa e da aplicação prática no campo da robótica e outras disciplinas circunscritas ou não na área.

REFERÊNCIAS

BROWN, T. B. et al. Language Models are Few-Shot Learners. 2020.

CRAIG, J. J. Introduction to Robotics: Mechanics and Control. 2005.

CROUZET, B. How Machine Learning is Revolutionizing Manufacturing. Forbes, 2018. Disponível em: https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2018/08/22/how-machine-learning-is-revolutionizing-manufacturing/?sh=3a2f1.

FINKELSTEIN, N. D. et al. When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment. Physical Review Special Topics - Physics Education Research, v. 1, n. 1, p. 010103, 2005.

HÄMÄLÄINEN, R. et al. Promoting socially shared regulation of learning in CSCL: Progress of socially shared regulation among high- and low-performing groups. Computers in Human Behavior, v. 27, n. 2, p. 2017-2078, 2011.

MARCUS, G. OpenAI's GPT-3: The State of the Art in AI. 2020.

NGUYEN, D. Q. V. Robotics and Artificial Intelligence. 2019.

OPENAI. Introducing *ChatGPT*. Disponível em: https://openai.com/blog/introducing-*chatGPT*/. Acesso em: 23 abr. 2023.

OROSCO, R. Robótica e suas aplicações na medicina. Portal Hospitalar, 2020. Disponível em: https://www.portalhospitalar.com.br/robotica-e-suas-aplicacoes-na-medicina/

PAUL, R. D. (1981). Robot manipulators: Mathematics, programming, and control. MIT press.

RAFFEL, C. et al. Exploring the Limits of Transfer Learning with a Unified Text-to-Text Transformer. 2020.

RIBEIRO, R. M. Aprendizado de máquina em robótica. In: Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, 2019. Anais do Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, [Instituição Organizadora], 2019.

RODRIGUEZ, H.; NERCESSIAN, N. J. Do simulations replace real laboratories in science education? In: Annual Conference of the American Educational Research Association, 2012, Vancouver. Anais... Vancouver: AERA, 2012.

RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 2016.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 3rd ed. Upper Saddle River: Pearson, 2010.

RUTHERFORD, J. Experimenting with simulations. The Science Teacher, v. 81, n. 3, p. 34-39, 2014.

SICILIANO, B.; KHALED, O. Springer Handbook of Robotics. 2016.

SPONG, M. W., Hutchinson, S., & Vidyasagar, M. (2006). Robot dynamics and control. Wiley.

SUN, D. et al. A review on the integration of virtual reality technology into science education. Journal of Educational Technology Development and Exchange, v. 1, n. 1, p. 1-16, 2008.

VASWANI, A. et al. Attention Is All You Need. 2017.

WINDSOR, W. T.; WINDSOR, D. M. Virtual environments: Issues and opportunities for developing inclusive educational spaces. Disability and Rehabilitation: Assistive Technology, v. 6, n. 1, p. 63-69, 2011.

CAPÍTULO 6

AVALIAÇÃO DA TEMPERATURA INTERNA DO AR EM UMA ESTRUTURA DE PEQUENO PORTE UTILIZANDO DIFERENTES MÉTODOS MATEMÁTICOS

Data de aceite: 01/09/2023

Jean Carlos de Almeida Nobre
Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
Ananindeua – PA
http://lattes.cnpq.br/7734211201557548

David Lohan Pereira de Sousa
Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
Ananindeua – PA
http://lattes.cnpq.br/2436569184881553

Larissa dos Santos Borges
Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
Ananindeua – PA
http://lattes.cnpq.br/7459210958889959

Jerson Rogério Pinheiro Vaz
Universidade Federal do Pará, Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
Ananindeua – PA
http://lattes.cnpq.br/1623983294183975

Silvio Bispo de Vale
Universidade Federal do Pará, Coordenador do Curso de Engenharia de Energia
Ananindeua – PA
http://lattes.cnpq.br/4884492375891611

Luiz Claudio Fialho Andrade
Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica
Belém – PA
http://lattes.cnpq.br/3988224151528149

RESUMO: Os estudos sobre o desempenho térmico de estruturas habitacionais contribuem diretamente para o conforto térmico das pessoas em ambientes confinados. É possível melhorar termicamente a estrutura antes de sua construção, e por isso métodos matemáticos para a resolução de balanços térmicos são extremamente relevantes. Este trabalho tem como objetivo realizar simulações numéricas em uma estrutura idealizada na cidade de Belém-PA, analisando três métodos matemáticos para a resolução de balanços térmicos que resultam na temperatura interna do ar. Esses métodos são o de Euler para uma aproximação inversa por diferenças finitas de primeira ordem, um método de diferenças finitas de terceira ordem e uma aproximação analítica por integração. Ambos os métodos são utilizados pelo *software Energyplus*. Os resultados obtidos para a temperatura

interna do ar anual utilizando o método de Euler são uma média de 25,8409 ºC, uma mínima de 21,8198 ºC, uma máxima de 30,2750 ºC e um desvio padrão de 1,8220 ºC. Para o método de aproximação analítica, os resultados são uma média anual de 25,8397 ºC, uma mínima de 21,8142 ºC, uma máxima de 30,2960 ºC e um desvio padrão de 1,8299 ºC. O método de terceira ordem, apresentou uma média anual de 25,8369 ºC, mínima de 21,8190 ºC, máxima de 30,2749 ºC e um desvio padrão de 1,8213 ºC. Assim, o método de diferenças finitas de terceira ordem é a melhor opção do ponto de vista estatístico, uma vez que gerou um desvio padrão menor.
PALAVRAS-CHAVE: Desempenho térmico. Simulações numéricas. Métodos matemáticos.

INTERNAL AIR TEMPERATURE ASSESSMENT OF A SMALL STRUCTURE USING DIFFERENT MATHEMATICAL METHODS

ABSTRACT: Studies on the thermal performance of housing structures contribute directly to the thermal comfort of people in confined environments. It is possibly to thermally improve the structure before it is built, and so mathematical methods for solving heat balances are extremely relevant. This work aims to perform numerical simulations on an idealized structure in the city of Belém-PA, analyzing three mathematical methods for solving heat balances that result in the internal air temperature. These methods are Euler for a first order finite difference inverse approximation, a third order finite difference method and an analytic approximation through integration. Both methods are used by the Energyplus software. The results obtained for the average annual indoor air temperature using the Euler method is 25.8409 ºC, a minimum of 21.8198 ºC, a maximum of 30.2750 ºC and a standard deviation of 1.8220 ºC. For the analytical approximation method, the results are an annual average of 25.8397 ºC, a minimum of 21.8142 ºC, a maximum of 30.2960 ºC and a standard deviation of 1.8299 ºC. The third order method, showed an annual mean of 25.8369 ºC, minimum of 21.8190 ºC, maximum of 30.2749 ºC and a standard deviation of 1.8213 ºC. Thus, the third order finite difference method is the best option from a statistical point of view, since it generated a smaller standard deviation.
KEYWORDS: Thermal performance. Numerical simulations. Mathematical methods.

1 I INTRODUÇÃO

A temperatura interna do ar de um edifício está diretamente relacionada com o conforto térmico, porque a temperatura do ar é a forma mais abrangente de sensação térmica, da qual um indivíduo se sente em um edifício ou ambiente. Um edifício é influenciado de diversas formas, por variáveis internas e externas. As variáveis internas compreendem a própria estrutura construtiva e tudo o que gera calor no seu interior. As variáveis externas são os fatores climáticos, por exemplo: velocidade do vento, radiação solar, umidade relativa, entre outros.

Para resolver a transferência de calor em um edifício, é necessário formular balanços térmicos, que resultam em equações diferenciais ordinárias resolvidas por meios computacionais aplicando métodos matemáticos. De acordo com Pinto J. C. C. S. e Lage

P. L. C. (1997), o método das diferenças finitas é um método de discretização de equações diferenciais, sendo um bom método alternativo para a resolução de balanços térmicos. O método das diferenças finitas transforma uma função contínua em uma representação matemática discreta. As soluções obtidas pela aplicação do método das diferenças finitas serão sempre discretas.

De acordo com Costa D. C. B (2011), a ideia básica da integração numérica é substituir uma função *f(x)* por um polinômio que a aproxima no intervalo [*a, b*]. Assim, o problema é resolvido pela integração de polinómios. Existem vários métodos de integração numérica, e.g. Newton-cotes, métodos compostos, métodos de quadratura numérica, método do cálculo integral multidimensional, entre outros. Assim, uma diferença finita de terceira ordem é a melhor opção entre os três métodos do ponto de vista estatístico, pois gera um desvio padrão menor que os demais.

O objetivo desta pesquisa é aplicar três métodos matemáticos para resolver um balanço térmico que resulta na temperatura interna do ar em uma edificação idealizada, localizada na cidade brasileira de Belém-PA, no ano de 2022.

2 I MATERIAIS E MÉTODOS

O objetivo deste estudo é aplicar três métodos matemáticos: Método de Euler denominado no algoritmo dentro do *software Energyplus* como *EulerMethod*, que é uma aproximação por diferenças inversas finitas de primeira ordem, uma aproximação por diferenças finitas de terceira ordem denominada *3rdOrderBackwardDifference* e uma aproximação analítica por integração denominada *AnalyticalSolution*, para resolver os balanços térmicos que resultaram na temperatura interna do ar na edificação proposta, localizada na cidade brasileira de Belém-PA no ano de 2022.

O arquivo climático utilizado para a cidade de Belém-PA é do banco de dados *Typical Meteorological Year* (TMY). onde suas variáveis climáticas são expressas como bulbo seco, bulbo úmido, radiação solar, entre outras.

As ferramentas que auxiliaram esta pesquisa são os *softwares*: *Energyplus*; que detém métodos matemáticos em forma de algoritmos, *Openstudio*; que é um *software* auxiliar ao *Energyplus* e otimiza o estudo e o *SketchUp*; que realiza o projeto arquitetônico 3D para a simulação.

Abaixo, nas Figuras I e II, são mostrados os dados dimensionais da edificação criada pelos autores e seu projeto 3D na Figura III.

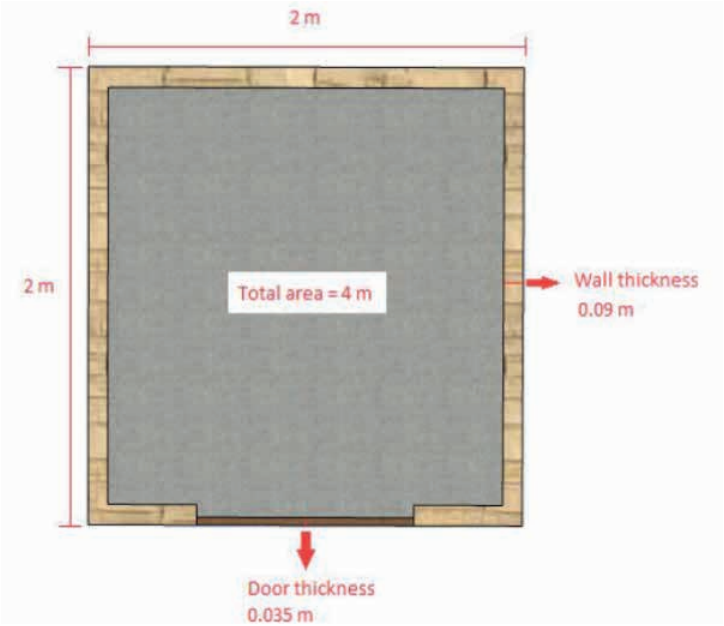


Figura I - Planta baixa e suas dimensões. Fonte: Autores, (2023).

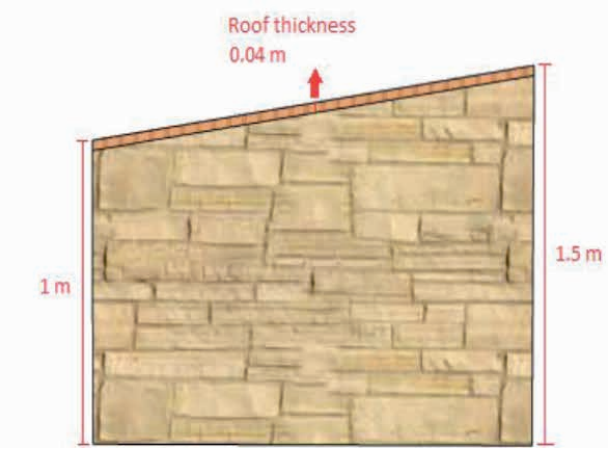


Figura II – Alturas das paredes. Fonte: Autores, (2023).

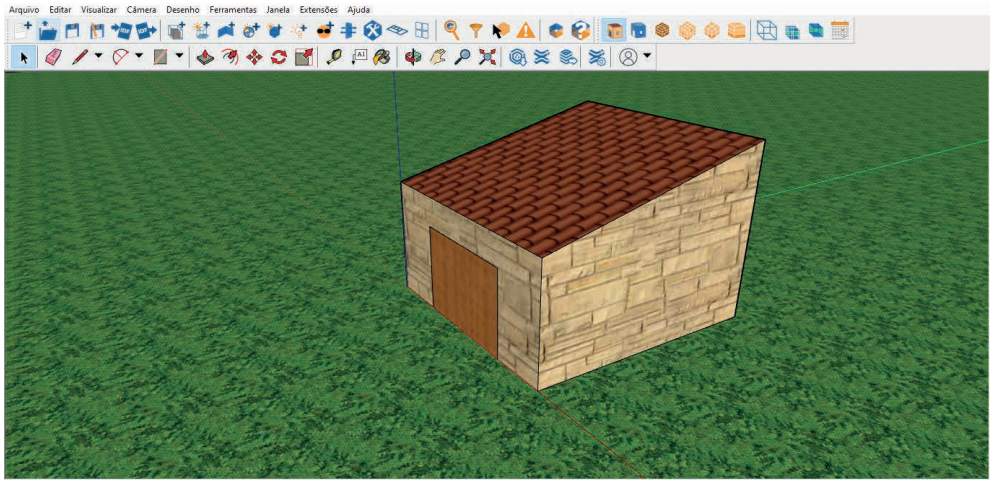


Figura III – Perspectiva de desenho 3D. Fonte: Autores, (2023).

A Tabela I apresenta os materiais de construção e as suas características térmicas pertencentes ao edifício idealizado.

Materiais	Espessura (m)	Condutividade Térmica (W/mK)	Densidade Equivalente (Kg/m³)	Calor Específico (J/KgK)
Argamassa de Assentamento	0,025	1,15	1600	1000
Piso de Concreto	0,06	1,75	2200	1000
Telha cerâmica	0,02	0,7	1000	920
Madeira para telhado	0,02	0,29	1000	1340
Porta de madeira	0,035	0,29	1000	1340
Tijolo cerâmico	0,09	0,9	1300	920

Tabela I - Propriedades térmicas dos materiais. Fonte: ABNT, (2003).

2.1 Métodos matemáticos

Segundo o *Department of Energy U.S.* (2022), a base para a integração do sistema de zona e ar é formular balanços de energia e umidade para a zona de ar e assim resolve-se as equações diferenciais ordinárias resultantes usando um preditor-corretor de aproximação. A formulação do esquema de solução começa com um balanço de calor no ar da zona, como ilustra a Equação 1:

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_P (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_P (T_\infty - T_z) + \dot{Q}_{sys} \quad (1)$$

onde:

$C_z \frac{dT_z}{dt}$ = energia armazenada na zona de ar em ocorrências similares;

$\sum_{i=1}^{N_{sl}} Q_i$ = soma das cargas internas convectivas;

$\sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i(T_{si} - T_z)$= transferência de calor por convecção das superfícies para as zonas;

$\sum_{i=1}^{N_{zones}} m_i C_p(T_{zi} - T_z)$= transferência de calor devido à mistura de ar entre zonas;

$m_{inf} C_p(T_\infty - T_z)$= transferência de calor devido à infiltração de ar externo;

Q_{sys}= sistemas de saída de ar;

$Cz = \rho_{air} C_p C_T$;

ρ_{air} = densidade do ar na zona;

C_p= calor específico do ar na zona;

C_t = multiplicador de capacidade de calor sensível.

Os sistemas de ar fornecem ar quente ou frio às zonas para atender às cargas de aquecimento ou resfriamento. O sistema a energia fornecida à zona, *Qsys*, pode assim ser formulada a partir da diferença entre o fornecimento entalpia do ar e a entalpia do ar saindo da zona conforme mostrado na Equação 3 (DEPARTMENT OF ENERGY U.S., 2022):

$$-\dot{Q}_{sys} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_P (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_P (T_\infty - T_z) \quad (2)$$

$$\dot{Q}_{sys} = \dot{m}_{sys} C_P (T_{\sup} - T_z) \quad (3)$$

Esta equação assume que a taxa de fluxo de massa de ar de suprimento de zona é exatamente igual à soma das taxas de fluxo de ar saindo da zona através do ar de retorno do sistema e saindo diretamente da zona. Ambos os fluxos de ar saem da zona na temperatura média do ar da zona, como pode-se ver na Equação 4 (DEPARTMENT OF ENERGY U.S, 2022):

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_P (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_P (T_\infty - T_z) + \dot{m}_{sys} C_P (T_{\sup} - T_z) \quad (4)$$

A soma das cargas da zona e da saída do sistema de ar agora é igual à mudança na energia armazenada na zona. Tipicamente, a capacitância *Cz* seria apenas aquela do ar da zona. No entanto, as massas térmicas consideradas equilibradas com o ar da zona podem ser incluídas neste termo (DEPARTMENT OF ENERGY U.S., 2022):

O *EnergyPlus* fornece três algoritmos de solução diferentes para resolver a energia e a umidade do ar da zona. Estes são definidos no campo *Algorithm* no *Zone Air Heat Balance Algorithm,* eles são: *3rd Order Backward Difference*, *Euler Method* e *Analytical Solution*. Os dois primeiros métodos para resolver a Equação 4, usam-se a aproximação por diferenças finitas, enquanto a terceira usa uma aproximação analítica (DEPARTMENT OF ENERGY U.S., 2022).

Para calcular o termo derivado em relação ao tempo, aplica-se uma aproximação baseada em diferenças finitas segundo a relação (DEPARTMENT OF ENERGY U.S., 2022):

$$\frac{dT_z}{dt} = (\delta t)^{-1}(T_z^t - T_z^{t-\delta t}) + O(\delta t^3) \tag{5}$$

O uso de integração numérica em uma simulação de longo prazo é motivo de certa preocupação devido ao acúmulo potencial de erro de truncamento ao longo de muitas etapas de tempo. Neste caso, a diferença finita de aproximação é de baixa ordem, o que agrava ainda mais o problema. No entanto, a natureza cíclica das simulações deve causar erros de truncamento para cancelar ao longo de cada ciclo diário para que nenhum acúmulo líquido de erro ocorra, mesmo durante muitos dias de simulação (DEPARTMENT OF ENERGY U.S., 2022).

A método de Euler, Equação 5, foi empregado na Equação 4 para substituir o termo derivado, todos os termos contendo a temperatura média do ar da zona foram então agrupados no lado esquerdo da equação. Como os termos restantes não são conhecidos no momento atual, eles foram defasados em um intervalo de tempo e coletados no lado direito. Essa manipulação resultou na Equação 6, que é a fórmula para atualização da temperatura média do ar da zona (DEPARTMENT OF ENERGY U.S., 2022):

$$C_z \frac{T_z^t - T_z^{t-\delta t}}{dt} + T_z^t \left(\sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_P + \dot{m}_{inf} C_P + \dot{m}_{sys} C_P \right) = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i^t + \dot{m}_{sys} C_P T_{supply}^t + \left(\sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i T_{si} + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_P T_{zi} + \dot{m}_{inf} C_P T_\infty \right)^{t-\delta t} \tag{6}$$

Um rearranjo final foi mover a temperatura defasada na aproximação derivada para o lado direito da equação. O aparecimento explícito da temperatura do ar da zona foi assim eliminado de um lado da equação. Uma equação de balanço de energia que inclui os efeitos da capacitância da zona foi então obtida dividindo ambos os lados pelo coeficiente de *Tz* (DEPARTMENT OF ENERGY U.S., 2022):

$$T_z^t = \frac{\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i^t + \dot{m}_{sys} C_P T_{supply}^t + \left(C_z \frac{T_z}{\delta t} + \sum_{i=1}^{surfaces} h_i A_i T_{si} + \sum_{i=1}^{zones} \dot{m}_i C_P T_{zi} + \dot{m}_{inf} C_P T_\infty \right)^{t-\delta t}}{\frac{C_z}{\delta t} + \left(\sum_{i=1}^{surfaces} h_i A_i + \sum_{i=1}^{zones} \dot{m}_i C_P + \dot{m}_{inf} C_P + \dot{m}_{sys} C_P \right)} \tag{7}$$

A Equação 7 pode ser usada para estimar as temperaturas do ar da zona e é definida como o método de Euler, um dos três algoritmos de solução fornecidos no objeto *Zone Air Heat Balance Algorithm*. No entanto, pode limitar o tamanho do passo de tempo sob algumas condições. Para melhorar isso, maiores expressões de ordem para a

primeira derivada, com correspondentes erros de truncamento de ordem superior, foram desenvolvidas. O objetivo dessa abordagem é permitir o uso de etapas de tempo maiores na simulação do que seria possível usando a fórmula de Euler de primeira ordem, sem experimentar instabilidades (DEPARTMENT OF ENERGY U.S., 2022). Aproximações de segunda a quinta ordem foram tentadas conforme relatado por Taylor, *et al*. (1990) com a conclusão de que a aproximação de terceira ordem, deu os melhores resultados como pode-se ver na Equação 8:

$$\frac{dT_z}{dt}\Big|_t \approx (\delta t)^{-1}\left(\frac{11}{6}T_z^t - 3T_z^{t-\delta t} + \frac{3}{2}T_z^{t-2\delta t} - \frac{1}{3}T_z^{t-3\delta t}\right) + O(\delta t^3) \tag{8}$$

Quando esta forma para a derivada é usada, a Equação 6 assume a forma da Equação 9:

$$C_z\left(\delta t\right)^{-1}\left(\frac{11}{6}T_z^t - 3T_z^{t\text{-}\delta t} + \frac{3}{2}T_z^{t\text{-}2\delta t} - \frac{1}{3}T_z^{t\text{-}3\delta t}\right) = \sum_{i=1}^{N_{sl}}\dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{surfaces} h_i A_i\left(T_{si} - T_z\right) + \sum_{i=1}^{zones}\dot{m}_i C_P\left(T_{zi} - T_z\right) + \dot{m}_{inf} C_P\left(T_\infty - T_z\right) + \dot{m}_{sys} C_P\left(T_{\sup} - T_z\right) \tag{9}$$

E a equação de atualização da temperatura da zona (Equação 7) torna-se a Equação 10:

$$T_z^t = \frac{\sum_{i=1}^{N_{sl}}\dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{surfaces} h_i A_i T_{si} + \sum_{i=1}^{zones}\dot{m}_i C_P T_{zi} + \dot{m}_{inf} C_P T_\infty + \dot{m}_{sys} C_P T_{supply} - \left(\frac{C_z}{\delta t}\right)\left(-3T_z^{t\text{-}\delta t} + \frac{3}{2}T_z^{t\text{-}2\delta t} - \frac{1}{3}T_z^{t\text{-}3\delta t}\right)}{\left(\frac{11}{6}\right)\frac{C_z}{\delta t} + \sum_{i=1}^{surfaces} h_i A_i + \sum_{i=1}^{zones}\dot{m}_i C_P + \dot{m}_{inf} C_P + \dot{m}_{sys} C_P} \tag{10}$$

Este é o formulário usado historicamente no *EnergyPlus* e é o padrão atual referido como *3rd Order Backward Difference* no objeto *Zone Air Heat Balance Algorithm*. Este algoritmo requer zona de ar temperaturas em três intervalos de tempo anteriores e usa coeficientes de temperatura constantes. A suposição é que três comprimentos de passos de tempo anteriores são os mesmos (DEPARTMENT OF ENERGY U.S., 2022).

O algoritmo *Analytical Solution* é uma abordagem de integração. Enquanto a diferença finita de 3ª ordem de aproximação fornece estabilidade sem exigir um passo de tempo proibitivamente pequeno, o método ainda tem erros de truncamento e requer um intervalo de tempo fixo para os três tempos de simulação anteriores aos degraus. Portanto, diferentes comprimentos de passo de tempo para os três passos de tempo de simulação anteriores podem fazer os coeficientes de temperatura serem inválidos (DEPARTMENT OF ENERGY U.S., 2022).

O algoritmo *Analytical Solution* fornece uma maneira possível de obter soluções sem erros de truncamento e independente do comprimento do passo de tempo. Além disso,

o algoritmo requer apenas a zona de ar temperatura para uma etapa de tempo anterior, em vez de três etapas de tempo anteriores conforme exigido pelo Algoritmo *3rd Order Backward Difference*. A solução integrada (analítica) para a Equação 10 pode ser expressa da seguinte forma na Equação 11 (DEPARTMENT OF ENERGY U.S., 2022):

$$T_z^t = \left(T_z^{t-\delta t} - \frac{\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{surfaces} h_i A_i T_{si} + \sum_{i=1}^{zones} \dot{m}_i C_P T_{zi} + \dot{m}_{inf} C_P T_\infty + \dot{m}_{sys} C_P T_{sup}}{\sum_{i=1}^{surfaces} h_i A_i + \sum_{i=1}^{zones} \dot{m}_i C_P + \dot{m}_{inf} C_P + \dot{m}_{sys} C_P} \right)$$
$$* \exp\left(- \frac{\sum_{i=1}^{surfaces} h_i A_i + \sum_{i=1}^{zones} \dot{m}_i C_P + \dot{m}_{inf} C_P + \dot{m}_{sys} C_P}{C_z} \delta t \right)$$
$$+ \frac{\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{surfaces} h_i A_i T_{si} + \sum_{i=1}^{zones} \dot{m}_i C_P T_{zi} + \dot{m}_{inf} C_P T_\infty + \dot{m}_{sys} C_P T_{sup}}{\sum_{i=1}^{surfaces} h_i A_i + \sum_{i=1}^{zones} \dot{m}_i C_P + \dot{m}_{inf} C_P + \dot{m}_{sys} C_P} \quad (11)$$

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a simulação numérica realizada, foram gerados resultados para o ano de 2022, expressando as temperaturas internas do ar no edifício. Os resultados foram para cada mês do ano, apresentando as médias, mínimas, máximas e o desvio padrão em ºC.

3.1 Resultados da simulação utilizando o método de aproximação analítica (*analyticalsolution*)

Observa-se na Tabela II que a temperatura interna do ar no edifício analisado com a aproximação analítica, apresentou uma média anual de 25,8397 ºC, mínima de 21,8142 ºC, máxima de 30,2960 ºC e um desvio padrão de 1,8299 ºC. O mês com a temperatura mais baixa medida foi fevereiro e o mês com a temperatura mais alta medida foi novembro.

O mês com a temperatura média mais baixa no edifício foi março, com uma temperatura média mensal de 24,8143 ºC, uma mínima de 22,2775 ºC, uma máxima de 28,5322 ºC e um desvio padrão de 1,6185 ºC.

O mês com a temperatura média mais elevada no edifício foi novembro, apresentando uma temperatura média mensal de 26,8277 ºC, mínima de 23,8038 ºC, máxima de 30,2960 ºC e um desvio padrão de 1,7527 ºC.

Temperatura	Média ºC	Mín. ºC	Máx. ºC	D. Padrão ºC
Jan	25.2476	22.0407	29.2626	1.7399
Feb	25.1045	21.8142	29.8608	1.7961
Mar	24.8143	22.2775	28.5322	1.6185
Apr	25.1341	22.3284	28.4993	1.6135
May	25.7129	22.4708	29.5287	1.7734
Jun	26.0156	22.9119	29.6352	1.7797
Jul	26.1558	23.0234	29.7148	1.6870
Aug	26.3753	23.2309	29.6536	1.6935
Sep	26.3689	23.4951	29.6306	1.6374
Oct	26.1744	22.9946	29.7544	1.7848
Nov	26.8277	23.8038	30.2960	1.7527
Dec	26.1084	22.9739	30.2307	1.8597
Total	25.8397	21.8142	30.2960	1.8299

Tabela II – Temperatura interna do ar (*AnalyticalSolution*). Fonte: Autores, (2023).

3.2 Resultados da simulação utilizando o método de euler (*eulermethod*)

Observa-se na Tabela III que a temperatura interna do ar na edificação analisada com o método de Euler, obteve-se uma média anual de 25,8409 ºC, um mínimo de 21,8198 ºC, um máximo de 30,2750 ºC e um desvio padrão de 1,8220 ºC. O mês com a temperatura mais baixa medida foi fevereiro e o mês com a temperatura mais alta medida foi novembro.

O mês com a temperatura média mais baixa no edifício foi março, apresentando uma temperatura média mensal de 24,8158 ºC, mínima de 22,2866 ºC, máxima de 28,5148 ºC e um desvio padrão de 1,6107 ºC.

O mês com a temperatura média mais elevada no edifício foi novembro, apresentando uma temperatura média mensal de 26,8286 ºC, mínima de 23,8085 ºC, máxima de 30,2750 ºC e um desvio padrão de 1,7438 ºC.

Temperatura	Média ºC	Mín. ºC	Máx. ºC	D. Padrão ºC
Jan	25.2485	22.0457	29.2473	1.7316
Feb	25.1059	21.8198	29.8356	1.7886
Mar	24.8158	22.2866	28.5148	1.6107
Apr	25.1358	22.3384	28.4832	1.6057
May	25.7140	22.4721	29.5070	1.7656
Jun	26.0166	22.9213	29.6156	1.7713
Jul	26.1570	23.0403	29.6908	1.6783
Aug	26.3764	23.2370	29.6296	1.6850
Sep	26.3704	23.5085	29.6081	1.6284
Oct	26.1755	23.0015	29.7362	1.7767
Nov	26.8286	23.8085	30.2750	1.7438

Dec	26.1096	22.9830	30.2099	1.8512
Total	25.8409	21.8198	30.2750	1.8220

Tabela III – Temperatura interna do ar (*EulerMethod*). Fonte: Autores, (2023).

3.3 Resultados da simulação utilizando a diferença finita de terceira ordem (*3rdorderbackwarddifference*)

Observa-se na Tabela IV que a temperatura interna do ar na edificação analisada com a diferença finita de terceira ordem, apresentou uma média anual de 25,8369 ºC, mínima de 21,8190 ºC, máxima de 30,2749 ºC e um desvio padrão de 1,8213 ºC. O mês com a temperatura mais baixa medida foi fevereiro e o mês com a temperatura mais alta medida foi novembro.

O mês com a temperatura média mais baixa no edifício foi março, com uma temperatura média mensal de 24,8121 ºC, uma mínima de 22,2859 ºC, uma máxima de 28,5137 ºC e um desvio padrão de 1,6098 ºC.

O mês com a temperatura média mais elevada no edifício foi novembro, apresentando uma temperatura média mensal de 26,8248 ºC, mínima de 23,8079 ºC, máxima de 30,2749 ºC e um desvio padrão de 1,7432 ºC.

Temperatura	Média ºC	Mín. ºC	Máx. ºC	D. Padrão ºC
Jan	25.2447	22.0447	29.2477	1.7312
Feb	25.1020	21.8190	29.8355	1.7879
Mar	24.8121	22.2859	28.5137	1.6098
Apr	25.1321	22.3389	28.4832	1.6046
May	25.7102	22.4716	29.5067	1.7647
Jun	26.0124	22.9205	29.6153	1.7705
Jul	26.1528	23.0398	29.6904	1.6776
Aug	26.3724	23.2359	29.6294	1.6842
Sep	26.3662	23.5081	29.6074	1.6278
Oct	26.1717	22.9998	29.7369	1.7758
Nov	26.8248	23.8079	30.2749	1.7432
Dec	26.1057	22.9830	30.2095	1.8506
Total	25.8369	21.8190	30.2749	1.8213

Tabela IV – Temperatura interna do ar (*3rdorderBackwardDifference*). Fonte: Autores, (2023).

3.4 Análise comparativa entre os dois métodos matemáticos

Percebe-se que os resultados da temperatura do ar interno na edificação utilizando os métodos *EulerMethod*, *3rdOrderBackwardDifferencedifference* e *AnalyticalSolution* são muito próximos, variando apenas as casas decimais.

O desvio padrão em todos os meses foi menor no método das diferenças finitas de terceira ordem (*3rdOrderBackwardDifferencedifer*), demonstrando maior uniformidade entre os resultados.

A diferença média anual da temperatura do ar interior no edifício entre o método de Euler e a aproximação analítica por integração foi de 0,0012 ºC.

A diferença média anual da temperatura do ar interior no edifício entre o método de aproximação analítica por integração e o método das diferenças finitas de terceira ordem foi de 0,0028 ºC.

A diferença média anual da temperatura do ar interior no edifício entre o método das diferenças finitas de terceira ordem e o método de Euler foi de 0,0040 ºC.

4 I CONCLUSÃO

Foi possível aplicar três métodos matemáticos para a resolução de balanços térmicos em uma edificação idealizada para fins de desempenho térmico estrutural comprovando a utilidade de simulações numéricas.

Nota-se que não houve discrepância na temperatura interna do ar na edificação entre os métodos analisados, mostrando uma proximidade entre os resultados apresentados.

O método das diferenças finitas de terceira ordem apresentou um desvio padrão menor que os outros métodos matemáticos dando maior homogeneidade nos resultados para a temperatura interna do ar. Assim, a diferença finita de terceira ordem mostra-se como a melhor opção do ponto de vista estatístico.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Projeto 02:135.07-001/2**: Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações, set de 2003.

Costa D.C.B. **Cálculo Numérico**. UNIASSELVI. Estado do Pará. (2011).

EnergyPlus. is developed in collaboration by NREL, ANL, LBNL, ORNL, and PNNL. (2023). EnergyPlus (Versão 22.2.0) [**Software**] Retrieved in January 30, 2023, in energyplus.net: http://energyplus.net

Lawrie, L, K; Drury, B, C. **Climate Archives**: Typical Meteorological Year (TMY). (2022, december 12). climate.onebuilding.org. Retrieved in January 30, 2023, in: https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/index.html#IDPA_Para-

OpenStudio® is developed in collaboration by NREL, ANL, LBNL, ORNL, and PNNL. (2023). OpenStudio (Versão 3.5.1) [**Software**] . Retrieved in January 30, 2023, in openstudio.net: http://openstudio.net/downloads

Pinto J. C. C. S., Lage P. L. C. **Métodos numéricos aplicados à engenharia química**. COPPE/UFRJ. (1997).

Taylor, R. D., C.O. Pedersen, L.K. Lawrie. **Simultaneous Simulation of Buildings and Mechanical Systems in Heat Balance Based Energy Analysis Programs, Proceedings of the 3rd International Conference on System Simulation in Buildings**, Liege, Belgium, December 3-5, 1990.

Trimble Navigation. (2023). SketchUp Pro (Versão 21.0.391) [**Software**] Retrieved in January 30, 2023, in sketchup.com: https://www.sketchup.com/pt-BR/plans-and-pricing/sketchup-pro

Walton, O. **Explicit particle dynamics model for granular materials**. Numerical Methods in Geomechanics. USA. (1982).

U.S Department of Energy (DOE). **Engineering Reference**. University Of Illinois. USA. (2022).

CAPÍTULO 7

AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS DE REDES NEURAIS DE APRENDIZADO PROFUNDO PARA SEGMENTAÇÃO DE FERIDAS MALIGNAS CUTÂNEAS EM IMAGENS

Data de submissão: 07/07/2023 *Data de aceite: 01/09/2023*

Rafael Cardoso Ribeiro da Costa
Universidade Católica de Pernambuco
Recife - Pernambuco
https://orcid.org/0009-0003-6451-9522

Rafael Roque de Souza
Universidade Católica de Pernambuco
Recife - Pernambuco
http://lattes.cnpq.br/1989456891146597

Robson Cavalcanti Lins
Universidade Católica de Pernambuco
Recife - Pernambuco
http://lattes.cnpq.br/8623118472645092

Iago Richard Rodrigues Silva
Universidade Católica de Pernambuco
Recife - Pernambuco
http://lattes.cnpq.br/8063460813758195

RESUMO: A segmentação automática das áreas das feridas malignas cutâneas em imagens é uma parte importante do processo de diagnóstico e atendimento, pois é fundamental medir a área da ferida e fornecer dados quantitativos no tratamento. Para este fim, existem vários modelos de redes neurais de aprendizado profundo. No entanto, o problema com muitos desses modelos é que sua arquitetura é pesada e possui alto custo computacional. Logo, propomos a avaliação inicial de técnicas duas redes neurais de aprendizado profundo. Um dos modelos (U-Net) é comumente utilizado na segmentação de imagens médicas, enquanto o segundo modelo (DeepLabV3) utiliza como base convoluções utilizadas em redes MobileNetV2, que fornece modelos mais compactos. Com esta avaliação dos modelos de segmentação, esperamos obter uma visão inicial dos resultados de acurácia versus eficiência computacional.
PALAVRAS-CHAVE: aprendizado profundo, segmentação de feridas, visão computacional.

EVALUATION OF DEEP LEARNING NEURAL NETWORK TECHNIQUES FOR SEGMENTATION OF CUTANEOUS MALIGNANT WOUNDS IN IMAGES

ABSTRACT: Automatic segmentation of malignant skin wound areas on images is an important part of the diagnostic and care process, as it is critical to measure the wound area and provide quantitative data in treatment. For this purpose, there are several models of deep learning neural networks. However, the problem with many of these models is that their architecture is

cumbersome and has a high computational cost. Therefore, we propose an initial evaluation of two deep learning neural networks techniques. One of the models (U-Net) is commonly used in medical image segmentation, while the second model (DeepLabV3) uses the basic convolutions used in MobileNetV2 networks, which provide more compact models. With this evaluation of the segmentation models, we hope to obtain an initial view of the results of accuracy versus computational efficiency.
KEYWORDS: deep learning, wound segmentation, computer vision.

1 I INTRODUÇÃO

As feridas malignas cutâneas representam uma problemática para os sistemas de saúde, afetando milhões de pacientes em todo o mundo [1]. Essas feridas crônicas são feridas que não progrediram através de uma sequência de reparo normal, ordenada e oportuna, ou onde o processo de reparo não retornou à integridade anatômica e funcional após três meses. Em 2014, o custo do tratamento de feridas para os beneficiários do Medicare (agência federal dentro do Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos Estados Unidos) foi estimado em US $28 bilhões a US $96,8 bilhões [1, 2].

Uma avaliação completa do paciente é uma parte importante do processo de tratamento de feridas. Vários fatores locais e gerais podem retardar ou prejudicar a cicatrização de feridas, a inspeção visual da ferida identifica imediatamente atributos muito importantes que orientarão a avaliação e o tratamento posterior. Dessa forma, fornece pistas importantes sobre a etiologia da lesão e sua complexidade. A profundidade, extensão, localização, aparência geral, odor e sinais de exsudato são componentes importantes da avaliação da ferida e precisam ser registrados na linha de base. [2, 3, 4]. Nenhum método de medição da ferida é 100% preciso, mas todos fornecem medições de linha de base para os profissionais consultarem à medida que a ferida progride [4].

Nesse contexto, a segmentação automática das áreas das feridas malignas cutâneas em imagens é uma parte essencial do processo de diagnóstico, uma vez que é fundamental medir a área da ferida e fornecer dados quantitativos no tratamento. A segmentação dessas feridas pode ser alcançada usando os métodos baseados em algoritmos tradicionais e de aprendizado profundo [5].

O aprendizado profundo, um ramo de Aprendizado de Máquina e Inteligência Artificial baseado no conceito de rede neural artificial (do inglês Artificial Neural Network - ANN), é agora considerado uma tecnologia central na Quarta Revolução Industrial. Tornou-se popularizada na computação pela sua capacidade de aprender com dados e extrair características de redes neurais profundas treinadas para processar imagens, permitindo vários modelos de análise de imagem e segmentação semântica [6, 7, 8, 9]. Porém é visado o problema de que os dispositivos são uma tecnologia recorrente, em constante desenvolvimento e aprimoramento no contexto da Indústria 4.0 e aplicações em tempo real, crescendo exponencialmente. No entanto, eles são limitados por recursos como

processador, RAM e armazenamento em disco. Essas limitações tornam-se mais evidentes na execução de serviços e aplicações que exigem mais recursos computacionais, como aprendizado profundo, que são conhecidos por suas demandas computacionalmente pesadas. Assim, existem técnicas e pesquisas de compressão desses modelos [10].

Tendo isto em conta, este trabalho visa apresentar modelos de aprendizagem profunda de avaliação e resultados parciais para a segmentação da ferida cutânea. Inicialmente, pretendemos utilizar dois modelos clássicos para a segmentação da imagem médica, a U-Net, e o DeepLabV3. Posteriormente, em trabalhos futuros, pretendemos aplicar técnicas para compactação de redes neurais profundas, objetivando assim seu uso em dispositivos com limitações de hardware.

2 | REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Feridas malignas cutâneas

As feridas malignas são lesões que fazem parte do leque de cânceres e tumores. No caso estudado, quando categorizada cutâneas se dá na infiltração do câncer no epitélio se estendendo pela extensão da pele. Ele inicialmente pode se apresentar como feridas que não cicatrizam, com coloração variada, sangramento, a exsudação intensa e a presença de um odor característico [11].

Tem sido relatado que as feridas malignas ocorrem em 14,5% dos pacientes com câncer avançado. Grande parte das feridas malignas são neoplasias primárias da pele, ou o resultado da disseminação metastática de uma neoplasia remota para o sistema cutâneo [12].

Essas feridas são de grande impacto sobre os pacientes não apenas pela deterioração física que podem causar, mas principalmente pelo estigma que ainda existe sobre o prognóstico do câncer. A avaliação é uma parte importante da identificação das angústias do paciente, isso ajuda a garantir cuidados mais adequados ao paciente [11].

As metástases cutâneas são frequentemente o primeiro sinal de doença metastática extranodal, especialmente em pacientes com melanoma, câncer de mama ou neoplasias malignas da mucosa da região de cabeça e pescoço. As feridas malignas podem ser divididas em nódulos e endurecimento, úlceras fúngicas, malignas e outras. Em casos de câncer avançado, as feridas malignas são geralmente consideradas como feridas “não curáveis”, sendo abordados técnicas de tratamento paliativos das feridas.

Os cuidados paliativos de feridas é focado em monitorar a dor e outros sintomas que ocorrem no caso não curáveis, aliviando e melhorando a qualidade de vida [12]. O cuidado adequado da ferida é facilitado inicialmente por meio da avaliação minuciosa do paciente e da ferida. A inspeção é uma etapa crítica que pode determinar a abordagem de tratamento, profundidade, extensão, localização, aparência geral, odor e notação de exsudatos são

todos componentes essenciais da avaliação da ferida e precisam ser registrados [13].

2.2 Segmentação de imagens médicas

Com a evolução das técnicas de aquisição de imagens médicas, tais como a tomografia computadorizada (CT) e a ressonância magnética (MRI), que fornecem informações mais detalhadas do ponto de vista de resolução e de distinção de tecidos, a capacidade e a fidelidade do diagnóstico por imagens foram ampliadas. O processamento de Imagens e Visão Computacional vêm desenvolvendo técnicas de visualização, processamento e análise destas imagens. Tais técnicas permitem que os médicos visualizem, classifiquem, analisem e manipulem tanto as imagens bidimensionais como as representações tridimensionais dos órgãos em estudo [14].

A segmentação em imagens médicas permite isolar uma região da imagem que possua características comuns, ajudando, assim, a classificar imagens de acordo com as estruturas presentes nas mesmas, tais como órgãos ou estruturas patológicas. O banco de imagens propicia, dessa maneira, uma pesquisa baseada em padrões e estruturas presentes nas imagens [14].

O papel da segmentação é subdividir os objetos em uma imagem. No caso de segmentação de imagens médicas, o objetivo é: (i) estudar estrutura anatômica; (ii) identificar a região de interesse, ou seja, localizar tumor, lesão e outras anormalidades; (iii) medir o volume do tecido para medir o crescimento do tumor (e também diminuir o tamanho do tumor com tratamento); e (iv) ajudar no planejamento do tratamento antes da radioterapia ou no cálculo da dose de radiação.

2.3 Segmentação de feridas cutâneas

É importante dar atenção à problemática da segmentação de feridas em hospitais. Para isso é necessário o processamento dessas imagens sendo em tempo real através de câmeras ou com um banco de dados. Com esses dados é realizada a segmentação dessas imagens com o uso de redes de aprendizado profundo.

O aprendizado profundo tem sido amplamente aplicado para processamento de imagens biomédicas [15, 16, 17]. Também existem diversas pesquisas voltadas para segmentação de imagens com aprendizado profundo [18, 19]. A aplicação de processamento de imagem utilizando redes neurais convolucionais (CNNs, do inglês Convolutional Neural Networks), foi o objetivo de diversas iniciativas para a resolução de problemas com imagens biomédicas [15, 16, 17, 18]. Temos nestas pesquisas, softwares baseados em aprendizado profundo totalmente automatizado, alguns exemplos utilizam CNNs para a tarefa de detectar micro-hemorragias cerebrais em imagens de ressonância magnética e para segmentação e classificação na detecção de danos na cartilagem. Além desses modelos, existem diversas contribuições para a área médica com conceitos de aprendizagem relevantes para análise de imagens médicas [19], pesquisando o uso de redes de aprendizado profundo para

classificação de imagens, detecção de objeto, segmentação, registro e outras tarefas, obviamente mostrando a popularização do tema nos últimos anos. Outros artigos [20, 21] são focados na segmentação e vale ressaltar a utilização comum da U-Net, arquitetura de rede convolucional para segmentação rápida e precisa de imagens.

Essas propostas mostram resultados satisfatórios para o ambiente médico, porém, para muitos o financiamento é onde cria barreiras. Ter o hardware necessário capaz de executar um programa com aprendizado profundo é caro. Grande parte da tensão da computação neural é colocada na GPU, e o poder de processamento é outra grande parte de uma rede neural eficaz. Mais especificamente, maximizar a quantidade de núcleos de CPU executados em paralelo é o que permite que a computação neural complete rapidamente os muitos cálculos complicados necessários para que as redes neurais funcionem de forma eficaz.

Essas propostas mostram resultados satisfatórios para o ambiente médico, porém, para muitos o financiamento é onde cria barreiras. Ter o hardware necessário capaz de executar um programa com aprendizado profundo é caro. Grande parte da tensão da computação neural é colocada na GPU, e o poder de processamento é outra grande parte de uma rede neural eficaz. Mais especificamente, maximizar a quantidade de núcleos de CPU executados em paralelo é o que permite que a computação neural complete rapidamente os muitos cálculos complicados necessários para que as redes neurais funcionem de forma eficaz.

3 I MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Base de dados

O conjunto de dados utilizado nesta pesquisa foi construído pelo laboratório e clínica de colaboração, Advancing the Zenith of Healthcare (AZH) Wound and Vascular Center [22], contendo imagens de feridas malignas cutâneas, mais especificamente de úlceras nos pés, tiradas de 889 pacientes. As imagens brutas foram tiradas por uma câmera digital Canon SX 620 HS e iPad Pro sob condições de iluminação não controladas, com vários fundos.

3.2 Modelos de aprendizagem profunda

Os modelos utilizados para se realizar a segmentação de feridas escolhidos neste trabalho foram U-Net e DeeplabV3, este último com backbone do modelo MobileNetV2.

O modelo U-Net [23] não é um modelo sequencial, tendo informações de saída de cada convolução sendo compartilhadas por cada camada de deconvolução, as quais realizam o aumento da resolução das imagens de saída. A U-Net o ato de expansão da resolução é simétrico à parte contratante (lado esquerdo da arquitetura) e produz uma arquitetura em forma de U (por isso a nomenclatura da rede se segue assim). A rede é

composta apenas por camadas convolucionais, pooling e deconvoluções, não se fazendo o uso de camadas totalmente conectadas, como em autoencoders clássicos.

O modelo DeepLabV3 [24] faz parte de um grupo de modelos desenvolvidos pelo Google Brain com a finalidade de realizar a tarefa de segmentação. Seu diferencial é o uso da operação de atrous spatial pyramid pooling (ASPP) no final do codificador. O ASPP é um módulo de pooling que permite a sondagem da imagem original com vários filtros, capturando objetos e contexto de imagem útil em várias escalas. Em vez de realmente reduzir a dimensionalidade de das imagens pós-convolução, o mapeamento é implementado usando várias camadas convolucionais paralelas com diferentes taxas de amostragem. O backbone utilizado de MobileNetV2 permite uma maior compactação da rede, reduzindo assim a quantidade de parâmetros treináveis.

3.3 Configurações experimentais

Treinamos os modelos de aprendizado profundo propostos na base de dados definida na seção III.A. Para treinamento, consideramos a divisão percentual para validação do modelo. Configuramos 75% do conjunto de dados para treinamento e 25% para validação. Após o processo de treinamento, usamos os modelos para prever no conjunto de testes. O treinamento foi feito em 100 épocas em uma máquina virtual com GPU fornecida gratuitamente pelo Google Colab. Já a métrica Dice Similarity Coef icient (DSC) foi utilizada para avaliação dos modelos.

4 I RESULTADOS PARCIAIS

A Tabela I apresenta os resultados de DSC obtidos para cada um dos modelos.

DSC	Modelo
0.8532	DeepLabV3
0.8820	U-Net

Tabela 1. Resultados de segmentação obtidos pelos modelos em análise.

Os resultados mostram que ambos os modelos foram capazes de aprender a realizar a tarefa de segmentação das feridas, tendo alcançado no mínimo um DSC aproximado de 0.85.

O modelo U-Net alcançou um DSC de 0.8820, o que garantiu o melhor resultado se comparado ao outro modelo analisado. A superioridade do modelo U-Net foi notória, sendo este comprovadamente pelo estado da arte o que geralmente alcança melhores resultados para a tarefa de segmentação de imagens médicas.

A respeito do modelo DeepLabV3, apesar de ter alcançado piores resultados em relação ao modelo U-Net, foi possível reportar resultados competitivos, tendo um DSC de 0.8532. A diferença na taxa de DSC entre estes dois modelos pode ser explicada devido

a característica específica do modelo DeepLabV3 em prover maior compactação de rede neural em comparação com o modelo U-Net, já que este primeiro utiliza-se de convoluções especiais denominadas depthwise separable convolutions, as quais garantem operações de convolução mais simplificadas (originárias dos modelos MobileNetV2). A competitividade dos resultados pode ser explicitada através da Fig. 1, a qual demonstra que apesar da diferença quantitativa entre os modelos, os resultados são qualitativamente próximos.

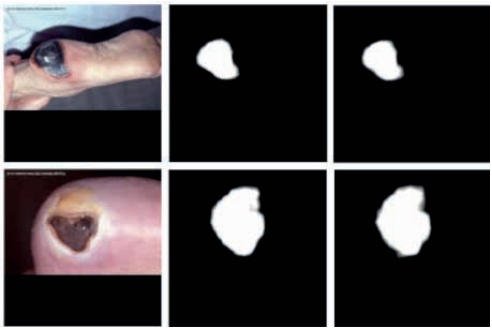


Fig. 1. Análise qualitativa entre os modelos analisados. À esquerda, a imagem de entrada. Ao centro, segmentação gerada pela U-Net. Por fim, À direita, segmentação gerada pela DeepLabV3.

5 I CONCLUSÃO

Este trabalho avaliou dois modelos de aprendizagem profunda (U-Net e DeepLabV3) para segmentação de feridas cutâneas. Através de experimentos realizados, foi possível observar que o modelo U-Net por não ter foco em compressão obteve melhores resultados de segmentação. Enquanto, o modelo DeepLabV3 apresentou resultados competitivos, apesar de ter um foco em compressão de suas camadas convolucionais. Através deste trabalho, foi possível observar que a técnica de compressão de redes convolucionais baseada em depthwise separable convolutions fornece resultados de segmentação competitivos e não causam impactos severos na qualidade da segmentação das feridas.

Como trabalho futuro pretende-se a avaliar novas técnicas de compressão de redes, tais como a poda e convoluções octave, as quais podem continuar fornecer bons resultados de compressão dos modelos, sem afetar a qualidade da segmentação das feridas. Além disso, outros modelos clássicos de segmentação como SegNet e PSPNet serão avaliados em conjuntos com novas técnicas de compressão de redes neurais.

REFERÊNCIAS

[1] Frykberg, R. G. **Challenges in the treatment of chronic wounds**. Adv. Wound Care 4, 560–582 (2015).

[2] Bowers S, Franco E. **Chronic wounds: evaluation and management**. Am. Fam. Physician. 2020;101:159–166. - PubMed

[3] Robert G. Frykberg and Jaminelli Banks. **Advances in Wound Care**.Sep 2015.560-582.

[4] Karen Ousey. **Importance of holistic wound assessment**. 2012 - IndependentNurse. https://www.independentnurse.co.uk/

[5] Wang, C., Anisuzzaman, D.M., Williamson, V. et al. **Fully automatic wound segmentation with deep convolutional neural networks**. Sci Rep 10, 21897 (2020). https://doi.org/10.1038/s41598-020-78799-w

[6] J. Long, E. Shelhamer, and T. Darrell, "**Fully convolutional networks for semantic segmentation**," in Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'15), pp. 3431–3440, IEEE, Boston, Mass, USA, June 2015.

[7] K. Simonyan and A. Zisserman, "**Very deep convolutional networks for large-scale image recognition**" 2014, https://arxiv.org/abs/1409.1556.

[8] C. Wang, X. Yan, X. Smith et al., "**A unified framework for automatic wound segmentation and analysis with deep convolutional neural networks**" in Proceedings of the 2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC '15), pp. 2415–2418, Milan, Italy, August 2015.

[9] Sarker, I.H. Deep Learning: **A Comprehensive Overview on Techniques, Taxonomy, Applications and Research Directions**. SN COMPUT. SCI. 2, 420 (2021).

[10] M. Dantas, I. Rodrigues, A. Filho, G. Barbosa, D. Bezerra, D. Sadok, J. Kelner, M. Marquezini, R. Silva. **FCN-Pose: A Pruned and Quantized CNN for Robot Pose Estimation for Constrained Devices**.

[11] Poletti, N. A. A., Caliri, M. H. L., Simão, C. D. S. R., Juliani, K. B., & Tácito, V. E. (2002). **Feridas malignas: uma revisão de literatura. Revista Brasileira de Cancerologia**, 48(3), 411-417.

[12] Vincent Maida, Marguerite Ennis, Craig Kuziemsky, Linda Trozzolo, **Symptoms Associated with Malignant Wounds: A Prospective Case Series, Journal of Pain and Symptom Management**, Volume 37, Issue 2, 2009, Pages 206-211, ISSN 0885-3924.

[13] Frykberg RG, Banks J. **Challenges in the Treatment of Chronic Wounds. Adv Wound Care (New Rochelle)**. 2015 Sep 1;4(9):560-582. doi: 10.1089/wound.2015.0635. PMID: 26339534; PMCID: PMC4528992.

[14] Medaglia, D. R., & Manssour, I. H. (2006). **Segmentação de imagens médicas baseada no uso das bibliotecas itk e vtk**. Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens-SIBGRAPI. Manaus.

[15] Dou Q, Chen H, Yu L, Zhao L, Qin J, Wang D, Mok VC, Shi L, Heng PA. **Automatic detection of cerebral microbleeds from MR images via 3D convolutional neural networks**. IEEE Trans Med Imaging 2016;35(5):1182–95.

[16] Liu F, Zhou Z, Samsonov A, Blankenbaker D, Larison W, Kanarek A, Lian K, Kambhampati S, Kijowski R. **Deep learning approach for evaluating knee MR images: Achieving high diagnostic performance for cartilage lesion detection. Radiology** 2018;289(1):160–9.

[17] Silva, I. R., Silva, G. S., de Souza, R. G., dos Santos, W. P., & Roberta, A. D. A. (2019, July). **Model based on deep feature extraction for diagnosis of Alzheimer's disease**. In 2019 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN) (pp. 1-7). IEEE.

[18] Rodrigues, I., Santos, G. L., Sadok, D. F., & Endo, P. T. (2021). **Classifying COVID-19 positive X-ray using deep learning models**. IEEE Latin America Transactions, 19(6), 884-892.

[19] Litjens G, Kooi T, Bejnordi BE, Setio AAA, Ciompi F, Ghafoorian M, van der Laak JA, van Ginneken B, Sánchez CI. **A survey on deep learning in medical image analysis**. Med Image Anal 2017;42:60–88.

[20] Ronneberger O, Fischer P, Brox T. **U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation**. In: Lect. notes comput. sci. (Including subser. lect. notes artif. intell. lect. notes bioinformatics), Vol. 9351. Springer Verlag; 2015, p. 234–41.

[21] Lugagne J-B, Lin H, Dunlop MJ. **DeLTA: Automated cell segmentation, tracking, and lineage reconstruction using deep learning**. PLOS Comput Biol 2020;16(4):e1007673.

[22] Wang, C., Anisuzzaman, D. M., Williamson, V., Dhar, M. K., Rostami, B., Niezgoda, J., ... & Yu, Z. (2020). **Fully automatic wound segmentation with deep convolutional neural networks**. Scientific reports, 10(1), 1-9.

[23] Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015, October). **U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation.** In International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention (pp. 234-241). Springer, Cham.

[24] Chen, L. C., Papandreou, G., Schroff, F., & Adam, H. (2017). **Rethinking atrous convolution for semantic image segmentation**. arXiv preprint arXiv:1706.05587.

CAPÍTULO 8

ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DE SIMULADORES DE CHUVA: INVESTIGANDO A PESQUISA CIENTÍFICA

Data de aceite: 01/09/2023

Herlane Costa Calheiros
Universidade Federal de Itajubá
https://orcid.org/0000-0001-6535-8079

Isabela Carolina Mota
Universidade Federal de Itajubá

Karollainny Ágata Ribeiro de Faria
Universidade Federal de Itajubá

Ellen de Fátima Ferreira
Universidade Federal de Itajubá

RESUMO: Os simuladores de chuva são equipamentos com o intuito de produzir chuva artificial similar com a chuva natural, sendo possível controlar a intensidade, a velocidade e a frequência das gotas quando colide com a superfície do solo, com a presença de uma cobertura vegetal ou não. É essencial em estudos de solo, agrícola e ambiental que necessitem produzir chuvas permitindo rápida coleta de dados em condições relativamente uniformes, com menor custo e sem descontinuidade dos trabalhos. O objetivo deste artigo é conhecer, por meio de revisão bibliométrica, as pesquisas que utilizaram simulador de chuva dentro do período de 2010 a 2020. Os resultados apontam avanços, lacunas e tendências de pesquisas sobre o tema.

PALAVRAS-CHAVE: água meteórica, chuva artificial, chuva simulada.

BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF RAINFALL SIMULATORS: INVESTIGATING SCIENTIFIC RESEARCH

ABSTRACT: Rainfall simulators are equipments with the intention of producing artificial rain similar to natural rain, being possible to control the intensity, speed and frequency of the drops when it collides with the soil surface, with the presence of a vegetation cover or not. It is essential in soil, agricultural and environmental studies that need to produce rain, allowing rapid data collection in relatively uniform conditions, with lower cost and without discontinuity of work. The objective of this article is to know, through an integrative bibliometric review, the researches that used rainfall simulator within the period from 2010 to 2020. The results show advances, gaps and trends in research on the topic. this article is to know, through an integrative bibliometric review, the researches that used rainfall simulator within the period from 2010 to 2020. The results show advances, gaps and trends in research on the topic.

KEYWORDS: meteoric water, artificial rainfall, simulated rain.

1 I INTRODUÇÃO

Os simuladores de chuva são utilizados para entender os efeitos que a chuva proporciona nas propriedades do solo e em outras superfícies sob várias condições. Os simuladores são equipamentos que possibilitam o controle das chuvas e das suas características em laboratório ou em experimentos de campo, independentemente das condições climáticas (Iserloh et al., 2013).

Várias pesquisas (Calheiros, Gomes & Estrella, 2014; Pinheiro & Araújo, 2016) são realizadas usando a chuva natural. No entanto, para estudar os efeitos da chuva sobre as partículas do solo utilizando apenas a chuva natural requer mais tempo para obter os dados, tornando-os mais difíceis de aquisição, além de ser impossível de controlar; com isso, os simuladores apresentam essa vantagem do controle da intensidade, frequência, duração dentre outros fatores.

Segundo Bertol, Bertol e Barbosa (2012), os simuladores de chuva são instrumentos que existem desde 1930, depois deste ano já foram construídos outros modelos mais modernos como é revelado por Meyer (1988), Hudson (1995), Cerdà (1999) e Abudi, Carmi e Berliner (2012), que apresentam uma lista de simuladores com suas principais características e as características das chuvas simuladas. Atualmente, existem alguns simuladores de laboratório que são controlados por computador e cobrem áreas de 100 m^2 ou mais, por exemplo, o simulador do Instituto de Pesquisa Hidráulica do Rio Amarelo na China e o simulador do Instituto Nacional de Pesquisa em Gestão de Desastres da Coreia do Sul, ambos com um sistema de bocais pressurizados oscilantes operados por computador (Kim, Ko, Jeong & Ye, 2018; Wang & Deng, 2020). Apesar desses simuladores produzirem chuvas com maior precisão, eles são caros e difíceis de operar, fazendo com que simuladores simples que produzem chuvas em áreas menores que 5 m^2 (principalmente, menores que 1 m^2) continuem sendo muito utilizados (Cerdà, Ibáñez & Calvo, 1997; Iserloh et al., 2013; Sepaskhah & Shahabizad, 2010; Calheiros, Silva, Costa & Macedo, 2020).

Em função da importância estratégica dos simuladores de chuva para numerosos estudos de solo, agrícola e ambiental que necessitem produzir chuvas permitindo rápida coleta de dados em condições relativamente uniformes, com menor custo e sem descontinuidade dos trabalhos, é relevante esta pesquisa de revisão bibliográfica para que se conheça as pesquisas realizadas nos últimos tempos, pois apresenta conhecimentos atuais, novos e com perspectivas futuras.

O objetivo principal desta revisão é conhecer as pesquisas que utilizaram simulador de chuva dentro do período de 2010 a 2020. Para tanto, fez-se revisão bibliométrica. Na análise de um trabalho bibliométrico busca-se identificar os periódicos mais relevantes, os autores com maior produção e os temas mais recorrentes relacionados a um tema

específico (Chueke & Amatucci, 2015).

2 I METODOLOGIA

A plataforma do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) foi utilizada como fonte de dados. Para a busca foram utilizados os descritores “rainfall simulator” e “runoff” no campo “qualquer parte do texto” (incluindo título e assunto) da base de dados, definiu-se o tipo de material como “artigos revisados por pares”, em princípio, em qualquer idioma e depois, em uma segunda análise, em português.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÕES

A amostra do estudo correspondeu a um número de 736 artigos revisados por pares. No entanto, desprezando as repetições, obteve-se 511 artigos, distribuídos em diversas bases de dados, sendo que Scopus (Elsevier) e Science Citation Index Expanded (Web of Science) detém o maior número de registros: 80,0% e 76,9% respectivamente.

Nota-se pela Tabela 1 que as revistas com o maior número de publicações são Catena, Water e Environmental Earth Sciences com 9,0%, 6,7% e 5,1% do total de publicações, respectivamente. No âmbito brasileiro, se destaca a Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental com 1,8% dos artigos publicados no período, Tabela 2. As revistas são normalmente multi e/ou interdisciplinares, as que mais publicaram (43,2%) foram predominantemente da área de ciências do solo, Tabela 3. No entanto, quando somamos as revistas das áreas de ciências ambientais e recursos hídricos (50,9%), juntas elas encerram a maior parte das publicações entre 2010 e 2020.

Periódico	Quantidade total	Quantidade (%)
Catena	46	9,0
Water	34	6,7
Environmental Earth Sciences	26	5,1
Catena (Giessen)	25	4,9
Water (Basel)	25	4,9
Journal of Soils and Sediments	21	4,1
Solid Earth	12	2,3
Hydrology	11	2,2
Water, Air, & Soil Pollution	11	2,2
Environmental science and pollution research international	10	2,0
Water Resources Management	10	2,0
Hydrological Processes	9	1,8

Landslides	9	1,8
Journal of Hydrology	8	1,6
Scientific World Journal	8	1,6
Urban Water Journal	8	1,6
Water (Switzerland)	8	1,6
Environmental Monitoring and Assessment	7	1,4
Hydrological Sciences Journal	7	1,4
PLoS ONE	7	1,4

Tabela 1: As vinte revistas estrangeiras com maior número de publicações entre 2010 e 2020 sobre simulador de chuva.

Periódico	**Quantidade de artigos**	**Artigos**
Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental	9 (1,8%)	NUNES; CASSOL (2011), GEBLER et al. (2012), CUNHA et al. (2015), ABRANTES; DE LIMA; MONTENEGRO (2015), DE CARVALHO et al. (2015), DOS SANTOS; DE SOUZA; MONTENEGRO (2016), DE ALMEIDA et al. (2019), DA SILVA et al. (2019), RAMOS et al. (2019)
Ciência Rural	2 (0,4%)	BERTOL et al. (2011), DECARO; DECARO; FERREIRA (2016)
Revista Ambiente & Água	2 (0,4%)	PINHEIRO et al. (2013), WEBER (2014)
Revista Engenharia na Agricultura	1 (0,2%)	SILVA et al. (2019)

Tabela 2: Revistas brasileiras que publicaram artigos sobre simulador de chuva de 2010 a 2020.

Área predominante das revistas	**Quantidade total**	**Quantidade (%)**
Ciência dos solos	221	43,2
Ciências ambientais	110	21,5
Ciências, tecnologia, medicina e ciências sociais e humanas	30	5,9
Recursos hídricos	150	29,4

Tabela 3: Área das revistas por artigo.

O idioma principal foi o inglês (99,33% das publicações, sendo 91,81% exclusivamente em língua inglesa), mas houve outros artigos publicados unicamente em outros idiomas, a saber: português (0,27%), espanhol (0,13%), persa (0,13%) e russo (0,13%). As publicações em inglês também admitiram idiomas como: português (2,30%), espanhol (1,34%), chinês (1,07%), tcheco (0,81%), francês (0,81%), italiano (0,54%), eslovaco (0,54%) e japonês (0,13%).

Por meio da Figura 1, vê-se que os anos de 2018 e 2020 foram os que mais tiveram publicações sobre o tema, com respectivamente 63 e 60 artigos, seguidos por 2012 e 2015, com 50 artigos cada. Em média foram publicados 46 ± 7 artigos por ano. Apesar da não linearidade, observou-se a tendência de crescimento na quantidade de artigos publicados

por ano.

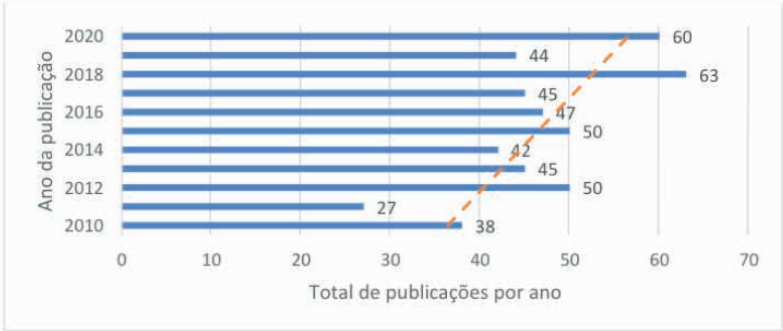


Figura 1: Quantidade de artigos publicados por ano (em azul) e curva de regressão linear (em vermelho).

O autor com maior número de publicações foi Manuel Seeger, da Universidade de Trier na Alemanha, com 9 artigos, seguido pelos autores, em ordem alfabética, Ataollah Kavian, da Universidade Sari de Ciências Agrárias e Recursos Naturais no Irã, e Seyed Hamidreza Sadeghi, da Universidade Tarbiat Modares em Teerã no Irã, com 5 artigos publicados cada, Tabela 4. A maior quantidade de artigos publicada foi de autores chineses, os quais corresponderam mais da metade do número total de autores. Na última década considerando a métrica utilizada nesta investigação, o professor Abelardo Antônio de Assunção Montenegro, da Universidade Federal Rural de Pernambuco em Recife, com 6 artigos publicados e não tendo coautores de instituições estrangeiras, foi o mais bem colocado. Contudo, considerando os valores percentuais do número de publicações, nenhum pesquisador se destacou sobre o tema pesquisado.

Autor (Sobrenome, Nome)	**Total de artigos**
Seeger, Manuel	9
Kavian, Ataollah	5
Sadeghi, Seyed Hamidreza	5
He, Shuqin	4
Li, Tingxuan	4
Li, Zhanbin	4
Luo, Han	4
Rodrigo-Comino, Jesús	4
Wu, Faqi	4
Zheng, Zicheng	4

Tabela 4: Autores estrangeiros que publicaram 4 ou mais artigos entre 2010 e 2020 sobre simulador de chuva.

Por meio da Figura 2, pode-se ver os principais assuntos abordados nos artigos publicados no período investigado. Além de chuva e escoamento superficial, as palavras citadas com maior frequência são erosão (23,4%), solo (15,2%) e agricultura (8,4%), ou seja, os simuladores de chuva foram utilizados principalmente para produzir chuvas artificiais em pesquisas que avaliaram a erosão do solo pela água e suas consequências.

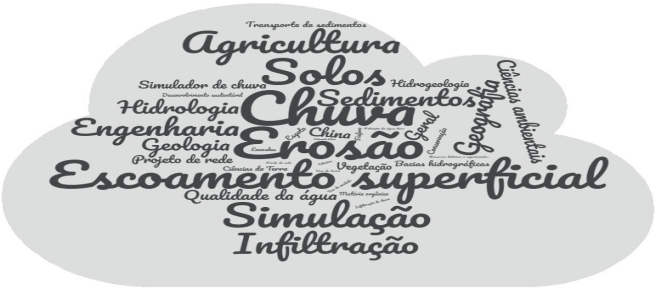


Figura 2: Nuvem de palavras com as palavras-chave.

Das dez palavras predominantes nas publicações de 2010 a 2020, a palavra ‘agricultura’ só não aparece em 2020. Já solo e erosão são as principais palavras-chave, seguidas por sedimentos, que só não é mencionada em 2013, 2014 e 2018. As questões relacionadas a qualidade da água, poluição hídrica, desenvolvimento sustentável e bacias hidrográficas são discutidas até meados da década de 2010. A partir de 2015, os assuntos relacionados a vegetação, conservação do solo e simulação computacional ganham destaque. Analisando esses artigos, verificou-se a tendência do uso de simulador de chuva em estudos sobre o efeito da vegetação na redução do escoamento hídrico superficial e da erosão de solo, com consequente diminuição do transporte de sedimentos para cursos d’água.

4 I CONCLUSÃO

Através do levantamento bibliográfico realizado, em função da pequena quantidade de artigos nacionais publicados sobre o assunto aqui tratado, se comparada à produção internacional, é possível perceber que o uso de simuladores de chuva é um assunto pouco estudado por pesquisadores brasileiros, apesar de sua relevância e dos benefícios oriundos da sua utilização.

Existe tendência de crescimento na quantidade de artigos publicados por ano, sendo que na última década a média foi de 46 ± 7 artigos por ano.

Em relação aos autores que mais publicaram, apesar deste estudo compreender

um período de 10 anos, nenhum pesquisador se mostrou como o de maior expressividade na área.

Observou-se baixa publicação conjunta entre pesquisadores de diferentes países e mesmo entre instituições brasileiras. Indicando uma lacuna na abordagem dos problemas estudados que normalmente são multidisciplinares. Eles poderiam ser melhor analisados, se os profissionais trabalhassem em conjunto valorizando diferentes formações e olhares para o mesmo problema, inclusive com cooperação internacional.

A análise das publicações permitiu identificar os periódicos mais interessados no tema, como Catena e Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental em âmbito internacional e nacional respectivamente.

Este estudo apresentou o panorama atual sobre pesquisas que envolvem simuladores de chuva, apontando os principais pesquisadores e as revistas mais interessadas no assunto e as principais tendências nos estudos.

No que diz respeito as limitações desta pesquisa, a falta de padronização dos formatos das publicações não permitiu a extração automática e estruturada dos dados para utilização de programas específicos de análise de produção acadêmica.

REFERÊNCIAS

ABRANTES, JOÃO R.C.B.; DE LIMA, JOÃO L.M.P.; MONTENEGRO, ABELARDO A.A. Performance of kinematic modelling of surface runoff for intermittent rainfall on soils covered with mulch/Desempenho da modelagem cinemática do escoamento superficial para chuvas intermitentes em solos com cobertura morta. (texto em português). Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.19, n.2, p.166-173, 2015.

ABUDI, I.; CARMI, G.; BERLINER, P. Rainfall simulator for field runoff studies. Journal of hydrology (Amsterdam), v.454-455, p.76-81, 2012.

BERTOL, LDEGARDIS; BERTOL, CAMILO; BARBOSA, FABRÍCIO TONDELLO. Simulador de chuva tipo empuxo com braços movidos hidraulicamente: Fabricação e calibração. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.36, n.6, p.1905-1910, 2012, ISSN 0100-0683.

BERTOL, OROMAR JOÃO; RIZZI, NIVALDO EDUARDO; FEY, EMERSON; LANA, MARIA DO CARMO. Nutrient losses by surface runoff in no-till system soil under mineral and organic fertilization/Perda de nutrientes via escoamento superficial no sistema plantio direto sob adubação mineral e orgânica. Ciência Rural, v.41, n.11, p.1914-1921, 2011.

CALHEIROS, H. C., GOMES, M. R., ESTRELLA, P. M. A. Calidad de las aguas meteóricas em la ciudad de Itajubá, Minas Gerais, Brasil. Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v.9, n.2, p.336-346, 2014.

CALHEIROS, H.C.; SILVA, F. G. G.; COSTA, L. S.; MACEDO, M. L. Water balance study on green roof in Brazil. International Journal of Hydrology, v.4, p.141-144, 2020.

CERDÀ, A. Simuladores de lluvia y su aplicación a la Geomorfología. Estado de la cuestión. cuadernos de I. Geográfica, 25, p. 45-84, 1999.

CERDÀ, A.; IBÁÑEZ, S.; CALVO, A. Design and operation of a small and portable rainfall simulator for rugged terrain. Soil Technol., 11, p.163–170, 1997.

CHUEKE, G. V.; AMATUCCI, M. O que é bibliometria? Uma introdução ao fórum. InternexT – Revista Eletrônica de Negócios Internacionais da ESPM, v.10, n.2, p.1-5, 2015.

CUNHA, JORGE L.X.L.; COELHO, MARIA E.H.; DE ALBUQUERQUE, ABEL W.; SILVA, CICERO A.; DA SILVA JR, ANTONIO B.; DE CARVALHO, ISLAN D.E. Water infiltration rate in Yellow Latosol under different soil management systems/Taxa de infiltração da água em um Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo. (texto em inglês). Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.19, n.11, p.1021-1028, 2015.

DA SILVA, FABIO F.; SOUZA, THAIS E.M. DOS S.; DE SOUZA, EDIVAN R.; CORREA, MARCELO M.; ROLIM, MARIO M. Surface sealing and water erosion of soils with mulching in the semi-arid region of Brazil/Selamento superficial e erosão hídrica em solos representativos do semiárido brasileiro sob cobertura morta. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.23, n.4, p.277-285, 2019.

DE ALMEIDA, WILK S.; DE CARVALHO, DANIEL F.; PEREIRA, FERNANDES A.C.; ROUWS, JANAINA R.C. Sediment production and soil water infiltration under different simulated rainfall characteristics/ Produção de sedimentos e infiltração de água no solo sob diferentes características de chuva simulada. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.23, n.8, p.572-579, 2019.

DE CARVALHO, DANIEL F.; EDUARDO, ELIETE N.; DE ALMEIDA, WILK S.; SANTOS, LUCAS A.F.; SOBRINHO, TEODORICO ALVES. Water erosion and soil water infiltration in different stages of corn development and tillage systems/Erosão hídrica e infiltração de água no solo sob diferentes sistemas de cultivo do milho. (texto em inglês). Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.19, n.11, p.1072-1079, 2015.

DECARO, RICARDO AUGUSTO; DECARO JR, SERGIO TADEO; FERREIRA, MARCELO DA COSTA. Deposit of pesticides without and with adjuvants on citrus seedlings following different intervals of artificial rain/Depósito de caldas fitossanitárias sem e com adjuvantes sobre mudas de citros com diferentes intervalos para incidência de chuva artificial. (proteccion de cultivos) (texto em inglês). Ciência Rural, v.46, n.1, p.13-20, 2016.

DOS SANTOS, THAIS E.M.; DE SOUZA, EDIVAN R.; MONTENEGRO, ABELARDO A.A. Modeling of soil water infiltration with rainfall simulator in different agricultural systems/Modelagem da infiltração de água no solo com simulador de chuvas em diferentes sistemas agrícolas. (texto em inglês). Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.20, n.6, p.513-519, 2016.

GEBLER, LUCIANO; BERTOL, ILDEGARDIS; RAMOS, ROGER R.; LOUZADA, JOSE A.S.; MIQUELLUTI, DAVID J. Fósforo reativo: arraste superficial sob chuvas simuladas para diferentes coberturas vegetais. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.16, n.1, p.99-108, 2012.

HUDSON, N. Soil Conservation. Batsford Ltd., London, 1995, 391p.

ISERLOH, T.; RIES, J.B.; ARNÁEZ, J.; BOIX-FAYOS, C.; BUTZEN, V.; CERDÀ, A.; ECHEVERRÍA, M.T.; FERNÁNDEZ-GÁLVEZ, J.; FISTER, W.; GEIßLER, C.; GÓMEZ, J.A.; GÓMEZ-MACPHERSON, H. European small portable rainfall simulators: A comparison of rainfall characteristics. Catena (Giessen), v.110, p.100-112, 2013.

KIM, HAKSOO; KO, TEAKJO; JEONG, HYANGSEON; YE, SUNGJE. The Development of a Methodology for Calibrating a Large-Scale Laboratory Rainfall Simulator. Atmosphere, v.9, n.11, 2018.

MEYER, L.D. Rainfall simulators for soil conservation research. LAL, R. (Ed.), Soil Erosion Research Methods, Soil and Water Conservation Society, Ankeny, IO, U.S.A., 1988, p.75-95.

NUNES, MARIA C. M.; CASSOL, ELEMAR A. Produção de sedimentos pela erosão em entressulcos em três Latossolos do Rio Grande do Sul. (Texto em Português). Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, n.6, p.541-548, 2011.

PINHEIRO, ADILSON; KAUFMANN, VANDER; SCHNEIDERS, DANIELI; GOTARDO, RAFAEL. Transporte de sedimentos e espécies químicas em áreas de reflorestamentos e pastagem com base em chuva simulada/Transport of sediments, carbon and nutrients in areas of reforestation and grassland based on simulated rainfall. Revista Ambiente & Água, v.8, n.2, p.109-123, 2013.

PINHEIRO, L.G.; ARAÚJO, A.L.C. Qualidade e aproveitamento da água de chuva. Holos (Natal online), v.08, p.135-146, 2016.

RAMOS, JULIO C.; BERTOL, ILDEGARDIS; BANDEIRA, DOUGLAS H.; BARBOSA, FABRICIO T.; ZANGISKI, FERNANDA. Path coefficient analysis, a different approach to identify soil quality indicators/ Análise de trilha, uma abordagem diferente para identificar indicadores de qualidade do solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.23, n.7, p.545-552, 2019.

SEPASKHAH, A.R.; SHAHABIZAD, V. Effects of water quality and PAM application rate on the control of soil erosion, water infiltration and runoff for different soil textures measured in a rainfall simulator. Biosyst. Eng., v.106, p.513–520, 2010.

SILVA, JOSÉ; DE SOUZA, EDUARDO; SOUZA, RODOLFO; DOS SANTOS, EDUARDO; ANTONINO, ANTONIO. Efeito de diferentes usos do solo na erosão hídrica em região semiárida. Revista Engenharia na Agricultura, v.27, n.3, p.272-283, 2019.

WANG, QIDONG; DENG, LIN. Effects of rainfall intensity, slope angle, and vegetation coverage on the erosion characteristics of Pisha sandstone slopes under simulated rainfall conditions. Environmental Science and Pollution Research International, v.27, n.15, p.17458-17467, 2020.

WEBER, JUAN. Parámetros del modelo de infiltración de Horton obtenidos mediante el uso de un simulador de lluvia, Córdoba, Argentina/Parâmetros do modelo de infiltração de Horton desenvolvidos utilizando-se um simulador de chuva, Córdoba, Argentina. Revista Ambiente & Água, v.9, n.1, p.161-172, 2014.

CAPÍTULO 9

BIOADSORVENTE DE FOLHAS GASTAS DE *Cymbopogon citratus* PARA REMOÇÃO DE HIDROXICLOROQUINA

Data de submissão: 08/08/2023 *Data de aceite: 01/09/2023*

Ramiro Picoli Nippes
Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química. Maringá-Paraná.
http://lattes.cnpq.br/6778980188605524

Paula Derksen Macruz
Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química. Maringá-Paraná.
http://lattes.cnpq.br/5257385347804148

Aline Domingues Gomes
Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química. Maringá-Paraná.
http://lattes.cnpq.br/6241863660560621

Thaísa Frossard Coslop
Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química. Maringá-Paraná.
http://lattes.cnpq.br/7515260724440278

Rodrigo de Souza Antônio
Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química. Maringá-Paraná.
http://lattes.cnpq.br/2621508156002165

Leonardo Zavilenski Fogaça
Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química. Maringá-Paraná.
http://lattes.cnpq.br/8724711736746702

Mara Heloisa Neves Olsen Scaliante
Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química. Maringá-Paraná.
http://lattes.cnpq.br/1552509852504841

RESUMO: O objetivo desse estudo foi preparar e caracterizar um novo bioadsorvente de folhas gastas de *Cymbopogon citratus*, conhecida popularmente por capim cidreira, para uso na remoção do fármaco hidroxicloroquina (HCQ), um poluente emergente de elevada preocupação. O bioadsorvente foi preparado utilizando água quente, em um processo semelhante ao preparo de um chá e posterior secagem. O material foi caracterizado por fisissorção de N_2, DRX, FTIR e MEV e a eficiência do bioadsorvente foi avaliada em regime batelada na remoção da HCQ. O bioadsorvente apresentou característica de mesoporos, estrutura amorfa, com presença de celulose, lignina

e hemiceluloses e a morfologia condizente com a matéria-prima utilizada. A capacidade de adsorção do material foi de 8,712 mg g^{1} após 180 minutos. O bioadsorvente proposto é um adsorvente com potencial para aplicação em sistemas de adsorção para remoção de poluentes emergentes.
PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de águas residuais; adsorção; bioadsorvente; remoção.

BIOADSORBENT FROM SPENT LEAVES OF *Cymbopogon citratus* FOR THE REMOVAL OF HYDROXYCHLOROQUINE

ABSTRACT: The objective of this study was to prepare and characterize a new bioadsorbent from spent leaves of *Cymbopogon citratus*, popularly known as lemongrass, for use in the removal of the drug hydroxychloroquine (HCQ), an emerging pollutant of high concern. The bioadsorbent was prepared using hot water, in a process similar to the preparation of tea and subsequent drying. The material was characterized by N_2 physisorption, XRD, FTIR and SEM and the efficiency of the bioadsorbent was evaluated in a batch regime in the removal of HCQ. The bioadsorbent showed characteristics of mesopores, amorphous structure, with the presence of cellulose, lignin and hemicelluloses and a morphology consistent with the raw material used. The adsorption capacity of the material was 8,712 mg g^{-1} after 180 minutes. The standard bioadsorbent is an adsorbent with potential for application in adsorption systems to remove emerging pollutants.
KEYWORDS: Wastewater treatment; adsorption; bioadsorbent; removal.

1 I INTRODUÇÃO

A contaminação das matrizes aquáticas por micropoluentes persistentes é uma preocupação em todo o mundo (BHATT; BHANDARI; BILAL, 2022). Os micropoluentes são produtos químicos industriais, fármacos, produtos de higiene pessoal e outras substâncias tóxicas (KOMOLAFE et al., 2021). Eles são provenientes da atividade humana e possuem efeitos perigosos para os seres humanos e para a biota (AHMED et al., 2017) (KHOO et al., 2022).

Dentre os compostos, a Hidroxicloroquina (HCQ) concentra grande preocupação, visto que trata-se de um fármaco amplamente utilizada no tratamento de doenças como malária, artrite reumatoide e lúpus sistêmico (HAQUE; MIRJAFARI; BRUCE, 2008) (PRICE et al., 2014). Além disso, seu uso medicinal foi considerado para o tratamento do COVID-19, o que acarretou em aumento do seu consumo a nível mundial, potencializado pela prática não recomendada da automedicação (CHEN et al., 2020) (DA SILVA et al., 2021). Nesse sentido, a HCQ não metabolizada pelo organismo e seus metabolitos serão eliminados através da urina (BROWNING, 2014) e poderá alcançar matrizes aquáticas. Dessa forma, o desenvolvimento de tecnologias eficientes para sua eliminação em meio aquoso é urgente e necessário.

Dentre os processos, a adsorção é um dos métodos mais promissores, de baixo custo, fácil utilização e alta eficiência (YU et al., 2016). No entanto, a escolha do

material adsorvente é o núcleo desse processo. Diferentes materiais têm sido utilizados, principalmente carvão ativado, que é um adsorvente eficiente, porém tem custo elevado. Por isso, adsorventes alternativos de baixo-custo têm sido desenvolvidos. A utilização de resíduos para a produção de adsorvente é potencialmente aplicada, pois permite a reciclagem dos resíduos e diminui os custos do processo de adsorção. A planta Cymbopogon citratus (C. citratus), que é consumida em forma de chá e considerada como resíduo após o uso, é um exemplo. Cymbopogon citratus é uma erva perene, com rizoma parcialmente aéreo levemente ramificado que pertence à seção de Andropogoneae denominada cymbopogam da família Poaceae (BABARINDE, A., OGUNDIPE, K., SANGOSANYA, K. T., AKINTOLA, B. D., & HASSAN, 2016), que possui uso medicinal (SHAH et al., 2011).

Assim, as folhas gastas de C. citratus foram utilizadas para remoção do fármaco HCQ pelo método de adsorção de soluções aquosas em regime batelada. O objetivo é propor o uso de um adsorvente de baixo-custo e de preparo simples, para remoção desse composto de grande preocupação emergente, e contribuir para a preservação das matrizes aquáticas.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

As folhas de *Cymbopogon citratus* foram colhidas manualmente em plantações locais. A hidroxicloroquina (HCQ) (> 98%) foi obtida da Sigma-Aldrich. Água de osmose reversa foi usada para o experimento de adsorção.

2.2 Métodos

2.2.1 Preparo do bioadsorvente

No estudo, os resíduos da *Cymbopogon citratus* foram usados como adsorvente. As folhas de *Cymbopogon citratus* foram preparadas em água fervida a 100 °C por 15 min. Depois de ser usado como chá, as folhas foram lavadas com água deionizada até que um filtrado incolor fosse obtido. As folhas de *Cymbopogon citratus*, limpas de materiais inertes, foram secas por 24 horas em estufa a 105°C. Após a secagem, foi moído em um moedor e peneirado rendendo adsorventes com tamanhos de partículas variando de 75 a 500 μm.

2.2.2 Caracterização do bioadsorvente

A morfologia das folhas de *Cymbopogon citratus* foi observada através de um Microscópio Eletrônico de Varredura modelo Quanta 250. Análises de FTIR-ATR utilizando um espectrômetro de infravermelho, modelo Vertex 70v com módulo Ram II, Bruker, Alemanha, na região de 4000–400 cm–1. As propriedades estruturais das folhas de

Cymbopogon citratus foram analisadas usando um difratômetro Bruker D8 Advance de uma fonte de radiação de emissão de cobre (CuKα, 40 kV e 30 mA). As propriedades texturais do adsorvente foi determinada por adsorção e dessorção de N2 a 77K realizada no equipamento NOVA 1200 Quantachrome.

2.2.3 Aplicação do bioadsorvente

O bioadsorvente foi testado na adsorção da HCQ em batelada, utilizando um reator de vidro de 500 ml acoplado com um agitador magnético. Nesse sistema foi adicionado 250 ml de solução sintética de hidroxicloroquina na forma de adsorvato na concentração de 25 mg L^{-1} e 0,1 g de massa do bioadsorvente. Em determinados intervalos de tempo, foram retiradas alíquotas de aproximadamente 2,5 ml que foram filtradas utilizando um suporte porta-ferramentas de aço inoxidável, tipo Holder, e membranas de 0,22 µm fornecidas pela Millipore. O resultado do teste de adsorção foi determinado por meio de análises espectrofotométricas realizadas em um espectrofotômetro Shimadzu UV-VIS, modelo UV-1800, utilizando a curva de calibração obtida em diferentes concentrações de HCQ e lida através da absorbância no comprimento de onda máximo de 343 nm e determinada pela sua respectiva curva de calibração. A quantidade adsorvida (q_t) em mg de HCQ por grama de bioadsorvente foi determinada pela Equação 1.

$$q_t = \frac{(C_{0-}\ C_t).V}{m_a} \qquad \text{Equação 1}$$

Em que q_t é a quantidade adsorvida por grama de adsorvente no equilíbrio (mg g^{-1}), C_0 é a concentração inicial de adsorvato (mg L^{-1}), C_t é a concentração de adsorvato no tempo t (mg L^{-1}), V é o volume de solução (L), e m_a é a massa de adsorvente (g).

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização do bioadsorvente

Os parâmetros texturais do adsorvente foi analisado através da técnica de fisissorção de N_2 e os valores obtidos estão disponíveis na Tabela 1. A área superficial BET, o volume total de poros e o diâmetro médio de poros foram, respectivamente, 19.1051 m2 g–1, 0.00211 cm3 g–1 e 2.2 nm. O adsorvente de folhas de C. citratus pode ser classificado como um material mesoporoso, pois o diâmetro médio dos poros ficou entre 2 e 10 nm de acordo com a classificação IUPAC de poros (THOMMES et al., 2015).

Sample	Área específica (m^2 g^{-1})	Volume de Poros (cm^3 g^{-1})	Average pore size (nm)
bioadsorvente de *Cymbopogon citratus*	19.105	0,00211	2.2

Tabela 1 – Parâmetros texturais do adsorvente de *Cymbopogon citratus* obtidos pela fisissorção de N_2.

A morfologia do bioadsorvente foi observada através da microscopia eletrônica de varredura (MEV). A micrografia pode ser visualizada na Fig.1. A partir dessa análise pode-se observar que o bioadsorvente preserva a anatomia das fibras da parede vegetal, apresentando forma cilíndrica com aspecto rugoso.

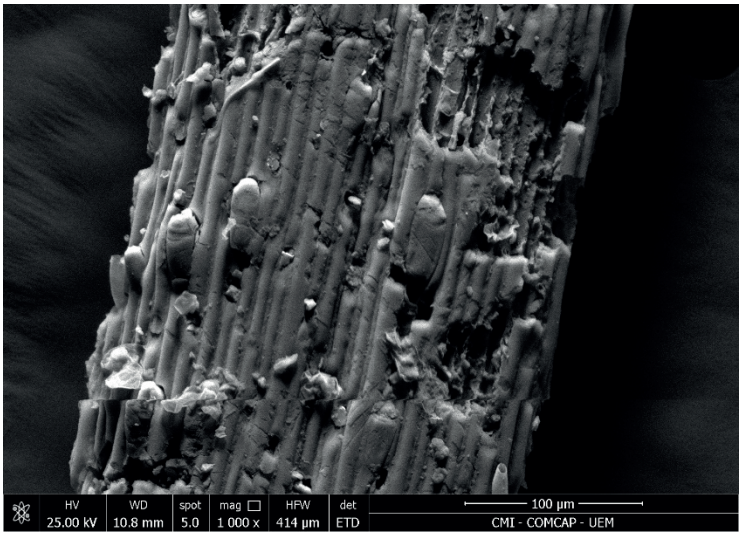


Figura 1 – Micrografia do bioadsorvente com 1000x de ampliação.

O difratograma da amostra de bioadsorvente está presente na Figura 2. Os padrões de DRX indicam predominância de picos largos, característica de material amorfo. Esse resultado está de acordo com outros estudos, que afirmam, que em geral, os adsorventes de origem vegetal são sólidos amorfos (PEREIRA et al., 2021) (AGUIAR; NOVAES; GUARINO, 2002). O pico vertical estreito em 2Θ = 22,15° corresponde a componente de celulose (CAI et al., 2019), sendo este um padrão de DRX típico da estrutura cristalina do tipo I de celulose (CHEN et al., 2009).

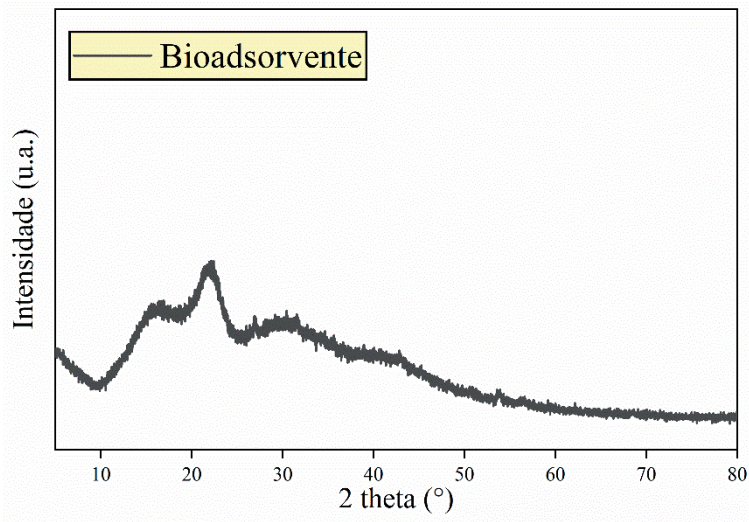


Figura 2 – Difratograma do bioadsorvente.

Na Figura 3, são dados os espectros FTIR do bioadsorvente de folhas C. citratus. A banda larga em 3370 cm^{-1} corresponde ao alongamento do grupo hidroxila (OH) (HAGHIGHIZADEH et al., 2020). A banda em 2922 cm^{-1} é referente a vibração de estiramento do grupo alcano (C–H) devido ao grupo metil e metileno de celulose (CAI et al., 2019). A banda de absorção em 1737 cm^{-1} é atribuída ao alongamento C=O e da presença de grupos carbonila (DARGAHI et al., 2021). A banda em torno de 1050 cm^{-1} é indicativa ao estiramento C–O, que pode ser atribuída a presença de celulose, lignina e hemiceluloses residuais (SUN et al., 2005).

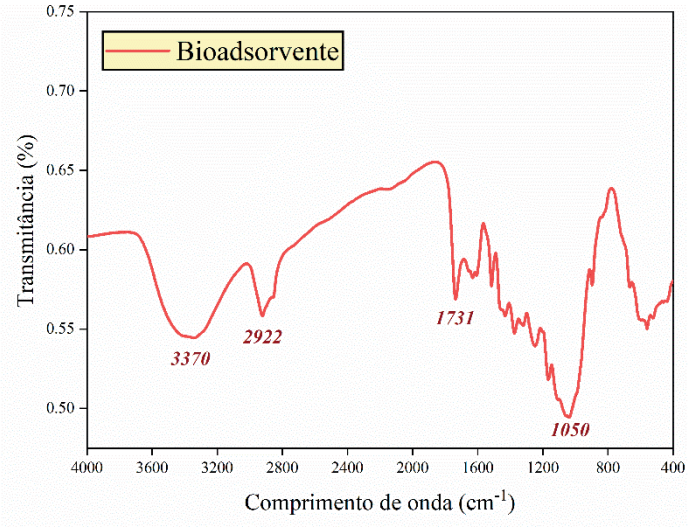


Figura 3 – Espectro de Infravermelho do bioadsorvente.

3.2 Teste de adsorção

O bioadsorvente de baixo-custo teve seu potencial adsortivo avaliado na adsorção da HCQ, e o resultado alcançado encontra-se na Figura 4. Analisando o resultado é perceptível uma forte interação da HCQ com a superfície do bioadsorvente logo nos trinta primeiros minutos de adsorção, após esse tempo o processo se encaminha para atingir o equilíbrio. A quantidade máxima adsorvida foi de 8,712 mg g-1 após 180 minutos. Esse resultado é semelhante ao encontrado por NIPPES et al., 2022 e superior ao relatado por GÜMÜŞ; GÜMÜŞ, 2022. Com isso, pode-se afirmar que o bioadsorvente de folhas gastas de C. Citratus é um candidato promissor, para atuar como adsorvente na remoção de poluentes emergentes como a hidroxicloroquina. O seu baixo-custo e facilidade de preparo são características que cooperam com esse potencial.

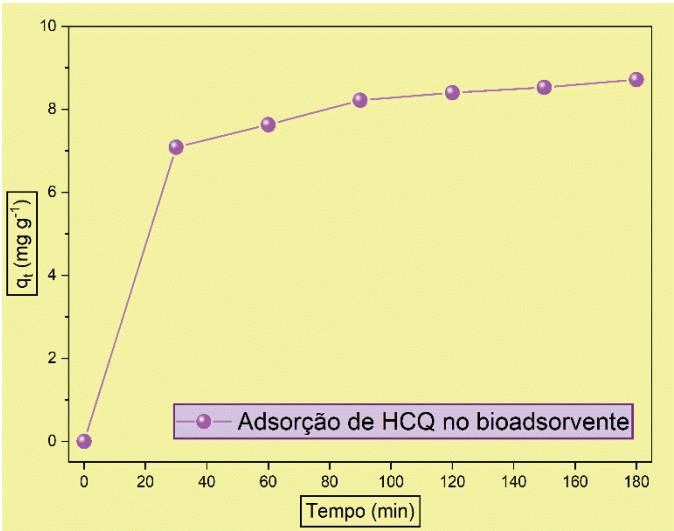


Figura 4 – Resultado do teste de adsorção de hidroxicloroquina no bioadsorvente.

4 I CONCLUSÃO

Um bioadsorvente de baixo-custo, produzido com folhas gastas de C. Citratus, foi obtido com sucesso por meio de uma técnica simples e barata. O bioadsorvente apresentou característica de material mesoporoso, estrutura amorfa, com presença de celulose, lignina e hemiceluloses e a morfologia do material foi condizente com a matéria-prima utilizada. O resultado do teste de adsorção confirmou o potencial do bioadsorvente na remoção do fármaco hidroxicloroquina em meio aquoso. Os resultados obtidos são de grande importância para o desenvolvimento de um sistema de tratamento de efluentes eficaz e de custo reduzido para a remoção de poluentes emergentes, como a HCQ.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, M. R. M. P. DE; NOVAES, A. C.; GUARINO, A. W. S. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. **Química Nova**, v. 25, n. 6b, p. 1145–1154, 2002.

AHMED, M. B. et al. Progress in the biological and chemical treatment technologies for emerging contaminant removal from wastewater: A critical review. **Journal of Hazardous Materials**, v. 323, p. 274–298, 5 fev. 2017.

BABARINDE, A., OGUNDIPE, K., SANGOSANYA, K. T., AKINTOLA, B. D., & HASSAN, A. O. E. Comparative study on the biosorption of Pb(II), Cd(II) and Zn(II) using Lemon grass (Cymbopogon citratus): Kinetics, isotherms and thermodynamics. **Chemistry International**, v. 2, n. 2, p. 89–102, 2016.

BHATT, P.; BHANDARI, G.; BILAL, M. Occurrence, toxicity impacts and mitigation of emerging micropollutants in the aquatic environments: Recent tendencies and perspectives. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 10, n. 3, p. 107598, 1 jun. 2022.

BROWNING, D. J. Hydroxychloroquine and chloroquine retinopathy. **Hydroxychloroquine and Chloroquine Retinopathy**, p. 1–291, 2014.

CAI, Z. et al. Fabrication of a cost-effective lemongrass (Cymbopogon citratus) membrane with antibacterial activity for dye removal. **RSC Advances**, v. 9, n. 58, p. 34076–34085, 2019.

CHEN, W. Y. et al. Impact of long-term parental exposure to Tamiflu metabolites on the development medaka offspring (Oryzias latipes). **Environmental Pollution**, v. 261, p. 114146, 2020.

CHEN, Y. et al. Bionanocomposites based on pea starch and cellulose nanowhiskers hydrolyzed from pea hull fibre: Effect of hydrolysis time. **Carbohydrate Polymers**, v. 76, n. 4, p. 607–615, 16 maio 2009.

DA SILVA, P. L. et al. Photocatalytic degradation of hydroxychloroquine using ZnO supported on clinoptilolite zeolite. **Water Science and Technology**, v. 84, n. 3, p. 763–776, 2021.

DARGAHI, A. et al. Statistical modeling of phenolic compounds adsorption onto low-cost adsorbent prepared from aloe vera leaves wastes using CCD-RSM optimization: effect of parameters, isotherm, and kinetic studies. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 2021.

GÜMÜŞ, D.; GÜMÜŞ, F. Removal of Hydroxychloroquine Using Engineered Biochar from Algal Biodiesel Industry Waste: Characterization and Design of Experiment (DoE). **Arabian Journal for Science and Engineering**, v. 47, n. 6, p. 7325–7334, 2022.

HAGHIGHIZADEH, M. et al. Preparation and characterization of Chicory leaf powder and its application as a nano-native plant sorbent for removal of Acid Blue 25 from aqueous media: isotherm, kinetic and thermodynamic study of the adsorption phenomenon. **Journal of Nanostructure in Chemistry**, v. 10, n. 1, p. 75–86, 2020.

HAQUE, S.; MIRJAFARI, H.; BRUCE, I. N. Atherosclerosis in rheumatoid arthritis and systemic lupus erythematosus. **Wolters Kluwer Health**, v. 19, p. 338–343, 2008.

KHOO, Y. S. et al. Removal of emerging organic micropollutants via modified-reverse osmosis/ nanofiltration membranes: A review. **Chemosphere**, v. 305, p. 135151, 1 out. 2022.

KOMOLAFE, O. et al. Occurrence and removal of micropollutants in full-scale aerobic, anaerobic and facultative wastewater treatment plants in Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 287, p. 112286, 1 jun. 2021.

NIPPES, R. P. et al. Hydroxychloroquine Adsorption in Aqueous Medium Using Clinoptilolite Zeolite. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 233, n. 8, p. 1–14, 2022.

PEREIRA, J. E. S. et al. Valorization of carnauba straw and cashew leaf as bioadsorbents to remove copper (II) ions from aqueous solution. **Environmental Technology & Innovation**, v. 23, p. 101706, 1 ago. 2021.

PRICE, R. N. et al. Global extent of chloroquine-resistant Plasmodium vivax: a systematic review and meta-analysis. **The Lancet Infectious Diseases**, v. 14, n. 10, p. 982–991, 1 out. 2014.

SHAH, G. et al. Scientific basis for the therapeutic use of Cymbopogon citratus, stapf (Lemon grass). **Journal of Advanced Pharmaceutical Technology and Research**, v. 2, n. 1, p. 3–8, 2011.

SUN, X. F. et al. Characteristics of degraded cellulose obtained from steam-exploded wheat straw. **Carbohydrate Research**, v. 340, n. 1, p. 97–106, 17 jan. 2005.

THOMMES, M. et al. Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report). **Pure and Applied Chemistry**, v. 87, n. 9–10, p. 1051–1069, 2015.

YU, F. et al. Adsorptive removal of antibiotics from aqueous solution using carbon materials. **Chemosphere**, v. 153, p. 365–385, 1 jun. 2016.

CAPÍTULO 10

DEGRADAÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO UTILIZANDO ALUMINOFOSFATO DE ZINCO COMO FOTOCATALISADOR

Data de aceite: 01/09/2023

Antônio Carlos Marangoni
Professor da Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG

Omar José de Lima
Professor da Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG

Tais Arthur Corrêa
Professora da Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG

Rafael Junqueira Marangoni
Graduando do curso de Engenharia Civil. Universidade de São Paulo – EESC – USP

RESUMO: O tratamento de efluentes tem se tornado um grande aliado dos ambientalistas e beneficiado a população em geral, não só pelo volume de efluentes gerado e sua composição, mas também pela referência em níveis de saúde pública. Os efluentes industriais têm como característica a geração de grandes volumes de resíduos, principalmente corantes. A fotocatálise heterogênea tem tornando-se uma alternativa no tratamento desses efluentes. Neste trabalho estudou-se a utilização da fotocatálise heterogênea com a utilização do Aluminofosfato de Zinco na degradação do efluente contendo o corante sintético azul de metileno. O material foi sintetizado via processo sol-gel não hidrolítico (NHG) e caracterizado por análise térmica, difração de raios-X e infravermelho sendo os resultados acompanhados por espectroscopia no UV-Vis indicando através dos resultados para a síntese a incorporação do zinco na matriz de aluminofosfato $AlPO_4Zn$ e para a aplicação como fotocatalisador resultados positivos foram encontrados. Nos experimentos, os parâmetros de pH, tempo de exposição a luz ultravioleta, concentração do catalisador, concentração do poluente foram monitorados. Os resultados de descoloração do azul de metileno apresentou valores significativos de remoção de até 99% para as concentrações do corante de 50 $mg.L^{-1}$ e concentração do catalisador de 1 $g.L^{-1}$.

PALAVRAS-CHAVE: Efluentes Industriais. Fotocatálise heterogênea.

ABSTRACT: The treatment of effluents has become a great ally of environmentalists and has benefited the population in general, not only by the volume of effluents generated and its composition, but also by reference to public health levels. The industrial effluents

are characterized by the generation of large volumes of waste, mainly dyes. Heterogeneous photocatalysis has become an alternative in the treatment of these effluents. In this work the use of heterogeneous photocatalysis with the use of Zinc Aluminofosfato in the degradation of the effluent containing the methylene blue synthetic dye was studied. The material was synthesized via a non-hydrolytic sol-gel (NHG) process and characterized by thermal analysis, X-ray diffraction and infrared, the results being monitored by UV-Vis spectroscopy indicating by the results for the synthesis the incorporation of zinc in the matrix of AlPO4Zn aluminum phosphate and for the application as a photocatalyst positive results were found. In the experiments, the parameters of pH, time of exposure to ultraviolet light, concentration of the catalyst, concentration of the pollutant were monitored. The methylene blue discoloration results showed significant removal values of up to 99% for the dye concentrations of 50 mg.L-1 and the catalyst concentration of 1 g.L-1.
KEYWORDS: Industrial Effuent. Heterogeneous Photocatalysis.

1 I INTRODUÇÃO

A água é o principal elemento para a vida, indispensável à sobrevivência dos seres vivos e às atividades humanas, incluindo o abastecimento público e industrial. Porém a disponibilidade de água doce na natureza é limitada, considerando que representa 2,5% da quantidade total dos recursos hídricos disponíveis no planeta. Este fator ficou ainda mais crítico com a crescente expansão demográfica e industrial observada nas últimas décadas, que ocorreu sem um planejamento ambiental adequado (GRZECHULSKA; MORAWSKI, 2003). A poluição da água tem-se apresentado como uma das maiores preocupações do mundo atual. Esta poluição decorre do lançamento de substâncias tóxicas nos corpos hídricos tais como lagos, rios e oceanos podendo estar dissolvida, suspensa na água ou depositado no fundo desses sistemas, diminuindo assim a qualidade da água. Os corantes podem ser caracterizados como uma classe dos poluentes mais importantes que tem como fontes, indústrias têxteis, tintas, papel e plástico (HASSANPOUR et al. 2017).

Os corantes são classificados por sua estrutura química ou por sua aplicação. Pela estrutura química podem ser classificados como: nitrofenol, nitrosofenol, azo, trifenilmetano, antraquinona, ftalocianina, vinilsulfônico, pirimidina e triazina, por aplicação é classificado de acordo com o tipo de fibra a ser tingida (TWARDKUS, 2004). Existem muitos tipos de corantes, os principais classificados pelo modo de fixação são apresentados a seguir (TROTMAN, 1984; ANDRADE FILHO E SANTOS, 1987; GUARATINI E ZANONI, 2000):

Corantes diretos: Este grupo de corantes caracteriza-se como compostos solúveis em água capazes de tingir fibras de celulose como o algodão e a viscose, através de interação de Van der Waals. A afinidade do corante é aumentada pelo uso de eletrólitos, pela configuração da molécula do corante ou a dupla-ligação conjugada que aumenta a adsorção do corante sobre a fibra. Esta classe de corante é constituída principalmente por corantes contendo mais de um grupo azo (diazo, triazo) ou pré-transformados em

complexos metálicos (ALCÂNTARA; DALTIN. 1996).

Corantes Reativos: Os corantes deste grupo possuem como característica alta solubilidade em água e o estabelecimento de uma ligação covalente entre o corante e a fibra, cuja ligação confere maior estabilidade na cor do tecido tingido quando comparado a outros tipos de corante em que o processo de coloração se opera através de ligações de menor intensidade. A montagem (fixação) se efetua pela adição de um eletrólito (ALCÂNTARA; DALTIN. 1996).

Os primeiros corantes reativos foram lançados no mercado somente em 1956 pelo fabricante ICI, sendo estes obtidos a partir do Cloreto Cianúrico. Onde os grupos reativos eram os Dicloro triazina e Monocloro triazina. A partir desta descoberta, ocorreu um grande desenvolvimento científico e tecnológico e foram criados inúmeros grupos químicos reativos que possibilitavam ligações mais ou menos estáveis com a celulose. Com o surgimento dos corantes reativos estabeleceu-se um quarto princípio para o tingimento de fibras celulósicas (SALEM, 2000).

Corantes Azóicos: São obtidos sinteticamente sobre as fibras no momento do tingimento, a partir da aplicação, no material têxtil, de dois compostos, o naftol e uma base. O naftol é um composto aromático insolúvel em água, mas que pela solubilização com hidróxido de sódio, torna-se um naftolato, que monta (fixa) na celulose. Após esta montagem, o material têxtil adquire coloração amarela, que não solubilizado por meio de nitrito de sódio e ácido clorídrico, tornando-se uma base diazotada. Após a obtenção dessa base diazotada, faz-se sua montagem sobre o material têxtil naftolado. A ligação do naftol com a base produz o corante através de um processo que se denomina copulação (ALCÂNTARA; DALTIN. 1996).

Corantes diretos ou substantivos: São corantes solúveis em água. Tingem diretamente as fibras de celulose (algodão, viscose, etc.) através das interações de Van der Waals. O banho aquoso deve ser acrescido de um eletrólito, para aumentar a afinidade pela fibra. A grande vantagem desta classe é o grau de exaustão durante a aplicação (ALCÂNTARA; DALTIN. 1996).

Corantes Ácidos: São solúveis em água. Tingem diretamente as fibras protéicas e poliamídicas. O termo corante ácido corresponde a um grande grupo de corantes aniônicos portadores de um a três grupos sulfônicos. Estes corantes caracterizam-se por substâncias com estrutura química baseada em compostos azo, antraquinona, triarilmetano, azina, xanteno, cetonimina, nitro e nitroso, que fornecem uma ampla faixa de coloração e grau de fixação (ALCÂNTARA; DALTIN. 1996).

Corantes a cuba: Também chamados de corantes à tina e de redução, são insolúveis em água. Através de redução com hidrossulfito de sódio em meio alcalino, se transformam em leuco derivados solúveis e tingem os materiais têxteis celulósicos. A maior aplicação deste tipo de corante tem sido a tintura de algodão, embora devido às suas excelentes propriedades de fixação, outros materiais também são utilizados. Como a produção

química de hidrossulfito de sódio pode causar problemas ecológicos, o custo desta classe de corantes tem sido bastante alto (ALCÂNTARA; DALTIN. 1996).

Corantes ao Enxofre: São insolúveis em água. São aplicados após solubilização com sulfureto de sódio. Após a montagem são oxidados convertendo-se nos corantes insolúveis originais. São ideais para fibras celulósicas na obtenção de cores intensas (castanho, azul marinho, preto) (ALCÂNTARA; DALTIN. 1996).

Corantes dispersos: Constitui uma classe de corantes insolúveis em água aplicados em fibras de celulose e outras fibras hidrofóbicas através de suspensão. Durante o processo de tingimento, o corante sofre hidrólise e a forma originalmente insolúvel é lentamente precipitada na forma dispersa (finamente dividido) sobre o substrato têxtil. Para sua aplicação são necessários agentes dispersantes (ALCÂNTARA; DALTIN. 1996).

Corante Pré-Metalizados: Tingem principalmente fibras protéicas e poliamida. São caracterizados pela presença de um grupo hidroxila ou carboxila na posição orto em relação ao cromóforo azo, permitindo a formação de complexos com íons metálicos. A desvantagem ecológica deste tipo de corante está associada ao alto conteúdo de metal (cromo) nas águas de rejeito (ALCÂNTARA; DALTIN. 1996).

Corantes Branqueadores: São também chamados de branqueadores ópticos ou mesmo branqueadores fluorescentes. São aplicados para diminuir a aparência amarelada das fibras (ALCÂNTARA; DALTIN. 1996).

1.1 Azul de metileno

O azul de metileno é um corante básico e pertence à classe das fenotiazinas (SCHIAVO et al.,2000 apud POGGERE, 2011), é orgânico, aromático, heterocíclico, solúvel em água ou álcool (LIMA et al. 2007). É comumente empregado na produção de papel e outros materiais como poliésteres e nylons (FABRICIO et al. 2009). De acordo com Guaratini e Zanoni (2000), corantes básicos são solúveis em água e produzem cátions coloridos em solução, por isso, refere-se a eles como corantes catiônicos. Alguns corantes básicos apresentam atividade biológica e são utilizados como anti-sépticos. O azul de metileno apresenta em sua composição a estrutura da fenotiazina, composto que está presente em antihistamínicos e antipsicóticos (SILVA, 2012).

Durante as sínteses e usos de corantes orgânicos (azul de metileno por exemplo), ao menos 4% da produção de corantes é perdida nos efluentes industriais por ano (PETERNEL, I.; KOPRIVANAC, N.; KUSIC, H. U. V, 2006). A Figura 1 ilustra a estrutura molecular do corante azul de metileno.

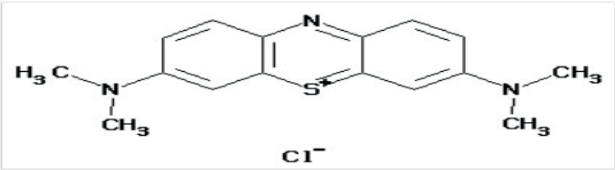


Figura 1. Estrutura molecular do corante azul de metileno

Fonte: (MERK, 2011)

As características dos efluentes industriais contendo corantes são bastante variáveis quanto aos tons e concentrações de cor, o que torna mais difícil quantificar a cor de um efluente industrial. Os efluentes têxteis, em particular, apresentam problemas estéticos e ambientais ao absorver luz e interferir nos processos biológicos próprios do corpo hídrico. Poluentes coloridos têm sido apontados como substâncias potencialmente tóxicas (KAO et al., 2001).

Porém, mesmo corantes menos tóxicos, se não tratados, causam impacto evidente ao corpo hídrico. Além da interferência estética e do fato de dificultar ou encarecer o processo de tratamento de água para abastecimento público, corantes podem causar modificações nas atividades fotossintetizantes de plantas aquáticas.

O pensamento de que os recursos naturais disponíveis no meio ambiente podem se esgotar se não forem utilizados de maneira consciente está gerando novas formas de produção e de consumo, que fazem parte do desenvolvimento sustentável (LEITE, 2009).

No meio industrial, ocorre à geração de resíduos em volumes e composições que variam de acordo com o segmento. Define-se como resíduo os restos as sobras provenientes de um processo produtivo, e que são considerados como inúteis, indesejáveis ou descartáveis. Podem se apresentar sob estado sólido, semi-sólido ou semi-líquido (JARDIM et al., 2000).

Segundo a Norma Brasileira (NBR 9800/1987) os efluentes líquidos industriais são os despejos líquidos provenientes do estabelecimento industrial, compreendendo como efluentes de processo industrial, águas de refrigeração poluídas, águas pluviais poluídas e esgoto doméstico. Possui características físicas (sólidos sedimentáveis, temperatura, cor, turbidez etc.), químicas (pH, alcalinidade, acidez, metais pesados etc.) e biológicas (coliformes totais e fecais etc.), variando conforme o tipo de atividade industrial e a matéria prima utilizada.

O descarte de efluentes domésticos e industriais, sem tratamento prévio, contaminam rios e mananciais, provocando redução do oxigênio dissolvido, aumento da turbidez, mudanças do pH, entre outros efeitos (WEIGEL et al., 2004). Muitos dos efluentes podem conter também poluentes que apresentam estabilidade à decomposição natural e persistência, com consequências ainda mais preocupantes (QAMAR et al., 2005).

Atualmente, estudos promovendo alternativas de tratamento de efluentes estão

cada vez mais frequentes, com a utilização de energias renováveis e materiais recicláveis ou de baixo custo, voltados principalmente para atender populações de baixa renda e que não possuem saneamento básico (SILVA; NOUR, 2005). Essas alternativas de tratamentos são desenvolvidas com o intuito de melhorar a qualidade de água, tanto para o reuso, quanto para o consumo humano.

A indústria têxtil, tomada de exemplo, tem grande relevância em termos de capacidade produtiva. A grande quantidade de efluentes provenientes de tingimentos com corantes sintéticos torna-os difíceis para serem tratados em processos de tratamento convencionais.

Nas últimas décadas, foram desenvolvidos alguns processos, entre eles os processos oxidativos avançados (POAs), que consistem em uma tecnologia efetiva para o tratamento de água e efluentes para a remoção de poluentes orgânicos que não podem ser totalmente tratados nas estações de tratamento convencionais devido a sua baixa biodegradabilidade e toxicidade elevada.

1.2 Processos fotoquímicos

A "fotocatálise" é ainda objeto de alguns debates. Argumenta-se que a idéia de uma reação fotocatalisada é fundamentalmente incorreta, uma vez que implica que na reação, a luz está agindo como um catalisador ou considerado como um reagente que é consumido no processo químico. Na realidade, o termo "fotocatálise" é utilizado de forma generalizada e não implica em catálise pela luz, mas sim na aceleração "de uma fotorreação pela presença de um catalisador", por diminuição de sua energia de ativação. O termo "fotorreação" às vezes é elaborado como um sistema "fotoinduzido" ou reações "fotoativadas". A definição de "fotocatálise" inclui o processo de "fotossensibilização", ou seja, um processo pelo qual uma alteração fotoquímica ocorre em espécies químicas como resultado da absorção da radiação inicial por outra espécie química chamada de fotossensibilizador.

Processos oxidativos avançados (POAs) têm sido eficientemente aplicados sobre a degradação de uma variedade de contaminantes orgânicos. (GIANOTTI et al. 2002). Esses processos incluem tecnologias como o O_3, O_3/UV-B, H_2O_2/UV-C, Fenton, foto-Fenton, TiO_2-ZnO/UV-A, TiO_2-ZnO/UV-B, etc, (NAVARRO et al. 2009; PARDESHI; PATIL. 2008; HERRMANN; GUILLARD. 2000; CHIRON et al. 2000; EVGENIDOU et al. 2005), que são caracterizados por um fator comum: a geração de radicais hidroxila ($OH^{\cdot}$) (NAVARRO et al. 2009; PARDESHI; PATIL. 2008; PEI et al. 2004).

Os princípios básicos da fotocatálise heterogênea podem ser resumidos brevemente da forma como indicado na Equação 1. Um semicondutor (SC) é caracterizado por uma estrutura de banda eletrônica, em que um estado de menor energia é chamado banda de valência (BV), e um estado de maior energia que é vazia, é chamado banda de condução (BC); essas bandas são separadas por um *bandgap*, ou seja, uma região de energias proibidas em um cristal perfeito. (DA FONSECA ARAUJO et al. 2006)

$$(1)\ SC \xrightarrow{h\nu} SC\ (e^{-}_{BC} + h^{+}_{BV}) \longrightarrow \text{recombinação}$$

As espécies que ficam adsorvidas ou enclausuradas na superfície da partícula podem levar à reações redox anódica e também catódica, podendo ser iniciadas como observado na Figura 2.

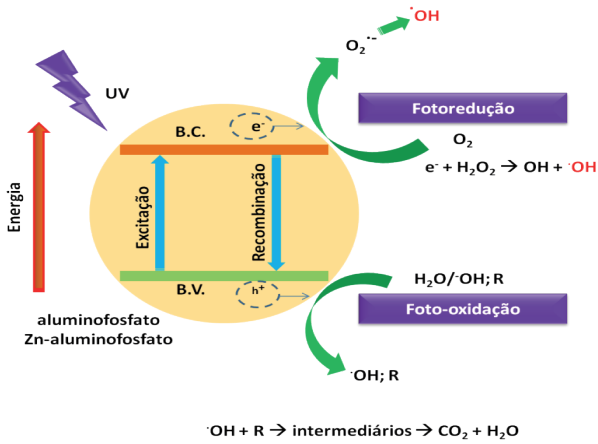


Figura 2: Esquema de processo de foto-oxidação adaptado.

Fonte: AHMED et al. (2010).

O processo fotocatalítico heterogêneo ocorre por meio das etapas descritas abaixo e é compreendido como uma complexa sequência de reações que podem ser expressas pelo intermédio do seguinte conjunto de etapas simplificadas (CHIRON et al. (2000):

- Difusão dos reagentes para a superfície da partícula do catalisador;
- Adsorção dos reagentes na superfície;
- Reação na superfície do catalisador;
- Dessorção dos produtos formados;
- Difusão dos produtos da superfície.

Os radicais hidroxila podem ser formados pela reação entre a lacuna gerada (h^+) e a água adsorvida na superfície do semicondutor ou entre a lacuna e o grupo OH^- adsorvido na superfície do semicondutor .

Na degradação de poluentes orgânicos, o radical hidroxila gerado a partir da oxidação de moléculas de água, e adsorvido como $OH^{\cdot}$, é o oxidante primário, e a presença de oxigênio pode impedir a recombinação de par elétron/lacuna. O radical $OH^{\cdot}$ gerado pode atacar compostos orgânicos clorados, fosforados, aromáticos, anilinas, e nitrofenóis que resultam em vários intermediários de reação, dependendo da natureza dos compostos. (CHIRON et al. 2000). Os intermediários resultantes podem ainda reagir com $OH^{\cdot}$ levando

à completa degradação, com a geração de produtos como CO_2 e H_2O.

Os radicais gerados durante o processo mostram pouca seletividade de ataque, sendo assim capazes de oxidar uma variedade de compostos orgânicos, decorrentes de sua alta capacidade oxidativa (potencial de redução do radical hidroxila $OH^{\cdot}$ (E^{o} = 2,8 V) (EVGENIDOU et al. 2005. AGUSTINA et al. 2005). A versatilidade dos POAs também é reforçada pelo fato de que eles podem oferecer diferentes formas possíveis de produção desses radicais, e assim permitir um melhor cumprimento dos requisitos específicos de cada tipo de tratament (WANG et al. 2005).

A tecnologia de oxidação fotocatalítica pode utilizar semicondutores fotoativados para degradar os baixos níveis de contaminantes no ar e na água. O papel de óxidos é essencial na remoção fotocatalítica e degradação de poluentes orgânicos, pois eles apresentam algumas vantagens sobre outros materiais, como por exemplo, seu baixo preço, simples preparação, estabilidade fotoquímica e alta segurança ao meio ambiente (KONG et al. 2009).

O óxido de zinco (ZnO) é considerado um semicondutor por ter *bandgap* semelhante ao TiO_2. No entanto, a maior vantagem de ZnO em comparação ao dióxido de titânio é que este absorve mais de uma fração do espectro UV e o correspondente limiar do ZnO é 425 nm (DANESHVAR et al. (2007), (SILVA, 2015; SAKTHIVEL et al. 2003; CHAKRABARTI; DUTTA, 2004; HUANG et al. 2008. Algumas pesquisas têm destacado o desempenho de ZnO sobre a degradação de alguns compostos orgânicos (SAKTHIVEL et al. 2003). Neste sentido nanomateriais de ZnO apresentam eficiência fotocatalítica próxima a do TiO_2, e, por isto, apresentam-se como uma alternativa para o uso em oxidação de corantes, contaminantes e águas residuais (SAKTHIVEL et al. 2003).

Materiais utilizando Zn^{2+} tem se apresentado como fotocatalisadores mais eficientes sobre desintoxicação de água devido a geração de $OH^{\cdot}$ de forma mais eficiente (SAKTHIVEL et al. 2003, CHAKRABARTI; DUTTA, 2004). Além disso, o ZnO já provou ser mais eficiente do que o TiO_2 na fotodegradação de pesticidas e herbicidas (NAVARRO et al. 2009). Sua maior eficiência em relação ao uso de TiO_2 tem sido relatada na oxidação fotocatalítica e branqueamento de águas residuais em fábrica de celulose, (DEVIPRIYA; YESODHARAN, 2005), 2,4,6-triclorofenol e 4-clorofenol (HUANG et al. 2008).

Nestas aplicações em potencial, a estabilidade do ZnO é vital. O ZnO pode sofrer corrosão sob condições eletroquímicas, em meios ácidos e sob luz UV (PARIDA et al. 2006). Estudos relatam uma deterioração gradual da produção de H_2 em uma suspensão ZnO/água irradiadas por luz ultravioleta. Apesar de não ser provado de forma inequívoca, alguns autores (AHMED et al. 2010) suspeitaram que a diminuição da eficiência do sistema pudesse ter ocorrido em função da fotodissolução do ZnO sob luz UV. O aparecimento de bandas intensas correspondentes a vibrações v-OH^{-} foi observado no espectro infravermelho, sugerindo a Equação 2 abaixo (TANAKA et al. 2010):

$$(2)\ ZnO + 2H_2O + 2h^+ \longrightarrow Zn(OH)_2 + 1/2O_2 + 2H^+$$

O modelo eletroquímico para a dissolução ZnO em função do pH são sugeridos de acordo com as Equações 3 e 4 (Tanaka et al. (2010):

$$(3)\ ZnO + 2H^+ \longrightarrow Zn^{2+} + H_2O \quad \text{dissolução em pH ácido}$$

$$(4)\ ZnO + h^+ + H^+ \longrightarrow 1/2H_2O_2 + Zn^{2+} \quad \text{fotocorrosão (365nm)}$$

É bem conhecido que a incorporação de elementos fotoativos em peneiras moleculares podem apresentar uma alta atividade fotocatalítica decorrente do estado de alta dispersão dessas espécies. Geralmente, as atividades fotocatalíticas de peneiras moleculares com elementos metálicos de transição incorporados podem ser reforçadas pela alta dispersão dos sítios fotoativos na rede de peneiras moleculares e uma separação efetiva de elétrons e lacunas. Em experimentos isolados, foi relatado que a clivagem de H_2O em elementos fotoativos (como Zr ou Ti) incorporados na rede da zeólita MCM-41 apresentou alta eficiência, com um aumento em mais de 80 vezes, se comparado com o ZrO_2 (MILLER; WILKINS, 1952).

Com base nesses relatos, a substituição isomórfica em aluminofosfatos utilizando íon Zn^{2+} parece ser uma boa alternativa para aumentar a eficiência desse semicondutor para degradação de corantes.

A flexibilidade da rede de aluminofosfatos oferece grandes possibilidades de incorporação de metais de transição como Mg, Si, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Cu, Co, Zn com tamanho e coordenação similares nas estruturas microporosas de aluminofosfatos. Tal modificação muitas vezes leva à geração de sítios com propriedades ácidas e/ou redox, que são de considerável interesse para diversas aplicações em catálise e fotocatálise (RISTIĆ et al. 2002; YANG et al. 2007).

Os aluminofosfatos (AlPO-n) são uma família de materiais cristalinos microporosos. A principal desvantagem do AlPO-n é sua rede neutra e, portanto, a ausência de sítios ácidos fortes (YANG et al. 2007).

A rede neutra de AlPOs é formada em seus vértices pelo compartilhamento de espécies AlO4 e PO4 dispostos em unidades tetraédricas nas quais a substituição de Si (IV) por P (V) produz cargas negativas nos oxigênios que estão equilibrados por prótons. A acidez de Bronsted pode ser produzida pela substituição em metal-aluminofosfatos (MeAPOs).

A possibilidade de substituir Al e/ou P, por outros elementos (Si, Mg, Mn, Co, Zn, etc) permite a formação de materiais com características especiais como SAPO-n, MeAPO e MeAPSO-n. Assim, cargas negativas são formadas e, muitas vezes, equilibrado pelo H^+ para produzir um material com sítios ácidos fortes que é dotado de habilidade para a catálise e fotocatálise (YANG et al. 2007).

É neste contexto que se insere o presente trabalho, cujo objetivo principal consistiu

em avaliar a utilização de um processo de fotocatálise heterogênea, usando Aluminofosfato de Zinco, na remoção da cor do corante azul de metileno.

1.3 Processo sol-gel

Materiais como óxidos metálicos e óxidos mistos apresentam uma grande importância na área da catálise e fotocatálise heterogênea, por servirem como catalisadores ou como suportes para outras espécies cataliticamente ativas (nanopartículas metálicas, óxidos, compostos organometálicos, enzimas, etc). Óxidos são selecionados por sua estabilidade térmica, química e resistência mecânica, ao serem usados como suporte e também para atividades intrínsecas (ácidos, básicos, redox), quando empregados como catalisadores (COJOCARIU et al. 2010; BARBOSA et al. 2001).

No caso de óxidos mistos, as propriedades catalíticas não variam linearmente com a composição média, e são fortemente dependentes do nível de homogeneidade. Neste contexto, não é de estranhar que o processo sol-gel, baseado na formação de pontes oxo por hidrólise e policondensação de precursores moleculares, é tão importante no sucesso da elaboração e aplicação desses materials em catálise e fotocatálise (COJOCARIU et al. 2010; SILVA, 2015). De fato, a química do processo sol-gel pode oferecer várias vantagens, entre elas: (i) elevado grau de pureza dos materiais, (ii) controle preciso da composição, da estrutura e de homogeneidade em nível molecular e (iii) controle da textura.

A formação de ligações oxo a baixa temperatura de condensação de precursores moleculares ocupa um lugar significativo na química de materiais como uma forma versátil de sintetizar óxidos e materiais híbridos orgânico-inorgânicos, seja por processos de polimerização (precipitação e métodos sol-gel, associados ou não a tratamentos hidrotérmicos) ou por modificação da superfície de substratos inorgânicos (COJOCARIU et al. 2010).

Nas últimas duas décadas, várias alternativas foram propostas para alteração das rotas do processo sol-gel, em que as ligações oxo originassem a partir de outros doadores de oxigênio que não a água (por exemplo, alcóxidos, éter ou álcool), surgindo assim o termo “sol-gel não-hidrolítico”, proposto por Vioux e colaboradores em 1994 (ACOSTA et al. 1994).

Em muitos casos, a formação de pontes oxo ocorre a baixas temperaturas em meio aquoso ou aquo-orgânico. Na verdade, a formação de ligações oxo envolve sucessivas reações de hidrólise e condensação que ocorrem de forma separada, ou em uma série de etapas, que resultam em diferentes processos de crescimento e nucleação. Somado a isso, as taxas de reação que envolve hidrólise e condensação são, muitas vezes, demasiadamente rápidas, especialmente com a utilização de precursores metálicos, o que cria uma série de dificuldades para o controle e repetibilidade dos processos. Esta pode ser uma grande desvantagem de se empregar baixas temperaturas em processos nos quais pequenas mudanças nos parâmetros físico-químicos podem resultar em mudanças

drásticas na estrutura, textura e na morfologia final desses materiais (DEBECKER; MUTIN, 2012).

O desejo de explorar alternativas para reações a baixas temperaturas levou a um aumento do interesse pelos processos que ocorressem na ausência de água (não hidrolítico) (COJOCARIU et al. 2010; DEBECKER; MUTIN, 2012). Na rota não hidrolítica, prepara-se óxidos e materiais híbridos orgânico-inorgânicos com base em reações não hidrolíticas (NH) de condensação, isto é, reações de condensação em que ligações oxo originam-se de oxigênio de outros doadores que não seja a água [78, 80, 83, 98, 99]. (DEBECKER; MUTIN, 2012; COJOCARIU et al. 2010). Condensações NH podem ser realizadas utilizando soluções orgânicas como solventes ou em meios incomuns como polímeros, líquidos iônicos, fluidos supercríticos, bem como na fase gasosa (MUTIN; VIOUX, 2009; BARBOSA et al. 2001; DEBECKER; MUTIN, 2012).

Reações de condensação que não envolva qualquer grupo hidroxila, ou seja, apróticos são consideradas estritamente NH. Assim, as reações que envolvem grupos hidroxila devido à formação de água por condensação M-OH, são impedidas pela cinética. Reações que envolvem a geração *in situ* de água não podem ser consideradas como estritamente NH (MUTIN; VIOUX, 2009; BARBOSA et al. 2001; DEBECKER; MUTIN, 2012).

Processos não hidrolíticos são classificados de acordo com a natureza do precursor metálico (alcóxido, haleto, acetilacetonato etc), a natureza do doador de oxigênio (alcóxido, álcool, éter, etc) ou a natureza da molécula predominante eliminada (haleto de alquila, éster, éter, etc.) A classificação parece ser mais informativa sobre o processo quando associada a um caminho específico de reação NH, apesar de várias moléculas serem liberadas em um processo, em relação às reações sucessivas ou competitivas. Neste sentido, o que se tem é uma visão geral, sendo as principais: baixa temperatura, reações de condensação apróticas e reações de hidroxilação NH (MUTIN; VIOUX, 2009; BARBOSA et al. 2001; DEBECKER; MUTIN, 2012).

As rotas utillizadas para obtenção de materiais por processo sol-gel não hidrolítico para preparação materiais aplicados em catálise são baseadas na reação de precursores de cloreto metálico com éter, alcóxido ou álcool como doadores de oxigênio, acompanhada da eliminação de cloreto de alquila. A reação entre um cloreto e um alcóxido metálicos ("rota alcóxido") leva diretamente à formação de ligações oxo, com eliminação de cloreto de alquila, assim representado na Equação 5:

$$(5) \quad \text{M-Cl} + \text{M-O-R} \longrightarrow \text{M-O-M} + \text{R-Cl}$$

No caso dos metais e metais de transição, esta reação não-hidrolítica de condensação ocorre em baixa temperatura (80-150 ˚C) com grupos R primários ou secundários simples. As taxas de reação são, portanto muito inferiores ao processo sol-gel convencional. A reatividade é ainda menor quando se utiliza silício e catálise por ácidos de Lewis como $FeCl_3$ ou $AlCl_3$, tercbutil ou grupos que podem também ser utilizados com sucesso (MUTIN;

VIOUX, 2009; DEBECKER; MUTIN, 2012; LAFOND et al. 2002).

Em todos os casos, deve-se ter em mente que as reações iniciais que ocorrem quando cloreto e os precursores alcóxidos são misturados, funcionam como ligantes de troca (ou redistribuição) e levam a reações de uma mistura de cloroalcóxidos, que são assim os verdadeiros precursores neste processo de condensação não-hidrolítica (MUTIN; VIOUX, 2009; DEBECKER; MUTIN, 2012). Na "rota éter", formação de ligações oxo levam inicialmente à formação *in-situ* de grupos alcóxido, Equação 6, por reação de grupos cloretos com éter orgânico (muitas vezes éter diisopropilico, iPr_2O).

$$(6)\quad \text{M-Cl} + \text{ROR} \longrightarrow \text{M-OR} + \text{R-Cl}$$

As rotas éter e alcóxido são as mais empregadas para a preparação de uma ampla variedade de óxidos metálicos, ao mesmo tempo em que têm se revelado particularmente úteis para a síntese de óxidos mistos com um excelente controle sobre a sua homogeneidade e sua textura (MUTIN; VIOUX, 2009). Na rota em que se emprega álcool como doador de oxigênio, as reações envolvidas dependem da natureza do mesmo. Álcoois primários e secundários levam à formação *in situ* de grupos alcóxidos, Equação 7, que reagem em uma segunda etapa com grupos de cloreto, conforme a Equação 5:

$$(7)\quad \text{M-Cl} + \text{ROH} \longrightarrow \text{M-OR} + \text{HCl}$$

Álcoois terciários e benzílicos levam também à formação *in situ* de grupos hidroxila, Equação 6, que reagem em uma segunda etapa com grupos cloreto, Equação 8. Além disso, o HCl liberado (Equação 6 e 8) podem catalisar reações secundárias, e direcionam a caminhos complexos (MUTIN; VIOUX, 2009).

$$(8)\quad \text{M-Cl} + \text{ROH} \longrightarrow \text{M-OH} + \text{R-Cl}$$

$$(8)\quad \text{M-Cl} + \text{MOH} \longrightarrow \text{M-OM} + \text{H-Cl}$$

A rota do álcool tem sido muito menos investigada para a preparação de óxidos e óxidos mistos do que as rotas éter e alcóxido [78, 83, 101, 102]. (MUTIN; VIOUX, 2009; DEBECKER; MUTIN, 2012; MUTIN et al. 2006). No entanto, na reação de precursores cloreto em 40-175 ˚C, o álcool benzílico é utilizado como solvente, doador de oxigênio e agente de nivelamento ("rota do álcool benzílico") e tem demonstrado ser altamente eficiente para a síntese de nanopartículas de óxidos cristalinos.

Segundo Orsini e Vincenzo Tricoli, o mecanismo pelo qual se utiliza alcoóis lineares, a exemplo do etanol como doador de oxigênio consiste na coordenação do átomo de oxigênio ao alumínio do cloreto de alumínio, com a formação de um complexo intermediário e eliminação de ácido clorídrico.

O íon H^+ do complexo intermediário atua como um bom grupo abandonador, o que facilita a formação do alcóoxido de alumínio. A formação da rede de alumina ocorre pela reação de condensação entre o alcóxido produzido e os grupos haletos. O haleto de alquila é formado via substituição nucleofílica no centro do carbono do alcóxido. Portanto, o uso

de alcoóis primários é uma boa alternativa à rota éter uma vez que o HCl eliminado poderia atuar como catalisador de reações secundárias, levando a um aumento de grupos OH residuais no meio.

Esta rota foi mais tarde extendida a outros precursores, como alcóxidos metálicos ou acetilacetonatos. Temperaturas mais elevadas nesses casos (entre 200 e 250 ˚C) são então necessárias. As reações envolvidas dependem da natureza do precursor e podem envolver a eliminação de dibenzileter ou complicadas reações de formação de ligação C-C com a eliminação do 4-fenil-2-butanol ou 1,2 difeniletanol.

A condensação entre carboxilatos metálicos $M(OCOR)_x$ e alcóxidos metálicos $M(OR')_y$, Equação 9, em solventes apróticos apolares, também podem levar diretamente à formação de pontes oxo e a sua utilização numa proposta como rota sol-gel para obtenção óxidos metalicos mistos.

$$(9)\quad M\text{-}OCOR^{2} + M\text{-}OR^{1} \longrightarrow M\text{-}O\text{-}M + R^{2}COOR^{1}$$

A reação de precursores alcóxidos com ácidos carboxílicos não é considerada estritamente não-hidrolítica, uma vez que água pode ser gerada *in situ* por meio da reação do ácido com o álcool, formando em um primeiro passo a troca de grupos carboxilato e alcóxi, de acordo com as Equações 10 e 11.

$$(10)\quad M(OR^{1})_n + R^{2}COOH \longrightarrow M(OR^{1})_{n-1}(OCOR^{2}) + R^{1}OH$$

$$(11)\quad R^{1}OH + R^{2}COOH \longrightarrow R^{1}OCOR^{2} + H_2O$$

Dessa forma, o ácido fórmico ou ácido acético é utilizado com sucesso para a síntese de sílica e materiais híbridos. A reação de precursores alcóxidos com ácidos carboxílicos é particularmente interessante para a síntese utilizando o processo sol-gel em meios incomuns (MUTIN; VIOUX, 2009; DEBECKER; MUTIN, 2012).

Por outro lado, a reação de alcóxidos metálicos ou de silício com anidrido ácido, Equação 12, leva à formação *in situ* de grupos carboxilato, que podem condensar com grupos alcóxidos, Equação 9, proporcionando uma verdadeira rota sol-gel não hidrolítica (DEBECKER; MUTIN, 2012).

$$(12)\quad M(OR^{1})_n + (R^{2}CO)_2O \longrightarrow M(OR^{1})_{n-1}(OCOR^{2}) + R^{2}COOR^{1}$$

As reações que empregam a rota NH podem ser realizadas em tubos selados, a temperaturas maiores ou igual a 110 ˚C, mas também podem ser conduzidas em frascos normais, à pressão atmosférica (utilizando-se atmosfera de nitrogênio ou argônio). Os tempos de gelação variam de acordo com o doador de oxigênio.

Géis monolíticos de alumina, sílica, titânio entre outros metais de transição e óxidos binários podem ser obtidos pelos processos acima relatados com altos rendimentos. A reação abaixo ilustra a obtenção de alumina por este método.

$$AlX_3 + 3/2\ ROR \Rightarrow AlO_{3/2} + 3\ RX$$

O processo NH assim como o hidrolítico (convencional) emprega temperaturas baixas da ordem de 100 ˚C, porém apresenta a vantagem de levar à formação de materiais híbridos mais homogêneos, além de ser possível por esta metodologia maior reprodutibilidade na obtenção dos materiais em sínteses diversas (MUTIN; VIOUX, 2009; VIOUX, 1997). Outras vantagens que podem ser citadas com este método são:

- Não há necessidade do uso de solventes;
- Pode-se reduzir ou eliminar totalmente a formação de grupos Metal-OH, residuais.

Além disso, por meio do método NH é possível sintetizar materiais com estruturas especiais e propriedades químicas e térmicas não obtidas pela rota hidrolítica. Estas características determinam com grande extensão a propriedade dos produtos finais (filmes, xerogéis, aerogéis e cerâmicas densificadas) (VIOUX, 1997). Em geral, a estabilidade térmica dos materiais, sua estrutura de poros e área superficial são fatores de grande importância na área de (MUTIN; VIOUX, 2009; DEBECKER; MUTIN, 2012; ACOSTA et al. 1994; CORRIU et al. 1992; CORRIU et al. 1992; DE OLIVEIRA et al. 2012).

A rota NH possibilita a preparação de suportes com características bastante peculiares (MUTIN; VIOUX, 2009; DEBECKER; MUTIN, 2012; ACOSTA et al. 1994). Na preparação de catalisadores e fotocatalisadores heterogêneos constituídos de metais de transição e suportados em matrizes poliméricas de aluminas, aluminossilicatos, aluminofosfatos ou de redes poliméricas nas quais estes metais substituem um constituinte da matriz (VIOUX, 1997).

A viabilidade de incorporação em matrizes poliméricas inertes de íons de metais de transição, como o zinco (II), confere a estes suportes atividades catalíticas e fotocatalíticas “redox”, o que possibilita em muitos casos a ativação das propriedades fotocatalíticas de diversos materiais. Outros benefícios apontados na imobilização são: maior controle do meio e condições reacionais, prevenção de envenenamento, aumento da estabilidade, além de possibilitar a reutilização do catalisador fato que minimiza o seu custo e gera menos lixo industrial e maior economia de energia.

2 | OBJETIVOS

Este trabalho teve por objetivo principal desenvolver novos materiais contendo íons zinco (II) incorporados em matrizes de aluminofosfatos, para aplicar em fotocatálise heterogênea. Para tanto, os objetivos específicos foram:

Otimizar metodologia para obtenção de matrizes de aluminofosfatos, utilizando o processo sol-gel NH.

Caracterizar os materiais obtidos mediante as técnicas: espectroscopia vibracional e eletrônica, difração de raios X, termogravimetria e área superficial.

Testar os materiais obtidos em reações de foto-oxidação do corante azul de metileno

Estabelecer relação entre a atividade fotocatalítica dos materiais obtidos e sua estrutura.

3 I MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Preparação zinco em matrizes de aluminofosfato pela rota sol-gel não hidrolítica (NH)

O material foi sintetizado via modificações do método descrito por (CORRIU et al. 1992; BOURGET et al. 1998; LIMA, 2001). Em um balão de duas bocas, colocou-se 9.393 x 10^{-2} mol de cloreto de alumínio ($AlCl_3$), 2,79 mol de éter isopropílico (iPr_20) e 2,674 x 10^{-2} mol cloreto de zinco (II). A mistura permaneceu em refluxo por 4h, a 110 ˚C, sob atmosfera de argônio. O condensador foi adaptado a um banho termostático, conforme ilustrado na Figura 3, e mantido a temperatura de -8 ˚C. Ao sistema reacional, após a verificação da formação de um gel, adicionou-se 1,484 x 10^{-1} mol de H_3PO_4. Após o refluxo, resfriou-se a mistura a temperatura ambiente, deixando-a envelhecer por uma noite em líquido-mãe. O solvente foi eliminado sob vácuo, com o auxílio em rota-evaporador sendo o material lavado posteriormente, com diferentes solventes na seguinte ordem: diclorometano, acetonitrila e metanol. O material recebeu tratamento térmico nas temperaturas de: 260, 400, 750, 1000 ˚C, dando origem às amostras Zn-$AlPO_4$, seguido de suas respectivas temperaturas de tratamento térmico.

O material denominado controle da reação (branco) foi conduzido nas mesmas condições, porém sem a presença do cloreto de zinco (II) $ZnCl_2$. Após o processo de envelhecimento e retirada do solvente, tratou-se o branco às mesmas temperaturas, ou seja, 260, 400, 750 e 1000 ˚C, dando origem ao material denominado $AlPO_4$.

3.2 Reações de fotocatálise

As reações de fotocatálise foram conduzidas em uma câmara fechada, conforme demonstrado na Figura 3, contendo uma lâmpada de potência 95 Watts que emite radiação UV-C de ondas curtas, com um pico de 253,7 nm e com ação germicida.

Esta câmara para fotoreação foi projetada com base em outros modelos descritos na literatura, propiciando assim a obtenção de um equipamento necessário para a condução das reações de fotodecomposição de maneira simples e custo reduzido. A lâmpada é envolvida em um tubo de quartzo, permitindo que a mesma possa ser utilizada diretamente dentro da solução contendo a substância a ser degradada.

Figura 3: Câmara para reações de fotocatálise.

Fonte: Os autores

3.3 Caracterizações

Os espectros eletrônicos foram obtidos em um espectrofotômetro Hewlett-Packard 8453, Diode Array, acoplado a um microcomputador HP KAYAK- XA e respectivo programa.

Os resultados da análise termogravimétrica e análise térmica diferencial (TG/DTA) foram obtidos em um aparelho de análise térmica TA Instruments- SDT Q600 -Simultaneous DTA-TGA utilizando um gradiente de temperatura entre a temperatura ambiente 25˚C até 1000˚C, em uma velocidade de 20˚C por minuto, com o fluxo de ar a 100 ml/ min.

Os difratogramas de raios X das amostras foram medidos à temperatura ambiente com um equipamento MiniFlex II DESKTOP X-ray DIFFRACTOMETER (RIGAKU) utilizando a radiação CuKα (λ = 1,54 Å). O passo empregado foi de 0,04 º/s e intervalo angular entre 17 - 80º (2θ).

As áreas superficiais foram determinadas por meio da análise das isotermas de adsorção de nitrogênio de acordo com o método BET [35], utilizando um analisador de adsorção física (MICROMETRICS ASAP 2020).

As análises dos materiais por espectroscopia no infravermelho foram realizadas no Departamento de Química da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto/ Universidade de São Paulo Laboratório de Inorgânica e Materiais sob a responsabilidade do Prof. Dr. Herenilton Paulino Oliveira em um espectrômetro infravermelho por transformada de Fourier ABB Bomem, modelo ME 100, em pastilhas prensadas de KBr, preparadas a partir de misturas a 2% das amostras em KBr. Os espectros foram obtidos com 20 varreduras, de 4000 a 400 cm^{-1}.

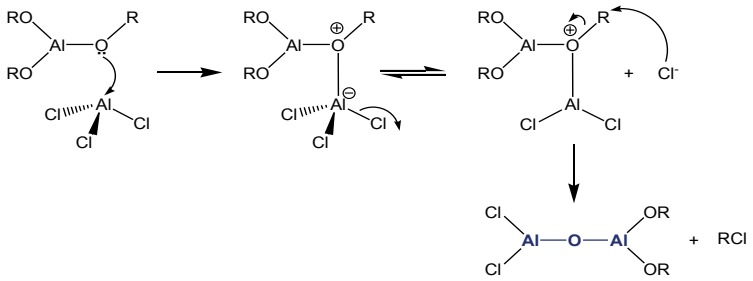
4 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Síntese dos materiais pelo processo sol-gel

O Zn^{2+} foi inserido em matriz de aluminofosfato pelo processo sol-gel via rota não

hidrolítica, segundo adaptações à metodologia descrita por Corriu, gerando um gel não hidrolítico (NH).

O método é baseado na condensação do haleto de alumínio com o éter isopropílico, por meio da clivagem da ligação O-R e da formação do haleto de alquila, Esquema 1. O gel contendo o Zn^{2+} foi preparado pela reação na proporção de 1:1,5 mols de cloreto de alumínio para éter isopropílico, em presença de $ZnCl_2$. A reação foi realizada em meio totalmente anidro e em atmosfera de argônio.



Esquema 1: Mecanismo básico da condensação.

Fonte: VIOUX, 1997

O aquecimento da solução na presença do complexo leva à formação da matriz de aluminofosfato contendo zinco, como comprovado em análise por espectroscopia no infravermelho e difratogramas de raios X.

O refluxo é mantido após a gelação, levando à precipitação do Zn-$AlPO_4$ na forma de um sólido. É importante o contato do sólido com o líquido-mãe durante o envelhecimento do gel, pois observou-se em experimentos realizados por nosso grupo que tempos mais longos de envelhecimento levaram a maiores rendimentos e maior ancoragem de íons metálicos na matriz. Até este estágio, a rede é flexível e reações adicionais de condensação e formação de novas ligações cruzadas ocorrem durante o envelhecimento no líquido mãe e durante a remoção lenta do solvente. Este estágio é de grande importância para consolidar as redes de aluminofosfato, as novas ligações formadas ajudam a conter o zinco no interior da rede de aluminofosfato.

Após a precipitação do material sólido e remoção de solventes foi realizado um tratamento térmico dos materiais nas seguintes temperaturas: 260, 400, 750 e 1000 °C escohidas com base em trabalhos anteriores do grupo (DE LIMA, 2001).

4.2 Análises térmicas

As Figuras 5 e 6 apresentam as curvas termogravimétricas (TG/DTG e DTA) das amostras de aluminofosfatos sintetizadas com e sem a presença do íon Zn^{2+}

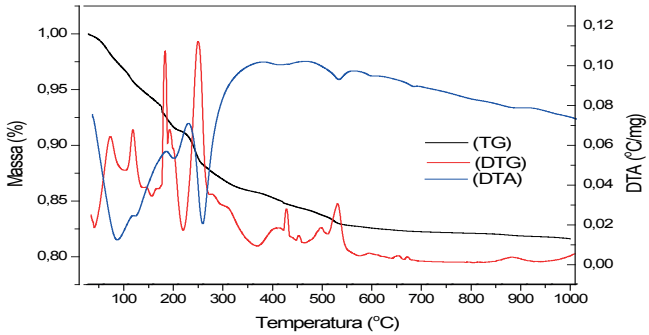


Figura 5: TG e DTA do $AlPO_4$ em atmosfera oxidante à velocidade de aquecimento de 20 ˚C/min.

Fonte: Os autores

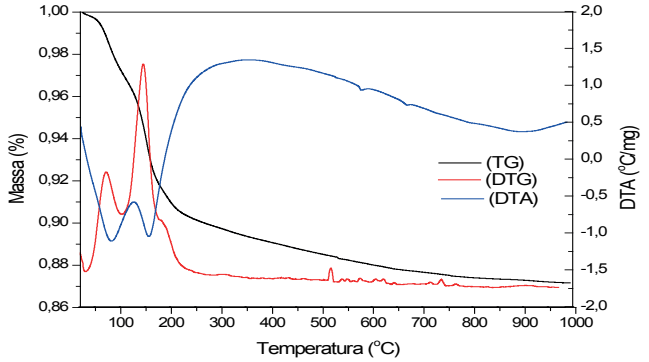


Figura 6: TG e DTA do Zn-$AlPO_4$ em atmosfera oxidante à velocidade de aquecimento de 20 ˚C/min.

Fonte: Os autores

Para a amostra $AlPO_4$, Figura 5, foi observado sucessivas perdas de massa desde o início de seu aquecimento 25 até 200 ˚C, provenientes de materiais voláteis e moléculas de água adsorvidas do ambiente, pois os materiais foram tratados até 260 ˚C para a eliminação total de líquidos retidos no mesmo após síntese, o que leva a conclusão de que essas perdas só poderiam ter origem nessas fontes. Esse fato já foi observado por nosso grupo para matrizes de alumina preparadas pela mesma rota (DE LIMA, 2001).

As perdas ocorridas a partir de 200 ˚C, em torno de 12 %, são atribuídas à eliminação de grupos residuais haletos de alquila, provenientes dos precursores de partida utilizados na síntese do material. Verificamos também a existência de picos endotérmicos com pequena perda de massa na curva DTA, nas temperaturas 523, 589, 671 e 870 ˚C, em que revelam que o material sofre sucessivos arranjos e rearranjos estruturais com o aumento de temperatura. Esses resultados serão comprovados pelos difratogramas de raios X, na qual a estrutura do material obtido é altamente dependente da temperatura empregada devido ao seu caráter cristalino.

A análise dos materiais contendo Zn^{2+}, Figura 6, revelou que entre 63 e 200 ˚C houve perda de moléculas de água fracamente ligadas ou adsorvidas nos complexos (8,0% de massa). Essas moléculas de água foram adsorvidas ao material após a sua síntese, já que os materiais com e sem a presença de Zn^{2+} foram aquecidos até 260 ˚C para a completa eliminação de líquidos após a síntese.

Observou-se também perda de massa entre 200 e 600 ˚C, corresponde à pirólise e oxidação de grupos residuais haletos de alquilas (KITULAGODAGE et al. 2008). Pode-se também verificar na Figura 6, na curva DTA, a presença de dois picos endotérmicos em 578 e 670 ˚C, região esta, em que não ocorre perda de massa, sendo apenas região de indicação de transição de fase na rede do material, resultado esse que comparado com os dados apresentados pelos difratogramas de raios X e infravermelho, podem ser atribuídos a um aumento da cristalinidade do material e também a alterações nos modos vibracionais das espécies P-O e Al-O.

4.3 Difração de raios X

A identificação das fases presentes nos materiais obtidos com e sem a presença de Zn^{2+}, Figuras 7 e 8, foram realizadas comparando a posição dos picos e planos de difração, e sua intensidade com as correspondentes fichas da National Bureau Standards (NBSCAA-00-010-0423) para compostos cristalinos puros.

Nos difratogramas de raios X das matrizes preparadas são observadas para os materiais sem a presença de Zn^{2+}, Figura 7, a prevalência de uma fase com estrutura hexagonal do tipo Berlinita (2q = 26,43º e 54,34º) com planos de difração típicos para essa fase (1,0,2) e (2,0,4) (NBSCAA-00-010-0423). A existência de planos em (1,0,0), (1,1,0) e (2,0,0) em ângulos maiores podem indicar a presença de uma fase hexagonal do tipo wurtzita, o que leva a considerar a existência de um material policristalino.

O $AlPO_4$, estrutura Berlinita, possui a mesma estrutura atômica do quartzo, obtidos por meio da substituição de átomos de Si com átomos de Al e P, alternadamente (TANAKA et al. 2010).

Considerando as amostras tratadas a diferentes temperaturas, as etapas de extração do solvente do meio reacional após a síntese e a calcinação dos materiais alteram significativamente seus padrões de difração. As presenças desses planos indicam também a presença da fase wurtzita que pode levar à formação de distâncias interplanares variadas (TANAKA et al. 2010).

Na Tabela 2 estão relacionados os picos obtidos para amostras obtidas com diferentes tratamentos térmicos, assim como os planos hkl e a sua intensidade relativa.

Amostras	Sinal em graus 2θ	Hkl	Intensidade relativa
$AlPO_4$-260 °C	20,74-26,43-36,33-42,19-54,34	(1,0,0)(1,0,2)(1,1,0)(2,0,0)(2,0,4)	25-100-12-10-8
$AlPO_4$-400 °C	20,74-26,43-36,33-42,19-54,34	(1,0,0)(1,0,2)(1,1,0)(2,0,0)(2,0,4)	25-100-12-10-8
$AlPO_4$-750 °C	20,74-26,43-36,33-42,19-54,34	(1,0,0)(1,0,2)(1,1,0)(2,0,0)(2,0,4)	25-100-12-10-8
$AlPO_4$-1000 °C	20,74-21,81-26,00-35,89-52,54	(1,0,0)(1,0,1)(1,0,2)(1,1,0)(2,0,4)	25-100-12-10-8

Tabela 2: Planos de difração para as amostras $AlPO_4$ (NBSCAA-00-010-0423).

Fonte: Os autores

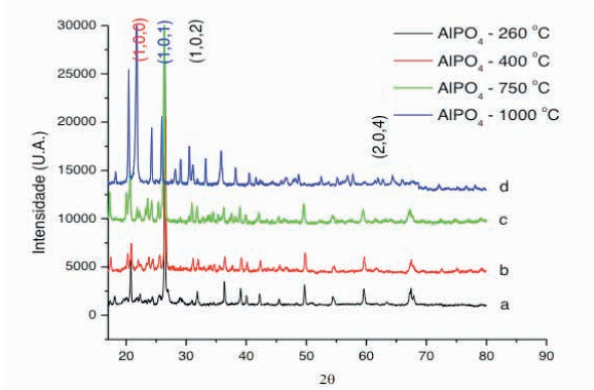


Figura 7: Difratogramas de raios X dos pós dos materiais $AlPO_4$ tratados a : (a) 260, (b) 400, (c) 750 e (d) 1000 ˚C.

Fonte: Os autores

Podemos constatar, de acordo com a Tabela 2 e Figura 7, que para as amostras $AlPO_4$ os planos de difração se repetem nas temperaturas de tratamento térmico 260, 400 e 750 ˚C, com prevalência da fase Berlinita. Para a amostra tratada a 1000 ˚C, observamos a presença da fase Berlinita, porém há também a existência de outra fase não identificada, atribuída a defeitos estruturais do material.

Nos difratogramas das amostras Zn-$AlPO_4$ tratados a 260 e 400 ˚C, notamos na Figura 8 e Tabela 3, a existência da fase predominante Berlinita - sistema hexagonal. Para os materiais tratados a 750 e 1000 ˚C, observa-se uma mudança nos planos de difração indicando da formação de configurações diferentes em relação aos outros materiais. Na amostra tratada a 750 ˚C, temos uma fase trigonal atribuída à formação da molécula $AlZnP_2O_8$ (ACHSE7-00-052-1506) e para o material tratado a 1000 ˚C, uma fase ortorômbica atribuída à formação de $AlPO_4$.

Amostras	Sinal em graus 2θ	Hkl	Intensidade relativa
$ZnAlPO_4$-260 °C	20,74-26,43-36,33-42,19-54,34	(1,0,0)(1,0,2)(1,1,0)(2,0,0)(2,0,4)	25-100-12-10-8
$ZnAlPO_4$-400 °C	20,74-26,43-36,33-42,19-54,34	(1,0,0)(1,0,2)(1,1,0)(2,0,0)(2,0,4)	25-100-12-10-8
$ZnAlPO_4$-750 °C	20,74-26,43-36,33-42,19-54,34	(1,0,0)(1,0,2)(1,1,0)(2,0,0)(2,0,4)	25-100-12-10-8
$ZNAlPO_4$-1000°C	21,76-28,16-35,99-44,36	(1,1,1)(2,0,1)(0,2,2)(2,2,2)	100-9.3-3.6-1.8

Tabela 3: Planos de difração para as amostras $ZnAlPO_4$ (NBSCAA-00-010-0423) (ACHSE7-00-052-1506) (ACCRA9-01-072-1161)

Fonte: Os autores

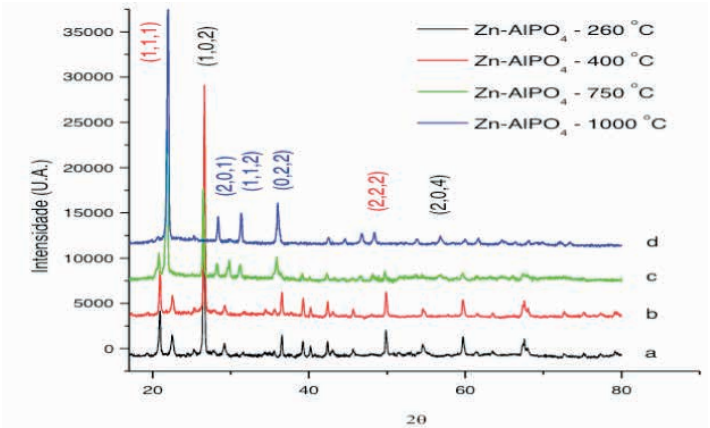


Figura 8: Difratogramas de raios X dos pós dos materiais Zn-$AlPO_4$ tratados a (a) 260, (b) 400, (c) 750 e (d) 1000 °C

Fonte: Os autores

4.4 Espectroscopia vibracional no infravermelho (IV)

A espectroscopia vibracional fornece várias informações sobre a estrutura dos materiais. No caso de estruturas de materiais moleculares-iônicos (silicatos, fosfatos, boratos, etc), a interpretação dos resultados se torna muito difícil devido à influência do campo cristalino, as interações pontuais na rede e a alteração dos movimentos de translação e vibrações adicionais nas rotações em um cristal (HANDKE et al. 1999).

Embora cada estrutura zeolítica apresente um espectro típico, existem características espectrais comuns entre as zeólitas, silicatos e peneiras moleculares contendo o mesmo tipo de subunidades estruturais, tais como anéis duplos, grupamentos poliédricos de tetraedros, cavidades e aberturas de poros. As bandas observadas são classificadas em grupos: (i) vibrações internas dos tetraedros TO_4, que são insensíveis às modificações estruturais e (ii) vibrações externas, relacionadas principalmente às ligações entre tetraedros, as quais são sensíveis à topologia estrutural e a às ligações entre tetraedros, formando SBU's (do inglês

Secondary Building Units: unidades secundárias de construção) que vibram de maneiras distintas e são específicas de cada subunidade. Estas bandas tornam-se referência para a comprovação da formação de estruturas constituídas por estas SBU´s.

Na Tabela 4 estão resumidos os sinais obtidos e suas atribuições para os materiais $AlPO_4$.

Sinal (cm^{-1})	Atribuição	Modo vibracional
3800 – 3200	O-H (associado)	Deformação axial
3200 – 2500	O-H (quelato)	Deformação axial
1250 – 1150	T-O (TO_4)	Estiramento assimétrico- TI
1050 – 850	T-O (TO_4)	Estiramento simétrico- TE
820 – 750	O-P-O (PO_4)	Deformação angular
720 – 650	O-T-O (Al, Zn)O_4)	Deformação angular
650 – 400	O-Zn-O, O-Al-O	Deformação angular

TI – Vibração das ligações internas aos tetraedros

TE- Vibrações das ligações externas aos tetraedros

Tabela 4: Atribuição das bandas dos espectros infravermelhos para aluminofosfatos $AlPO_4$.

Fonte: Os autores

As Figuras 9 a 12 mostram a variação nos espectros de infravermelho que acompanham a transição de fases sob aquecimento, como já verificados nas análises de raios X e análises térmicas.

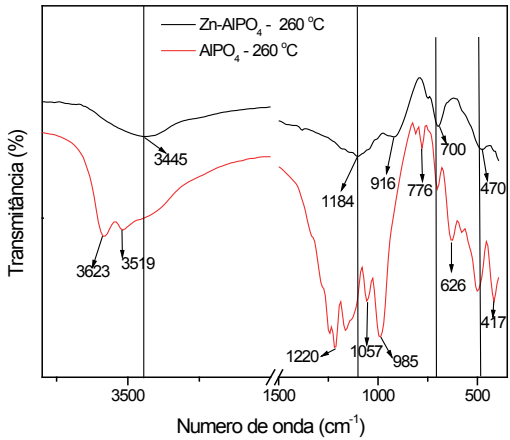


Figura 9: Espectros de infravermelho (IV) das amostras Zn-$AlPO_4$ e $AlPO_4$ tratadas a 260 ˚C.

Fonte: Os autores

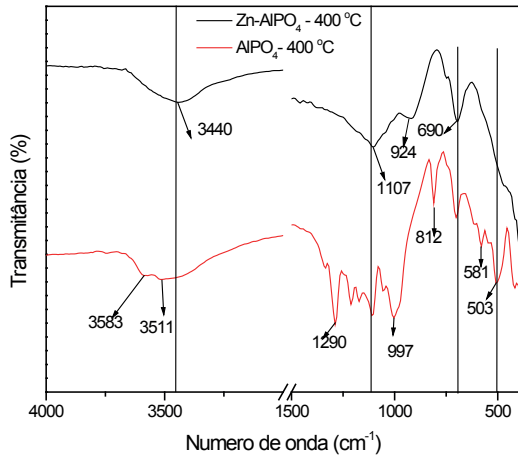


Figura 10: Espectros de infravermelho (IV) das amostras Zn-$AlPO_4$ e $AlPO_4$ tratadas a 400 ˚C.

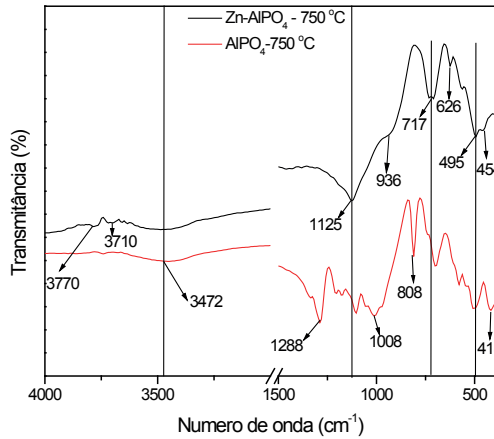


Figura 11: Espectros de infravermelho (IV) das amostras Zn-$AlPO_4$ e $AlPO_4$ tratadas a 750 ˚C.

Fonte: Os autores

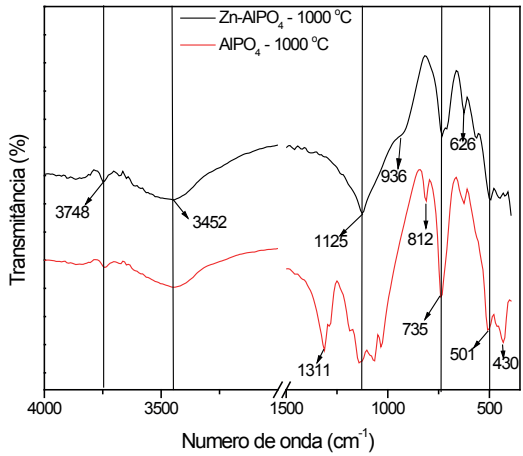


Figura 12: Espectros de infravermelho (IV) das amostras Zn-$AlPO_4$ e $AlPO_4$ tratadas a 1000 ˚C.

Fonte: Os autores

A presença de uma banda larga na região de 3650-2900 cm^{-1}, centrada em 3500 cm-1, pode ser evidenciada em todas as análises obtidas dos materiais, com e sem a presença do íon Zn^{2+}. Esta banda é atribuida por diversos autores às vibrações dos grupos hidroxila da superfície do fósforo livre e perturbado por uma ponte de hidrogênio da banda superficial do grupo hidroxila.

As vibrações das hidroxilas são observadas entre 3000 e 4000 cm^{-1} e permitem a detecção de diferentes tipos de grupos OH como, por exemplo, Al-OH, P-OH e Zn-OH resultantes de defeitos nos cristais e de hidroxilas "ponte", que causam acidez de Bronsted (YANG et al. 2007; G. LISCHKE a, B. PARLITZ u, U. LOHSE u, E. SCHREIER b, 1998). Desta maneira, é possível verificar o tipo de incorporação do metal nos MeAlPO e MeSAPO, isto é, se o metal substitui isomorficamente Al, P ou Si ou se ocorre apenas troca iônica. A substituição isomórfica resulta da formação de novos grupos OH ligando o metal a outro íon tetraédrico na estrutura da zeólita ou da peneira molecular. Ao contrário, na troca iônica, as vibrações estruturais típicas não são alteradas. Podemos então afirmar que houve a substituição isomórfica para os materiais sintetizados.

Observa-se também que os materiais em presença ou ausência de zinco na matriz, tratados a diferentes temperaturas, possuem vibrações (n-OH) de 3445 até 3500 cm^{-1} características de grupos OH, que podem ser provenientes de água fisissorvida na pastilha de KBr ou mesmo no material após exposição ao ambiente depois de sofrer tratamento térmico, sendo que a presença de água devido ao manuseio do material já ter sido constatada pela termogravimetria. As bandas observadas em 3583, 3623, 3710 e 3748 cm^{-1} são atribuídas à presença de grupos terminais -Al-OH, -P-OH. Para os materiais contendo

zinco, o mesmo também pode apresentar interações do tipo -P-OH + $Zn(OH)_2$ (G. LISCHKE a, B. PARLITZ u, U. LOHSE u, E. SCHREIER b, 1998; RISTIĆ et al. 2002; ZIOLLI; JARDIM, 1998).

Sinal (cm^{-1})	Atribuição	Modo vibracional
480 – 560	[Zn-Al-PO_3]	Deformação e flexão das vibrações dos grupos PO_3
1010	v(P-O)	Vibração de valência dos grupos PO_3
1110	v(P-O)	Vibração de valência iônica
1260	P=O	Vibração de valência
1220-1050-870-550	[Zn-Al-PO_4, HPO_4, H_2PO_4] d(P-OH), n_3(P-O), n_1(P-O), n_4(P-O)	Vibrações respectivas
560	δ(O-P-O)	Deformações angulares e externas dos grupos PO3
780	v_s(P-O-P)	Vibração simétrica de valência das pontes P-O-P
1010	v(P-O)	Vibração simétrica de valência
1100-1145	v_{as}(O-P-O)	Vibração assimétrica de valência
580	[Zn-Al-P_3O_{10}] δ(O-P-O)	Deformação angular das vibrações externas dos grupos PO_3
780	P-O-P	Deformação harmônica
900	v_{as}(P-O-P)	Vibração assimétrica de valência
980	v_s(P-O)	Vibração simétrica de valência
1215	v_{as}(O-P-O)	Vibração assimétrica de valência

Tabela 5: Atribuição das bandas dos espectros infravermelhos para os materiais contendo Zn^{2+}.

Fonte: Os autores

Na Tabela 6 são apresentados os resultados por espectroscopia no infravermelho para os materiais contendo zinco na matriz e os resultados referentes aos materiais sem a presença de zinco.

Material	Temp. °C	Bandas cm^{-1}
Zn-$AlPO_4$	260	3445, 1184, 916, 700, 470
$AlPO_4$	260	3623, 3519, 1220, 1057, 985, 776, 626, 470, 417
Zn-$AlPO_4$	400	3440, 1107, 690
$AlPO_4$	400	3583, 3511, 1290, 997, 812, 581, 503
Zn-$AlPO_4$	750	3710, 1125, 717, 626, 495, 454
$AlPO_4$	750	3472, 1288, 1008, 808, 495, 418
Zn-$AlPO_4$	1000	3748, 3452, 1125, 735, 626, 501
$AlPO_4$	1000	3748, 3452, 1311, 1125, 812, 735, 501, 430

Tabela 6: Atribuição das bandas para os materiais contendo zinco nas matrizes de aluminofosfato e do material sem a presença de zinco.

Fonte: Os autores

Os espectros de infravermelho, Figuras 9 a 12, mostram a comparação nas diversas temperaturas de tratamento térmico para os materiais AlPO4 e Zn-AlPO4. Os espectros do AlPO4 apresentaram vibrações características de uma estrutura Berlinita (HANDKE et al. 1999), (as bandas associadas com vibrações da unidade $[PO_4]^{3-}$ (1220, 1096, 504, 468 e 418 cm-1), e aquelas das vibrações da pseudo rede de Al (700, 690, 626, e 580 cm-1), e uma banda (735 cm-1) pode ser atribuída a resultado de defeitos sub-rede de alumínio na Berlinita (RAVETON et al. 2007). Os espectros de Zn-AlPO4 também apresentaram as bandas acima, algumas das quais foram deslocadas para números de onda mais baixos, provavelmente devido à incorporação de Zn na rede de Berlinita (RAVETON et al. 2007). Além disso, duas vibrações adicionais entre 1009 e 936 cm-1 também foram detectados no espectro do Zn-AlPO4 comparada com a de AlPO4. Assim, as bandas em 1009 e 990 cm-1 devem ser causadas pela incorporação de Zn na rede da Berlinita e atribuídas às vibrações de Zn-OP. Vibrações de infravermelho característica de ZnO são observadas apenas na região abaixo de 600 cm-1 e uma banda larga na região 400-550 cm-1 foi relatada na literatura (LIU et al. 2005). Para o material Zn-AlPO4, as bandas nítidas atribuídas a grupos $[PO_4]^{3-}$ foram observadas na faixa de 550 cm-1, fornecendo mais evidências da incorporação de Zn2+ na rede de berlinita (RAVETON et al. 2007). No caso dos materiais obtidos com a presença de Zn^{2+} podemos notar que a substituição isomórfica de Al^{3+} por íons Zn^{2+} é evidenciada pela alteração das vibrações entre 450 cm^{-1} e 1290 cm^{-1}, com uma vibração assimétrica centrada em 1125 cm^{-1} que se acentua com o aumento da temperatura do tratamento térmico, que de acordo com os resultados obtidos pelos difratogramas de raios X pode ser em função da formação de aluminofosfato de zinco $AlZnP_2O_8$.

Estudos produzidos nos últimos anos têm reportado que tanto a atividade como a seletividade dentro de uma série de zeólitas e peneiras moleculares, como os aluminofosfatos, têm sua atividade catalítica em função da acidez total. Além de grupos hidroxila, outros tipos de sítios ácidos (por exemplo, centros de Lewis) contribuem para a acidez de peneiras moleculares (G. LISCHKE a, B. PARLITZ u, U. LOHSE u, E. SCHREIER b, 1998).

4.5 Isotermas de adsorção de nitrogênio e área superficial

A Tabela 7 apresenta os dados relativos às propriedades estruturais dos materiais preparados e tratados a diferentes temperaturas, para esta determinação usou-se o método BET.

Amostras	Área $m^2/g < 1\%$	Volume cm^3/g	Tamanho de poros (nm)
Zn-$AlPO_4$-750 ˚C	0,1	$9,05 \times 10^{-4}$	44
Zn-$AlPO_4$-1000 ˚C	0,2	$2,01 \times 10^{-3}$	49
$AlPO_4$-1000 ˚C	0,3	$7,32 \times 10^{-3}$	12

Tabela 7: Propriedades estruturais dos materiais obtidos e tratados termicamente a diferentes temperaturas.

Fonte: Os autores

Nota-se que o tamanho dos poros é maior para os materiais tratados a 750 e 1000 ˚C contendo zinco na matriz. O aumento da temperatura leva a um rearranjo dos constituintes na rede da matriz, segue-se a isso a eliminação de resíduos orgânicos, produzindo uma estrutura cristalina mais ordenada. Um dos fatos que observamos para os materiais obtidos contendo ou não Zn^{2+}, é que os mesmos apresentam uma área superficial muito baixa em relação aos valores encontrados na literatura para os materiais sintetizados nesse trabalho.

A organização das estruturas de substâncias zeolíticas depende de uma série de fatores relacionada ao método de síntese bem como todos os procedimentos que se seguem após a mesma. O fato de não ter utilizado orientadores moleculares, tempos maiores de envelhecimento e cristalização do gel, como também ter submetido o material a tratamentos térmicos a alta temperatura para eliminação de resíduos líquidos provenientes da síntese, podem ter levado ao colapso dessas estruturas, justificando assim a baixa área superficial e ausência de fenômenos de adsorção do mesmo. A ausência desses fenômenos de adsorção pode ter influenciado os resultados positivamente no caso das reações de fotocatálise.

4.6 Degradação do corante azul de metileno

Os materiais $AlPO_4$ e $ZnAlPO_4$ foram estudados quanto ao seu efeito na fotodegradação do corante azul de metileno. Notamos a partir dos resultados obtidos, que todos os materiais foram eficientes na fotodegradação do azul de metileno.

Os tempos utilizados nesse estudo foram de 60 minutos, mantendo-se o pH, a concentração de H_2O_2, a concentração de fotocatalisador e a temperatura.

Para os experimentos realizados sem utilização do fotocatalisador, brancos reacionais sob irradiação, verificou-se que o material preparado na ausência do metal semicondutor também possui eficiência fotocatalítica, pois apresentou resultados positivos para a foto oxidação do corante escolhido para teste. Quando se compara os tempos de exposição da irradiação nos materiais com e sem os íons Zn^{2+}, observa-se que para um mesmo tempo de exposição a sua eficiência é maior nos materiais contendo os íons zinco. Atribui-se a capacidade de decomposição do corante utilizando os sistemas luz UV/ $AlPO_4$, pela presença de grupos reativos (S, N e Cl) na molécula do corante que podem

favorecer a formação de sítios reativos na superfície da matriz que mesmo na ausência do semicondutor podem gerar radicais oxidantes (NAVARRO et al. 2009).

O corante básico Azul de Metileno (C16H18N3SCl·2H2O, CI: 52015, classe fenotiazínica), foi escolhido como molécula modelo para os estudos de oxidação. A estrutura molecular deste corante está representada na Figura 1. Foram preparadas soluções com uma concentração inicial de 50 mg. L^{-1} do corante solubilizado em água destilada. Peróxido de hidrogênio (20% v/v) foi utilizado como fonte inicial •OH e para manutenção do pH foi preparada uma solução de H_2SO_4 0,5 mol.L^{-1}.

A eficiência de descoloração foi acompanhada por espectroscopia de absorção no UV-Vis em experimentos que tiveram duração de 60 minutos, onde as frações foram submetidas à análise de varredura para acompanhamento do perfil de absorção do corante azul de metileno. O pico máximo de absorção do azul de metileno foi determinado na região do visível a 665 nm que é correspondente ao grupo cromóforo do corante (ligação dimetilamino) enquanto os picos de absorção em 245 e 290 nm são atribuídos aos anéis benzênicos O espectro de absorção do azul de metileno está apresentado na figura 13. A rápida diminuição da banda de absorção a 665 nm pode ser atribuída à N-desmetilação do corante, corroborando com a clivagem do grupo cromóforo responsável pela coloração. As bandas localizadas em 245 e 290 diminuíram significativamente, não sendo observada a formação de novas bandas que indica que a decomposição oxidativa de espécies fenotiazínicas ocorreram sem formação de intermediários, desta forma as reações de N-desmetilação, desaminação e degradação oxidativa se fizeram presentes durante a fotodegradação do corante (LIANG et al. 2012; PAULINO et al. 2015).

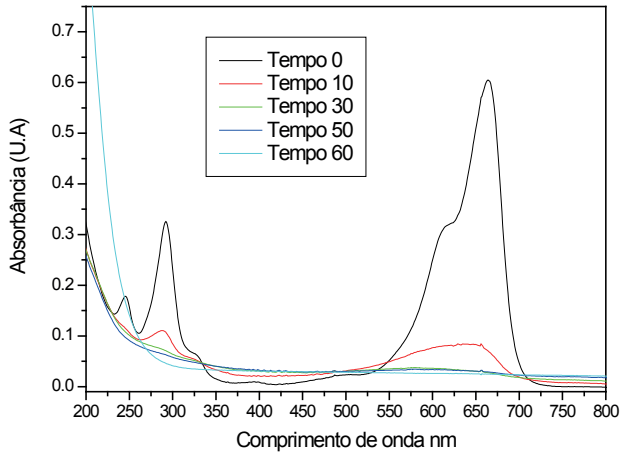


Figura 13 – Varredura para o azul de metileno

Fonte: Os autores

A estimativa foi calculada a partir da Equação 1, onde *a0* é a absorbância inicial da solução a ser degradada e a_1 é a absorbância final da mesma em certo tempo reacional.

Eficiência (%) = (1 – a1/a0) x 100

Os resultados de eficiência final de descoloração (%) para os materiais $AlPO_4$ tratados a diferentes temperaturas estão apresentados na Tabela 8.

Material	**Eficiência (%)**
$AlPO_4$-260	92
$AlPO_4$-400	91
$AlPO_4$-750	91
$AlPO_4$-1000	90
AlPO4-400-s/H_2O_2 e s/ H_2SO_4	9,5
AlPO4-400-c/H_2O_2 e s/ H_2SO_4	31
AlPO4-400-s/H_2O_2 e c/ H_2SO_4	20

Tabela 8: Eficiência de descoloração da solução de azul de metileno utilizando $AlPO_4$ tratado a diferentes temperaturas

Fonte: Os autores

Verificamos que o rendimento para os materiais sem a presença do Zn como metal semicondutor na rede de aluminofosfato apresentaram resultados interessantes Figura 14, variando essa eficiência de 12% a 92%.

Analisando os resultados na tabela 9 para experimentos controle onde ocorreu uma variação em relação aos ajustes de parâmetros como a adição de H_2SO4 e H_2O_2 observa-se que esses têm papel importante como coadjuvantes na reação. Para a adição de H_2O_2 verifica-se que esse tem um papel crucial, onde o mesmo na presença de luz UV tem a capacidade de gerar radicais OH• que podem iniciar as reações de oxidação. Um dos fatores que podem justificar esse rendimento para os materiais sem a presença do zinco $AlPO_4$/UV é a presença de grupos reativos (S,N e Cl) na molécula do corante que podem favorecer a formação de sítios reativos na matriz de aluminofosfato mesmo na ausência do semicondutor. Através da análise do gráfico Figura 14 Verifica-se também que ocorreu um rápido decaimento da concentração inicial do corante alcançando um equilíbrio (15 minutos) exceto para o material $AlPO_4$-1000 que apresentou rendimentos iniciais bem abaixo dos demais levando um tempo maior para atingir o equilíbrio. Os resultados observados também foram observados para os experimentos controle.

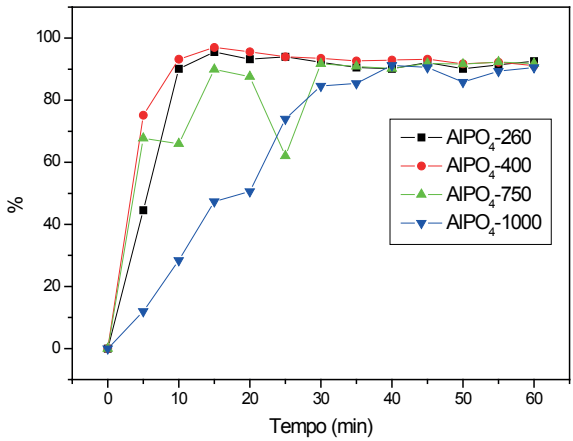


Figura 14: Análise de eficiência de degradação do corante azul de metileno utilizando $AlPO_4$ na presença de luz UV, H_2O_2 e H_2SO_4.

Fonte: Os autores

Para os materiais contendo zinco na matriz de aluminofosfato $AlPO_4Zn$ os rendimentos estão apresentados na tabela 9.

Material	Eficiência (%)
$AlPO_4Zn$-260	93
$AlPO_4Zn$-400	97
$AlPO_4Zn$-750	98
$AlPO_4Zn$-1000	90
$AlPO_4Zn$-400-s/H_2O_2 e s/ H_2SO_4	18
$AlPO_4Zn$-400-c/H_2O_2 e s/ H_2SO_4	96
$AlPO_4Zn$-400-s/H_2O_2 e c/ H_2SO_4	31

Tabela 9: Eficiência de descoloração da solução de azul de metileno utilizando $AlPO_4Zn$ tratado a diferentes temperaturas.

Fonte: Os autores

Foi observado que o rendimento para os materiais com a presença do Zn como metal semicondutor na rede de aluminofosfato também apresentaram resultados favoráveis com altos rendimentos de degradação como demonstrado na FiguraX variando essa eficiência de 74% a 99%.

Analisando os resultados na tabela 10 para os experimentos controle onde ocorreu uma variação em relação aos ajustes de parâmetros como a adição de H_2SO4 e H_2O_2 observou que apenas a adição de H_2O_2 apresentou modificações razoáveis para o sistema de degradação. Para a adição de H_2O_2 verifica-se que esse tem um papel importante,

onde o mesmo na presença de luz UV tem a capacidade de gerar radicais OH• que podem iniciar as reações de oxidação, para esse material mesmo na ausência de H_2SO_4 um ótimo rendimento foi observado o que pode ser interpretado que o ajuste do pH pode não ser um fator tão importante na degradação do corante azul de metileno utilizando-se Zn como semicondutor. Através da análise do gráfico Figura 15 Verifica-se também que ocorreu um rápido decaimento da concentração inicial do corante alcançando um equilíbrio neste caso para $AlPO_4Zn$ em menos de (10 minutos) de experimento o que também foi observado para os experimentos controle.

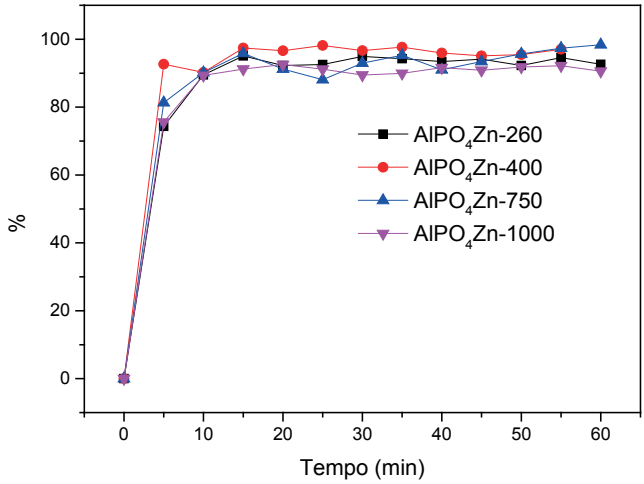


Figura 15: Análise de eficiência de degradação do corante azul de metileno utilizando $AlPO_4Zn$ na presença de luz UV, H_2O_2 e H_2SO_4

Fonte: Os autores

A partir dos dados de concentração nos tempos pré-determinados foi aplicado o modelo cinético proposto por Chan; Chu (2003).

Através da análise de eficiência das reações controle pode-se constatar que a velocidade inicial da reação é dependente da adição de H_2O_2 constatando comportamento diferentes com e sem adição desse reagente.

Verifica-se através das análises da modelagem cinética para os materiais $AlPO_4$ e $AlPO_4Zn$ nas figuras 16 e 17 abaixo, que o modelo proposto com o modelo obtido demonstrou elevada aplicabilidade apresentando coeficiente de regressão linear superior a 0,99 nos dois casos.

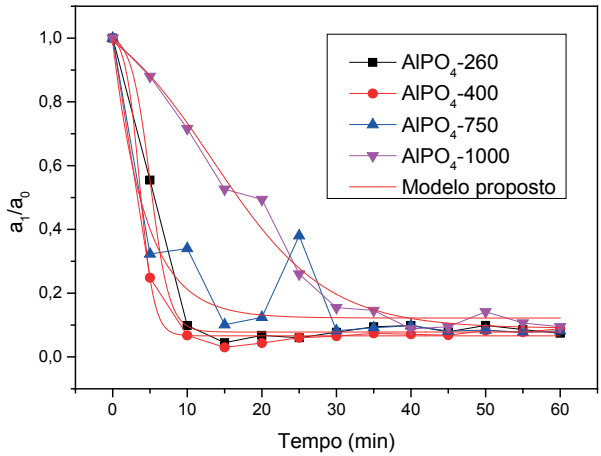


Figura 16 – Modelagem cinética de degradação do azul de metileno utilizando $ALPO_4$

Fonte: Os autores

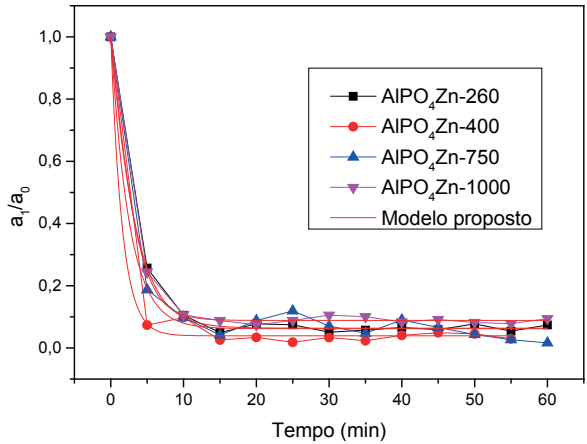


Figura 17 – Modelagem cinética de degradação do azul de metileno utilizando $ALPO_4Zn$

Fonte: Os autores

Para melhor avaliação outros estudos poderiam ser realizados com variação de parâmetros propostos em função de outras faixas de pH e também variações na concentração de H_2O_2, porém com a corroboração dos resultados apresentados os objetivos principais do trabalho foram atingidos sendo o material obtido podendo ter sua aplicação extendida a outros corantes ou contaminantes orgânicos.

5 I CONCLUSÕES

Novos materiais constituídos de matrizes de aluminofosfato foram preparados

pelo processo sol-gel, rota não hidrolítico, contendo zinco em sua estrutura. A inserção dos íons Zn^{2+} na rede de $AlPO_4$ foi realizada por substituição isomórfica comprovado por espectroscopia no infravermelho. As análises térmicas também nos indicaram que várias transições morfológicas também comprovadas por raios X, ocorrem durante o tratamento térmico possibilitando futuros estudos em relação a cada uma das fases formadas. O material predominante formado foi a Berlinita. Os materiais obtidos produziram resultados positivos na aplicação fotocatalítica do corante azul de metileno, indicando que sua utilização pode ser extendida a outros poluentes orgânicos utilizados em indústrias têxteis. O método utilizado na preparação desses materiais se mostrou bem mais simples e rápido em relação aos métodos hidrotérmicos utilizados na preparação de aluminofosfatos descritos na literatura o que no futuro pode ser explorado com a incorporação de outros metais nessas matrizes para obtenção de materiais com características especiais a serem utilizados como fotocatalisadores.

Os resultados de degradação da cor do azul de metileno foram satisfatórios e mostraram que é possível a aplicação do processo de fotocatálise com a utilização do catalisador $AlPO_4Zn$ no tratamento de efluentes na indústria têxtil que utiliza o corante azul de metileno. Nos experimentos, a melhor taxa de degradação aconteceu nos dez primeiros minutos de experimento e no restante do tempo, a degradação permaneceu praticamente constante, indicando assim que este tempo seria suficiente para atingir uma porcentagem de remoção considerável.

REFERÊNCIAS

ACOSTA, S.; CORRIU, R. J. P.; LECLERCQ, D.; et al. Preparation of alumina gels by a non-hydrolytic sol-gel processing method. **Journal of Non-Crystalline Solids**, v. 170, n. 3, p. 234–242, 1994.

AGUSTINA, T. E.; ANG, H. M.; VAREEK, V. K. A review of synergistic effect of photocatalysis and ozonation on wastewater treatment. **Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews**, v. 6, n. 4, p. 264–273, 2005.

AHMED, S.; RASUL, M. G.; MARTENS, W. N.; BROWN, R.; HASHIB, M. A. Heterogeneous photocatalytic degradation of phenols in wastewater: A review on current status and developments. **Desalination**, v. 261, n. 1–2, p. 3–18, 2010. Elsevier B.V.

ALCÂNTARA, M. R.; DALTIN, D. A Química Do Processamento Têxtil. **Quimica Nova**, 1996.

BARBOSA, R.; COSTA, E. G.; VIEIRA, L. G. F.; SILVA, A E. D. **Efeito do ZnO obtido pelo método sol-gel na microestrutura e nas propriedades elétricas** DOS. , p. 1167–1174, 2001.

CHAKRABARTI, S.; DUTTA, B. K. Photocatalytic degradation of model textile dyes in wastewater using ZnO as semiconductor catalyst. **Journal of Hazardous Materials**, v. 112, n. 3, p. 269–278, 2004.

CHAN, K. H.; CHU, W. Modeling the reaction kinetics of Fenton's process on the removal of atrazine. **Chemosphere**, v. 51, n. 4, p. 305–311, 2003.

CHIRON, S.; FERNANDEZ-ALBA, A.; RODRIGUEZ, A. **Review Paper Pesticide Chemical Oxidation: State-of-the-Art.** , v. 34, n. 2, p. 366–377, 2000.

COJOCARIU, A. M.; MUTIN, P. H.; DUMITRIU, E.; et al. Non-hydrolytic SiO2-TiO2 mesoporous xerogels - Efficient catalysts for the mild oxidation of sulfur organic compounds with hydrogen peroxide. **Catalysis Today**, v. 157, n. 1–4, p. 270–274, 2010.

CORRIU, R. J. P.; LECLERCQ, D.; LEFÈVRE, P.; MUTIN, P. H.; VIOUX, A. Preparation of monolithic gels from silicon halides by a non-hydrolytic sol-gel process. **Journal of Non-Crystalline Solids**, v. 146, n. C, p. 301–303, 1992.

DANESHVAR, N.; ABER, S.; SEYED DORRAJI, M. S.; KHATAEE, A. R.; RASOULIFARD, M. H. Photocatalytic degradation of the insecticide diazinon in the presence of prepared nanocrystalline ZnO powders under irradiation of UV-C light. **Separation and Purification Technology**, v. 58, n. 1, p. 91–98, 2007.

DEBECKER, D. P.; MUTIN, P. H. Non-hydrolytic sol–gel routes to heterogeneous catalysts. **Chemical Society Reviews**, v. 41, n. 9, p. 3624, 2012.

DEVIPRIYA, S.; YESODHARAN, S. Photocatalytic degradation of pesticide contaminants in water. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 86, n. 3, p. 309–348, 2005.

EVGENIDOU, E.; FYTIANOS, K.; POULIOS, I. Semiconductor-sensitized photodegradation of dichlorvos in water using TiO2 and ZnO as catalysts. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 59, n. 1–2, p. 81–89, 2005.

DA FONSECA ARAUJO, F. V.; YOKOYAMA, L.; TEIXEIRA, L. A. C. Remoção de cor em soluções de corantes reativos por oxidação com H 2O 2UV. **Quimica Nova**, v. 29, n. 1, p. 11–14, 2006.

FRACHE, A.; GIANOTTI, E.; MARCHESE, L. Spectroscopic characterisation of microporous aluminophosphate materials with potential application in environmental catalysis. **Catalysis Today**, v. 77, n. 4, p. 371–384, 2003.

G. LISCHKE A, B. PARLITZ U, U. LOHSE U, E. SCHREIER B, R. F. U'. Acidity and catalytic properties of MeAPO-5 molecular sieves. **Applied Catalysis A: General**, v. 166, n. 1908, p. 351–361, 1998.

GIANOTTI, E.; DELLAROCCA, V.; OLIVEIRA, E. C.; et al. Impact of Zeolites and other Porous Materials on the new Technologies at the Beginning of the New Millennium, Proceedings of the 2nd International FEZA (Federation of the European Zeolite Associations) Conference. **Studies in Surface Science and Catalysis**, v. 142, n. Iv, p. 1419–1426, 2002.

HANDKE, M.; ROKITA, M.; MOZGAWA, W. Spectroscopic studies of SiO2–AlPO4 solid solutions. **Vibrational Spectroscopy**, v. 19, n. 2, p. 419–423, 1999.

HASSANPOUR, M.; SAFARDOUST-HOJAGHAN, H.; SALAVATI-NIASARI, M. Degradation of methylene blue and Rhodamine B as water pollutants via green synthesized Co3O4/ZnO nanocomposite. **Journal of Molecular Liquids**, v. 229, p. 293–299, 2017. Elsevier B.V.

HERRMANN, J.-M.; GUILLARD, C. Photocatalytic degradation of pesticides in agricultural used waters. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIC - Chemistry**, v. 3, n. 6, p. 417–422, 2000.

HUANG, J.; WANG, X.; HOU, Y.; et al. Synthesis of functionalized mesoporous TiO2 molecular sieves and their application in photocatalysis. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 110, n. 2–3, p. 543–552, 2008.

KITULAGODAGE, M.; ASTHEIMER, L. B.; BUTTEMER, W. A. Diacetone alcohol, a dispersant solvent, contributes to acute toxicity of a fipronil-based insecticide in a passerine bird. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 71, n. 2, p. 597–600, 2008.

KONG, J.-Z.; LI, A.-D.; ZHAI, H.-F.; et al. Preparation, characterization and photocatalytic properties of ZnTiO3 powders. **Journal of Hazardous Materials**, v. 171, n. 1–3, p. 918–923, 2009.

LAFOND, V.; MUTIN, P. H.; VIOUX, A. Non-hydrolytic sol-gel routes based on alkyl halide elimination: Toward better mixed oxide catalysts and new supports application to the preparation of a SiO2-TiO2 epoxidation catalyst. **Journal of Molecular Catalysis A: Chemical**, v. 182–183, p. 81–88, 2002.

LIANG, X.; ZHONG, Y.; ZHU, S.; et al. The contribution of vanadium and titanium on improving methylene blue decolorization through heterogeneous UV-Fenton reaction catalyzed by their co-doped magnetite. **Journal of Hazardous Materials**, v. 199–200, p. 247–254, 2012. Elsevier B.V.

LIU, L.; MENG, H.; LI, G.; et al. Hydrothermal synthesis and characterization of a zinc-cobalt phosphate microporous material. **Materials Letters**, v. 59, n. 14–15, p. 1752–1755, 2005.

MILLER, F. A.; WILKINS, C. H. Infrared Spectra and Characteristic Frequencies of Inorganic Ions. **Analytical Chemistry**, v. 24, n. 8, p. 1253–1294, 1952.

MUTIN, P. H.; POPA, A. F.; VIOUX, A.; DELAHAY, G.; COQ, B. Nonhydrolytic vanadia-titania xerogels: Synthesis, characterization, and behavior in the selective catalytic reduction of NO by NH3. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 69, n. 1–2, p. 49–57, 2006.

MUTIN, P. H.; VIOUX, A. Nonhydrolytic processing of oxide-based materials: Simple routes to control homogeneity, morphology, and nanostructure. **Chemistry of Materials**, v. 21, n. 4, p. 582–596, 2009.

NAVARRO, S.; FENOLL, J.; VELA, N.; RUIZ, E.; NAVARRO, G. Photocatalytic degradation of eight pesticides in leaching water by use of ZnO under natural sunlight. **Journal of Hazardous Materials**, v. 172, n. 2–3, p. 1303–1310, 2009.

DE OLIVEIRA, P. R.; BECHARA, G. H.; DENARDI, S. E.; OLIVEIRA, R. J.; MATHIAS, M. I. C. Genotoxic and mutagenic effects of fipronil on mice. **Experimental and Toxicologic Pathology**, v. 64, n. 6, p. 569–573, 2012.

PARDESHI, S. K.; PATIL, A. B. A simple route for photocatalytic degradation of phenol in aqueous zinc oxide suspension using solar energy. **Solar Energy**, v. 82, n. 8, p. 700–705, 2008.

PARIDA, K. M.; DASH, S. S.; DAS, D. P. Physico-chemical characterization and photocatalytic activity of zinc oxide prepared by various methods. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 298, n. 2, p. 787–793, 2006.

PAULINO, T. R. S.; ARAÚJO, R. DOS S.; SALGADO, B. C. B. Estudo de oxidação avançada de corantes básicos via reação Fenton (Fe2+/H2O2). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 347–352, 2015.

PEI, Z.; YITONG, L.; BAOFENG, L.; GAN, J. J. Dynamics of fipronil residue in vegetable-field ecosystem. **Chemosphere**, v. 57, n. 11, p. 1691–1696, 2004.

RAVETON, M.; AAJOUD, A.; WILLISON, J.; et al. Soil distribution of fipronil and its metabolites originating from a seed-coated formulation. **Chemosphere**, v. 69, n. 7, p. 1124–1129, 2007.

RISTIĆ, A.; TUŠAR, N. N.; ARČON, I.; et al. Synthesis and characterization of triclinic MeAPO-34 (Me=Zn, Fe) molecular sieves. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 56, n. 3, p. 303–315, 2002.

SAKTHIVEL, S.; NEPPOLIAN, B.; SHANKAR, M. V; et al. Solar photocatalytic degradation of azo dye: comparison of photocatalytic efficiency of ZnO and TiO_2. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 77, n. 1, p. 65–82, 2003.

SILVA, J. F. **Avaliação do processo oxidativo avançado UV/H2O2 no pós-tratamento de efluentes industriais.** , p. 39–75, 2015.

TANAKA, Y.; KOJIMA, T.; TAKATA, Y.; et al. Determination of structural chirality of berlinite and quartz using resonant x-ray diffraction with circularly polarized x-rays. **Physical Review B - Condensed Matter and Materials Physics**, v. 81, n. 14, p. 1–9, 2010.

VIOUX, A. Nonhydrolytic Sol – Gel Routes to Oxides Nonhydrolytic Sol - Gel Routes to Oxides. , v. 9, n. 11, p. 2292–2299, 1997.

WANG, C.; XU, B.-Q.; WANG, X.; ZHAO, J. Preparation and photocatalytic activity of ZnO/TiO2/SnO2 mixture. **Journal of Solid State Chemistry**, v. 178, n. 11, p. 3500–3506, 2005.

YANG, X.; MA, H.; XU, Z.; et al. Hydroisomerization of n-dodecane over Pt/MeAPO-11 (Me = Mg, Mn, Co or Zn) catalysts. **Catalysis Communications**, v. 8, n. 8, p. 1232–1238, 2007.

ZIOLLI, R. L.; JARDIM, W. F. Mecanismo de fotodegradação de compostos orgânicos catalisada por TiO2. **Quimica Nova**, v. 21, n. 3, p. 319–325, 1998.

CAPÍTULO 11

DIMENSIONAMENTO DE PARQUE EÓLICO A PARTIR DE ANÁLISES DE INDICADORES DE CONFIABILIDADE E SEVERIDADE

Data de submissão: 14/07/2023 *Data de aceite: 01/09/2023*

Joelson Lopes da Paixão
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Brasil.
Santa Maria - RS
http://lattes.cnpq.br/6907289379766915
https://orcid.org/0000-0001-8874-5151

Alzenira da Rosa Abaide
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Brasil.
Santa Maria - RS
http://lattes.cnpq.br/2427825596072142
https://orcid.org/0000-0003-1043-1608

RESUMO: As fontes que compõem a matriz energética global vêm se diversificando, devido ao surgimento de esforços para a substituição de fontes geradoras poluentes por fontes alternativas, tais como: a eólica, a fotovoltaica e a biomassa. No entanto, são fontes de energia intermitentes, que refletem uma potência gerada com variabilidades e incertezas, fazendo necessário um estudo da confiabilidade da geração em relação à demanda a ser atendida. O presente artigo apresenta o projeto de um Parque Eólico para atender uma carga de 15 MW em uma situação hipotética, baseado em análises de confiabilidade e severidade a partir de medições de vento na área de interesse e dados técnicos dos aerogeradores utilizados. Tabelas de probabilidade de interrupção de carga (*COPT*) e análises de sensibilidade foram desenvolvidas para verificar os principais indicadores.

PALAVRAS-CHAVE: Confiabilidade da Geração, COPT, Parque Eólico, Grau de Severidade, Dimensionamento de Aerogeradores.

SIZING OF A WIND FARM BASED ON RELIABILITY AND SEVERITY INDICATOR ANALYSIS

ABSTRACT: The sources that make up the global energy matrix have been diversifying, due to the emergence of efforts to replace polluting generating sources with alternative sources, such as wind, photovoltaic, and biomass. However, they are intermittent energy sources, which reflect a generated power with variability and uncertainties, making it necessary to study the reliability of generation concerning the demand to be met. This article presents the design of a wind farm to supply a load of 15 MW in a hypothetical situation, based on reliability and severity analyses based on wind measurements in the area of interest and

technical data of the wind turbines used. Capacity outage probability tables (COPT) and sensitivity analyzes were developed to verify the main indicators.
KEYWORDS: Generation Reliability, COPT, Wind Farm, Degree of Severity, Sizing of Wind Generators.

1 I INTRODUÇÃO

No contexto atual em que vivemos, a energia elétrica deixou de ser apenas um meio de conforto e passou a ser um produto essencial para o funcionamento e desenvolvimento de todos os setores. Todo o desenvolvimento e expansão do país estão diretamente vinculados e dependentes do setor elétrico. Da agricultura até a indústria e o comércio, a eletricidade é fundamental para o desenvolvimento das atividades, para geração de renda e manutenção da economia [1]. Para garantir o atendimento à demanda e evitar cortes de cargas e colapsos, algumas medidas vêm sendo tomadas, como a ampliação dos sistemas, alocação de novos elementos, substituição de equipamento, redistribuição das cargas e novas configurações de despacho de energia.

Nesse contexto, a inserção de novas usinas geradoras de energia é um ponto bastante analisado, principalmente com a questão da utilização de fontes renováveis de energia. Recentemente, estão surgindo usinas de diversos portes de geração de energia a partir do vento e da luz do sol, por exemplo, com aerogeradores e painéis fotovoltaicos, respectivamente. De acordo com o Banco de Informação da Geração da Aneel, Figura 1, o Brasil já conta com 8,64% da eletricidade gerada a partir dos ventos. Essas novas usinas geradoras podem atender as cargas sem que haja sobrecarga das geradoras já existentes [2].

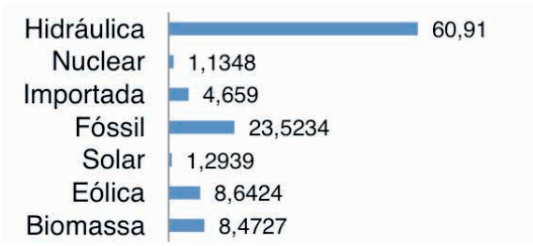


Figura 1: Participação percentual das fontes na matriz energética brasileira [2].

Embora a utilização dessas novas fontes de energia seja boa do aspecto ecológico, é preciso analisar o quão confiável é um sistema que baseia sua geração de energia a partir de fontes intermitentes. Uma usina eólica tem sua geração dependente da velocidade dos ventos que por ela passa. Já uma usina solar depende da intensidade da luz solar que nela incide. Desta forma, existem alguns desafios para o planejamento e operação dos SEP nos quais estas gerações estão inseridas. Uma análise da disponibilidade da fonte e sua influência na potência de saída no gerador são necessárias para verificar o grau de

confiabilidade entre a geração e a demanda requisitada [3] [4].

Sendo assim, o presente trabalho realiza o projeto de um parque de geração de energia eólica com base em análises de confiabilidade e severidade entre a geração e a demanda, utilizando a técnica de Markov e tabelas de probabilidade de interrupção de carga. São definidas a demanda a ser atendida pelo parque e as características de potência e manutenção dos aerogeradores utilizados. A velocidade média do vento na área de interesse é avaliada, bem como sua influência na geração. Ainda, são feitas análises de sensibilidade de algumas variáveis envolvidas.

2 | CONFIABILIDADE DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA

Todo Sistema Elétrico de Potência tem como função atender cargas e consumidores, ou seja, suprir demandas de energia elétrica. Mas existem momentos em que essa demanda não é suprida, seja por alguma falha de equipamento, sobrecarga do sistema ou medidas de prevenção. Nesse sentido, o conceito de confiabilidade trata da probabilidade de um sistema desempenhar sua função durante um período de tempo especificado e sob condições determinadas [3] [4].

A confiabilidade surgiu a partir da necessidade de se conhecer a disponibilidade dos equipamentos de um SEP, a fim de identificar ativos e subsistemas críticos. Assim, é possível prever contingências, estudar técnicas de prevenção e manutenção, estimar custos e realizar projetos mais confiáveis. Ainda, a confiabilidade apresenta uma grande importância do aspecto econômico, já que existe uma forte relação entre o serviço de confiabilidade, investimento da concessionária de energia e o custo de interrupção do consumidor [3] [4]. A Figura 2 ilustra essa relação, em que fica evidente que a confiabilidade só será maior com um maior investimento e a redução das interrupções.

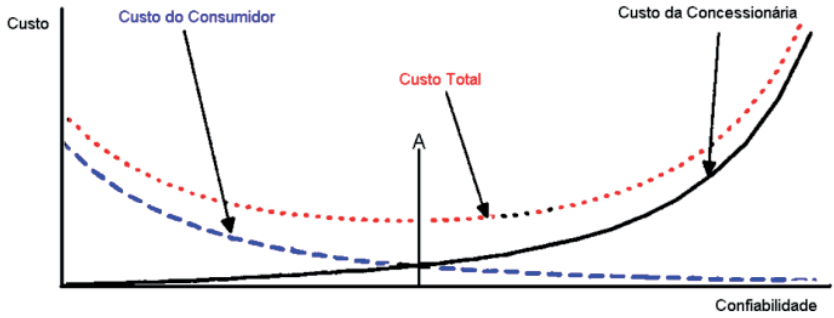


Figura 2: Relação entre custos e confiabilidade [5].

Uma técnica muito importante, que faz uma análise quantitativa e pode ser aplicada a sistemas, é o chamado processo de Markov. Utilizando parâmetros contínuos e estados discretos, constrói-se a “cadeia de Markov”. Basicamente, são estabelecidos os estados

possíveis (em operação e em reparo, por exemplo) e as taxas de transição entre eles. A transição entre dois estados depende somente do atual estado, não levando em conta a história do processo. Assim, a soma de todas as taxas de transição (saída ou permanência) do estado deve ser igual a 1. Através dessa técnica é possível calcular a probabilidade de o sistema estar em cada estado, determinar a chance de se atingir determinado estado e estimar o tempo para isso [3] [4].

Em muitas das aplicações de cadeia de Markov em sistemas elétricos são estabelecidos apenas dois estados: em operação e em reparo. Assim, trabalha-se estimando que um determinado ativo possa estar ou em operação e devido à uma falha foi para reparo, ou estava sendo reparado e voltou à operação. A Figura 3 ilustra um exemplo de cadeia de Markov. Dessa forma, as taxas de transição são definidas como taxa de falha λ (que leva o equipamento do estado de operação para reparo), por (1) e taxa de reparo μ (que leva o equipamento do estado em reparo para operação) conforme (2).

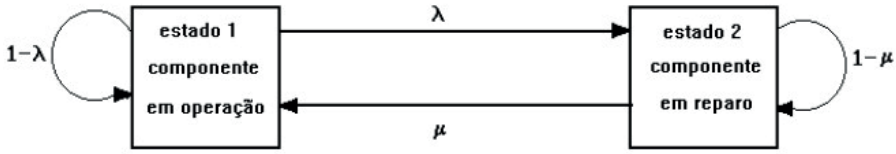


Figura 3: Exemplo de cadeia de Markov.

$$\lambda(t) = \frac{números\ de\ falhas}{tempo\ em\ operação} \tag{1}$$

$$\mu(t) = \frac{números\ de\ reparos}{tempo\ em\ reparo} \tag{2}$$

A partir das taxas de falha e reparo é possível determinar a probabilidade de sucesso *p*, conforme (3), ou falha *q* do equipamento analisado, conforme (4). Ou seja, a probabilidade de o equipamento estar no estado de operação ou no de reparo.

$$p = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \tag{3}$$

$$q = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \tag{4}$$

De posse dessa análise da cadeia de Markov e as probabilidades de sucesso e falha do equipamento observado, é possível construir tabelas de probabilidade de interrupção de capacidade, do termo em inglês *Capacity Outage Probability Table – COPT*. São tabelas utilizadas para tratar de confiabilidades de geradores, ou seja, nível hierárquico 1 (NH1). As

*COPT*s são usadas para elencar interrupções de geração de um sistema que atende uma demanda e suas probabilidades. Quando as unidades geradoras são todas iguais, mesma potência e fabricante, elas possuem a mesma probabilidade de sucesso *p* e falha *q*, logo, utiliza-se a distribuição binomial, conforme (5), em que n é o número de máquinas iguais com r funcionando.

$$P(x) = \frac{n!}{r!\,(n-r)!} p^r q^{n-r} \tag{5}$$

Isso retorna, basicamente, a probabilidade do total de máquinas que estarão em operação e a consequente energia gerada no momento. A partir disso são calculados alguns indicadores: *LOLP*, *LOLE*, *EPNS*, *EENS* e Severidade [6] [7] [8]. O *LOLP* é a probabilidade de perda de carga (*Loss of Load Probability*), ou seja, o somatório das probabilidades dos estados em que a capacidade do sistema *G* é menor que a carga Lmáx, acarretando em cortes, conforme (6).

$$LOLP = \sum_{i=1}^{n} p_i(L_{máx} > G) \tag{6}$$

O *LOLE* é a expectativa de perda de carga (*Loss of Load Expectation*), que torna o valor do *LOLP* mais significativo, sendo o somatório das probabilidades de perda de carga vezes o tempo em que a carga permanece nesse valor, conforme (7). Se considerar a carga máxima constante, LOLE=LOLP.8670.

$$LOLE = \sum_{i=1}^{n} t_i p_i(L_{máx} > G)\ \ h/ano \tag{7}$$

O *EPNS* é a expectativa de potência não suprida (*Expected Power Not Supplied*), sendo a potência não suprima pelo sistema vezes a probabilidade de isso ocorrer, dada por (8).

$$EPNS = \sum_{i=1}^{n} p_i(L_{máx} - G)\ \ MW \tag{8}$$

O *EENS*, semelhando ao EPNS, é a expectativa de energia não suprida (*Expected Energy Not Supplied*). Consiste na potência não suprida esperada vezes o número de horas no ano, dada por (9).

$$EENS = EPNS.8760\ MWh/ano \tag{9}$$

O critério de severidade é um índice normalizado, medido pelo quociente da energia não suprida pela ponta do sistema analisado (MWh/MW), e o resultado convertido em minutos (sistema-minuto). Esse índice consiste em um tempo fictício de uma possível perturbação necessária para acumular uma energia não suprida igual à calculada, se toda

a carga do sistema fosse atingida. É um indicador usado internacionalmente e que possui uma escala classificatória. Possui 5 graus de classificação, variando entre baixíssimo risco (Grau 0), baixo risco, risco médio, sério impacto e grandes impactos levando ao colapso do sistema (Grau 4). A Tabela I mostra a classificação dos graus de severidade.

Classificação	Severidade S (sistema-minuto)	Interpretação	Comentário
Grau 0	$S < 1$	favorável	condição operativa de baixíssimo risco (azul)
Grau 1	$1 \leq S < 10$	satisfatório	condição operativa de baixo risco (amarelo)
Grau 2	$10 \leq S < 100$	limítrofe	condição operativa de risco médio (alaranjado)
Grau 3	$100 \leq S < 1000$	grave	sério impacto p/ vários agentes / consumidores (vermelho)
Grau 4	$1000 \leq S$	muito grave	grande impacto p/ muitos agentes/consumidores, colapso do sistema.

Tabela I: Diretrizes para classificação de níveis de severidade.

Sendo assim, de maneira simples, a construção de uma *COPT* segue os seguintes passos: listar todos os estados, calcular as probabilidades de cada um, encontrar os estados em que ocorre perda de carga, calcular os indicadores. É possível então, com essa análise, verificar a confiabilidade de um sistema elétrico de potência.

3 I GERAÇÃO EÓLICA

A base de geração de energia elétrica no Brasil é hidrotérmica, ou seja, a partir de hidrelétricas, que aproveitam o potencial hidráulico dos rios, e por usinas térmicas, que geram energia a partir da queima de carvão. Recentemente, algumas formas de energia renovável têm contribuído para a geração. Entre elas, eólica e solar se destacam por estarem com tecnologias mais avançadas e consolidadas, com a eólica já participando significativamente na matriz energética brasileira. Como o trabalho proposto é o projeto de um parque eólico, esta seção apresenta algumas características da geração eólica.

A tecnologia dos aerogeradores tem evoluído muito, tendo vários modelos de diferentes fabricantes e níveis de potência. Atualmente com máquinas que ultrapassam alturas de 260m e potência de 12 MW, os aerogeradores possuem diversas peças e controles para seu funcionamento. Basicamente, são formados por uma torre que no seu topo possui a nacele, que contempla toda estrutura do gerador e acopla as pás que atacam o vento.

Os grandes obstáculos da energia eólica são a oscilação e a incerteza dos ventos. Os ventos são deslocamentos de massas de ar oriundos da diferença de pressão atmosférica, resultado das mudanças de temperatura da terra. Percebe-se que o vento oscila muito, com sua intensidade e direção sujeitas à variações, sendo difíceis de prever, principalmente a longo prazo. Ainda, cada modelo de aerogerador possui uma velocidade mínima de vento

necessária para começar a gerar energia, e uma velocidade máxima de vento em que permanece gerando. Quando a velocidade superior à nominal, o aerogerador é desligado. Dessa forma, cada modelo de aerogerador possui uma curva de geração em relação à velocidade do vento. Para saber a potência gerada por um parque eólico é preciso fazer a convolução entre a curva de vento e a curva de potência gerada [8].

A relação entre a potência gerada *P* e a velocidade do vento *v* é graficamente representada na curva de potência ilustrada na Figura 4. Conforme indicado pela curva de potência da Figura 4, a conversão de energia eólica em energia elétrica se dá a partir de uma velocidade mínima, denominada velocidade de partida v_p. A potência da turbina é limitada ao valor de P_n à velocidade nominal v_n. Para as velocidades entre v_p e v_n, a potência elétrica *P* gerada pela turbina eólica cresce com o cubo da velocidade do vento v transversal à área *A* varrida pelo rotor, conforme a equação 1 [9].

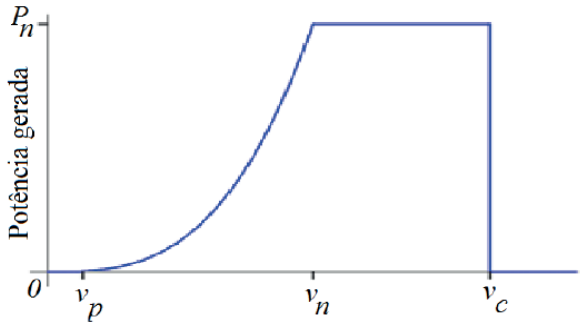


Figura 4: Curva de potência típica de uma turbina eólica [9].

$$P = 0{,}5 \cdot Cp \cdot \eta_m \cdot \eta_g \cdot \rho \cdot A \cdot v^2 \qquad (10)$$

Onde: η_m é o rendimento mecânico da caixa de transmissão; η_g é o rendimento do gerador; ρ é a densidade do ar; Cp é o coeficiente de potência da turbina, que expressa a parcela (%) da potência disponível de vento que é extraída pela turbina. A partir da velocidade nominal, o controle de velocidade de turbina mantém a potência gerada constante até que, para velocidades superiores a velocidade de corte v_c, a turbina é retirada da operação para preservá-la de esforços mecânicos excessivos.

Para extrair o máximo potencial dos ventos e superar tantas variações de intensidade e direção, existem dois principais controles: controle de *pitch* e de *yaw*. O controle de *pitch* corresponde a ajustar o ângulo de ataque das pás em relação ao vento. Variando este ângulo é possível direcionar as pás de acordo com a velocidade dos ventos. Já o controle de *yaw* corresponde ao posicionamento da nacele em relação à direção do vento. Ele busca deixar a turbina sempre em posição perpendicular ao vento. Além de servirem para permitir a máxima geração de potência, esses controles também garantem a segurança do aerogerador. Quando os ventos superam a velocidade máxima nominal da máquina, os controles agem de modo a deixá-la em posição de “bandeira”. Nesses casos, a nacele e as

pás ficam posicionadas para não atacar o vento, e sim deixá-lo “passar”, evitando, assim, acidentes [9].

Devido ao grande número de elementos de estrutura, controle e operação de um aerogerador, a confiabilidade dele possui parcelas de cada um desses elementos. Assim como qualquer outro equipamento, uma falha de algum elemento tira a máquina de operação. Uma vez parada, precisa de um determinado tempo de reparo para voltar a operar. O número de falhas e o tempo de reparo levam a probabilidade de sucesso do aerogerador utilizada nas análises de confiabilidade [5] [8].

4 | PROJETO DE UM PARQUE EÓLICO

Após entender os principais conceitos sobre a confiabilidade de um SEP e as variáveis que envolvem a geração de energia eólica, foi feito um projeto um parque eólico para uma situação hipotética a partir de uma análise de confiabilidade da fonte de energia (nível hierárquico 0 – NH0) e das unidades geradoras (nível hierárquico 1 – NH1). O objetivo do parque é atender uma demanda de 15 MW e assegurar um grau de severidade 2 [5].

Para o projeto do parque foram observadas medidas de velocidade de vento na área hipotética de interesse durante um ano, de hora em hora. Ainda, foi utilizado o número de falhas reportado em um período de 10 anos, bem como o tempo em reparo do aerogerador, disponibilizados pelo fabricante genérico.

Como a potência gerada pelos aerogeradores varia de acordo com a velocidade do vento, para fins do projeto proposto, a potência gerada foi estratificada em três níveis de geração, de acordo com (11), e os parâmetros *a* e *b*. Assim, em vez tomar a potência do aerogerador como variável contínua em função da velocidade do vento (10), segmentou-se em 3 patamares de geração. Essa simplificação é necessária para reduzir o número de COPTs a serem montadas. E torna possível cruzar a probabilidade de sucesso dos aerogeradores com a probabilidade do nível de geração a partir do vento.

$$P(\%) = \begin{cases} v < a; & P = 20\% \\ a \leq v < b; & P = 60\% \\ v \geq b; & P = 100\% \end{cases} \tag{11}$$

O presente trabalho utilizou um aerogerador cuja potência é de 3,5 MW, e foi admitido que a velocidade do vento fosse a mesma para todas as unidades geradoras alocadas no parque. Os parâmetros *a* e *b* são 7,2 e 11 m/s, respectivamente. Ou seja, com ventos de até 7,2 m/s, o parque gerará 20% da sua potência nominal. Com ventos a partir de 7,2 m/s e menores que 11 m/s, gerará 60%, e com ventos iguais ou maiores que 11 m/s, gerará 100% da sua potência nominal, conforme dado Figura 5.

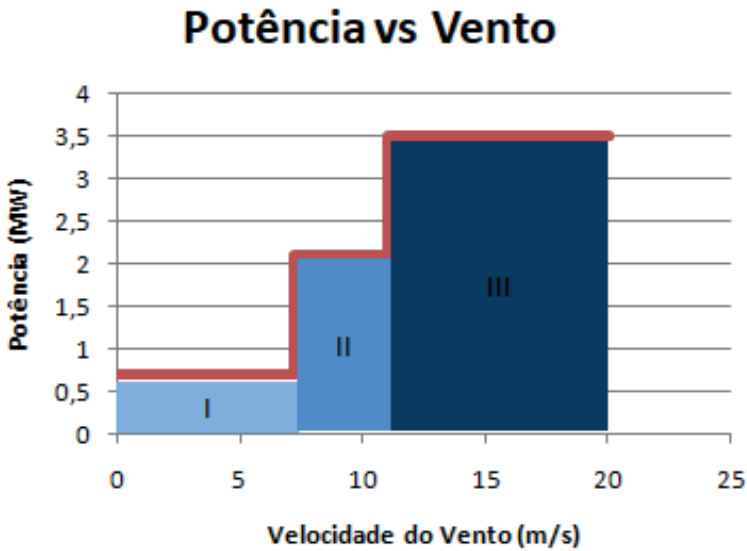


Figura 5: Potência de saída discretizada em função da velocidade do vento.

A metodologia do trabalho é baseada em dois principais pontos: verificar a probabilidade de ocorrência de cada nível de geração a partir da curva de vento, e a severidade do parque como um todo em cada nível, utilizando tabelas de probabilidade de interrupção de capacidade, baseadas na confiabilidade de cada máquina. Primeiramente, é verificada a probabilidade de ocorrência de cada patamar de geração, criam-se Funções de Densidade de Probabilidade (PDFs) das medições de velocidade do vento (Figura 7). Em seguida, considerando que os aerogeradores podem estar apenas em dois estados, em operação ou em reparo, são calculadas as taxas de falha e de reparo. Com isso são construídas as *COPTs* e calculados os indicadores de confiabilidade e severidade.

A Figura 6 mostra a curva de vento analisada na área de interesse que foi utilizada para o projeto, juntamente com as retas que identificam as velocidades dos parâmetros. A partir dela verifica-se que em 28,28% do tempo o vento está abaixo de 7,2 m/s, portanto cada unidade estaria gerando 20% da sua potência nominal. De maneira análoga, o vento está entre 7,2 e 11 m/s 26,74% do tempo, fazendo as unidades gerar 60%, e acima de 11 m/s por 44,98%, levando a uma geração de 100%.

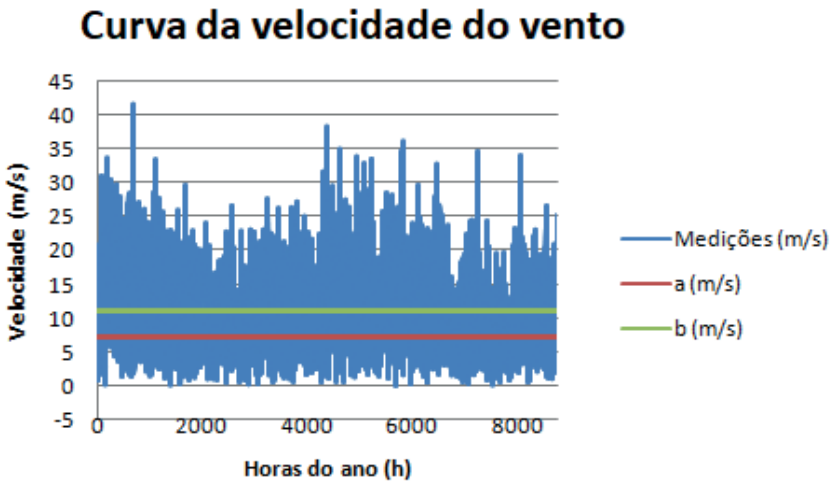


Figura 6: Curva anual de ventos da área de interesse.

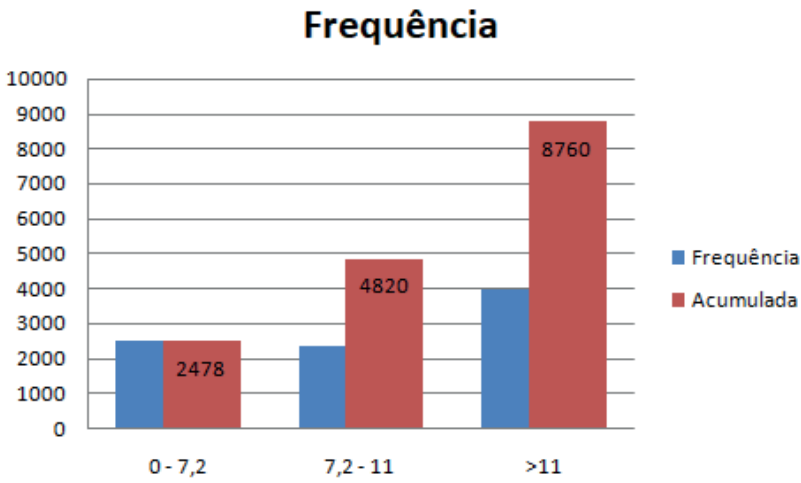


Figura 7: Frequência das velocidades de vento, conforme patamares *a* e *b*.

Após definir as probabilidades dos níveis de geração a partir da curva de vento, calculou-se a probabilidade de sucesso do equipamento, baseada no número de falhas e tempo de reparo das unidades geradoras, disponibilizados pelo fabricante. O aerogerador utilizado apresentou 30 falhas em um período de dez anos, estando 1169 horas em reparo. Como a análise é feita para apenas dois estados, o número de falhas é igual ao número de reparos. Com esses dados, calcularam-se as variáveis de sucesso e falha de cada equipamento, p e q, respectivamente, conforme as taxas de falha e reparo, e as Equações (1), (2), (3) e (4). Sendo assim, a probabilidade de sucesso de uma unidade geradora utilizada é de p=0,98666.

Com essas informações, foram montadas as 3 COPTs (uma para cada patamar de geração). O resultado dos indicadores de cada tabela foi multiplicado pelo percentual de ocorrência da velocidade de vento necessária para cada nível de geração e, no fim, somados. Dessa forma, chega-se a um grau de severidade total do parque eólico levando em consideração a chance de o parque atingir cada patamar de geração de energia e a probabilidade de sucesso de cada máquina individual.

Durante a montagem das COPTs, variou-se o número de aerogeradores empregados para atender a demanda exigida de 15 MW e obter o grau 2 de severidade desejado. Além da severidade, foram observados os indicadores de confiabilidade LOLP, LOLE, EPNS e EENS. Após vários incrementos, verificou-se que, para chegar a um grau 2 de severidade ($10 \leq S < 100$), foi preciso alocar 23 aerogeradores no parque, resultando numa severidade de 38,72 Sist. Minuto.

5 | RESULTADOS E ANÁLISES DE SENSIBILIDADE

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos com o projeto do parque eólico. Após, são apresentadas as análises de sensibilidade realizadas. As análises de sensibilidade correspondem a uma projeção de aumento de carga, variação da velocidade dos ventos na área de interesse, e variação do número de falhas e tempo de reparo do aerogerador.

A. Caso Base Projetado

Como visto, para atingir o requisito de projeto, o parque eólico projetado com aerogeradores de 3,5 MW deve conter pelo menos 23 máquinas, cuja confiabilidade é de 0,98666. A severidade resultante foi de 38,72 sist.-min., enquadrando o parque no grau 2, como requisitado. Isso significa que uma perturbação deveria durar 38,72 minutos e acumularia uma energia não suprida igual a 9,68 MWh, calculada pelo indicador *EENS*.

Antes do cálculo da severidade, foram calculados os outros indicadores conforme descritos anteriormente. A probabilidade de perda de carga, *LOLP*, foi de 1,058%, levando a uma expectativa de perda de carga, *LOLE*, de 26,23 horas no ano (ou 1,093 dias por ano). O sistema ficou com uma expectativa de potência não suprida, *EPNS*, igual a 0,0039 MW/ano.

Analisando o sistema de maneira separada pelos níveis de geração estipulados, a pior situação é ao gerar apenas 20% da sua potência nominal (0,7 MW) com ventos abaixo de 7,2 m/s. Se operasse o tempo todo nesse nível, o sistema poderia perder somente 1 unidade geradora para ter condições de atender a demanda (22*0,7=15,4MW). Operando o ano todo somente com 20% da potência, verifica-se que a LOLP foi de 3,74%, a *LOLE* foi de 116 horas por ano (4,83 dias/ano) e a *EENS* de aproximadamente 42,80 MWh. Além disso, a severidade ficou enquadrada em grau 3, com 171,18 sist.-min.

De maneira análoga, o melhor caso seria operando com 100% da potência nominal,

em que seriam necessárias apenas 5 unidades geradoras para atender a demanda. Se mantidas as 23 aerogeradores, os índices de confiabilidade seriam: *LOLE* de 6,3E-29 horas/ano e uma EENS de 6,33E-29 MWh/ano, atingiu uma severidade de grau 0 com 2,53E-28 sist.-min.

Nas análises de confiabilidade feitas, observou-se que uma única máquina possui grande importância para o sistema. Com a retirada de 1 unidade, a severidade sobe para 289,23 sist.-min., colocando o parque em grau 3, não atendendo os requisitos especificados. Já adicionando uma máquina, 24 aerogeradores, obtém-se uma severidade de 3,85 sist-min., atingindo o grau 1. Percebe-se, com isso, a influência dos aspectos técnicos das máquinas utilizadas principalmente.

Outro ponto que reflete as questões de falha e reparo e também da fonte de energia é o fator de capacidade. Com 23 aerogeradores, verifica-se um fator de capacidade do parque de 18,63%. Ou seja, o parque tem instalado 80,5 MW para atender uma demanda de apenas 15 MW. Possuir uma capacidade instalada maior que cinco vezes que a demanda a ser suprida é reflexo, principalmente, da confiabilidade dos equipamentos empregados e da fonte energia. Com as medições de vento fornecidas, praticamente em 1/3 do tempo os aerogeradores estão em 20% da sua capacidade nominal, que é atingida em quase 45% do tempo, menos da metade. Por isso é importante uma análise precisa da questão da fonte de energia, no caso o vento, na região de interesse.

B. Análises de Sensibilidade

Para tornar o projeto mais preciso, foram feitas algumas análises de sensibilidade quanto à velocidade média do vento, projeção de aumento de carga a ser atendida, número de falhas e tempo de reparo. Variou-se a velocidade média do vento para mais e para menos, e observou-se a reação do sistema projetado, verificando a questão da severidade e o número de máquinas empregadas. De maneira análoga, fez-se uma projeção de aumento da carga a 1MW ao ano, durante 10 anos, e foi observada a resposta do sistema. Ainda, estudou-se a confiabilidade da unidade geradora, variando o número de falhas e o tempo gasto em reparo.

1) Projeção de aumento de carga

Fez-se uma projeção de aumento de carga de 1MW ao ano durante 15 anos. A curva da severidade ao longo desse período pode ser observada na Figura 8. Observa-se que logo no ano 1, quando a carga atinge 16 MW, a severidade já ultrapassa o limite do grau 2 e vai para grau 3, com aproximadamente 494,88 sist-min. Na metade da análise, com aumento de 8 MW, a carga atinge 23 MW e a severidade vai para grau 5, com cerca de 13010,31 sist-min. Portanto, o parque eólico com 23 unidades geradoras conforme projetado, está saturado em relação a um aumento de carga. O maior aumento de carga admitido para que o parque continue com grau 2 é de 2,853% (15,428 MW). Portanto, concluiu-se que para atender uma demanda maior que 15 MW mantendo o nível de confiabilidade e severidade,

devem-se aumentar o número de máquinas. Acrescentando uma máquina no parque pode-se aumentar a carga em ate 7,5% sem sair do grau 2 de severidade.

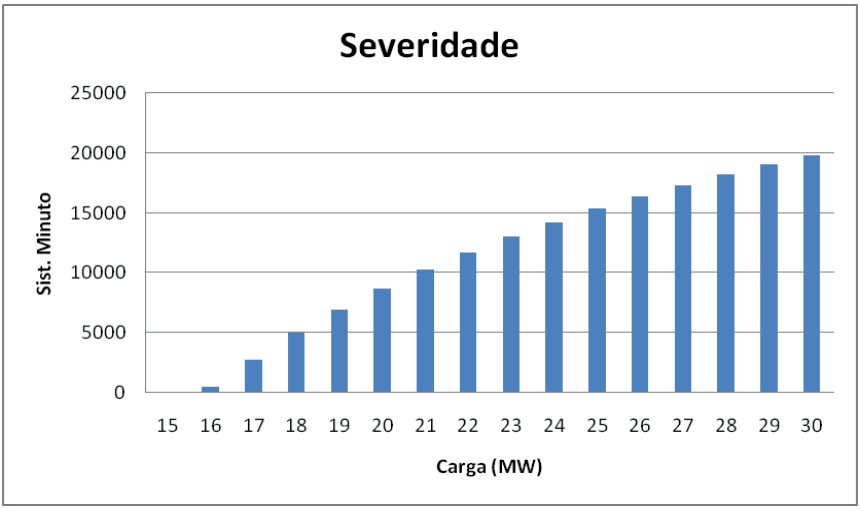


Figura 8: Severidade com o aumento de carga ao longo dos anos.

2) Variação da velocidade do vento

Quanto ao vento, diminuiu-se a velocidade das medições até o ponto em que o sistema projetado com 23 unidades geradoras saísse do grau 2 de severidade e entrasse para grau 3. Observou-se que com uma redução de até 48,5% da velocidade de projeto, o sistema permanece com grau 2 de severidade, aproximadamente 99,60 sist.-min, tendo a seguinte distribuição de tempo entre os níveis de geração: 72,77% do tempo para 20% da potência nominal, 21,98% para 60% da potência e 5,24% para potência nominal.

Para reduções maiores que essa, o sistema irá para grau 3 de severidade. A Figura 9 mostra a variação da severidade em função da variação percentual da velocidade média do vento. Observa-se a troca de grau 2 para grau 3 de severidade é dada com redução de 48,5% velocidade média para a qual o parque foi projetado, como dito anteriormente.

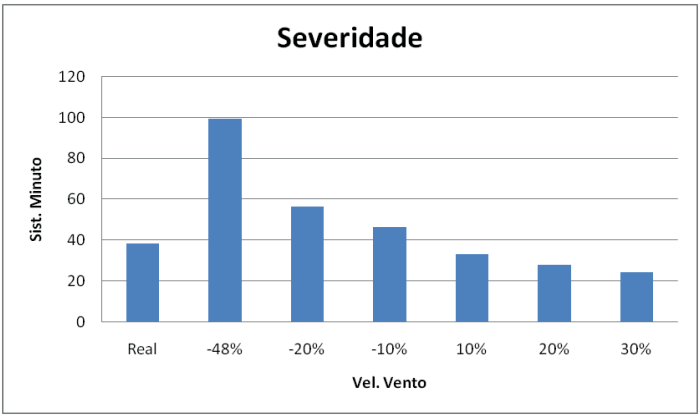


Figura 9: Variação da severidade em função da velocidade média do vento.

Para um aumento de mesma proporção, a severidade diminuiu para aproximadamente 18,98 sist.-min., permanecendo em grau 2. Para atingir grau 1, os ventos deveriam ter uma velocidade média maior que o dobro da atual, levando para uma severidade de em torno de 10,30 sist.-min. Entretanto, essa condição não é praticável, pois é improvável esse aumento de velocidade. Ainda se tem que com o dobro da velocidade, os aerogeradores precisariam que ser desligados em boa parte do tempo uma vez que se configurariam cenários turbulentos.

3) Variação do número de falhas e tempo de reparo

A última análise de sensibilidade é quanto ao número de falhas e tempo de reparo da unidade geradora disponibilizado pelo fabricante. Nesse sentido, como o número de falhas é igual ao número de reparos, sua variação não altera a probabilidade de sucesso. Para provar, variou-se o número de falhas mantendo o tempo de reparo constante e vice-versa. Triplicando o número de falhas para 90 e mantendo o tempo de reparo em 1169 horas, a probabilidade de sucesso permaneceu praticamente inalterada, variando apenas os valores da taxa de falha e de reparo. O mesmo aconteceu para uma diminuição de 10 falhas.

De maneira diferente, mantendo fixo o número de falhas e alterando o tempo de reparo obteve-se variação na probabilidade de sucesso do equipamento. Com as mesmas 30 falhas, mas com um tempo de reparo 10% menor, o p subiu de 0,98666 para 0,98799, o acarretou em uma redução da severidade para 31,31 sist-min. Já se aumentar o tempo de reparo em 10%, o p diminui para 0,98532, levando a uma severidade de 46,91 sist-min.. Para atingir o grau 3, deixando de atender os requisitos propostos, seria necessário um aumento de 60,2% no tempo de reparo (1875h), conforme pode ser visto na Figura 10. Para atingir o grau 4, seria necessário um incremento no tempo de reparo de 420%, ou seja, o tempo deveria passar de 1169h para 6078h, levando a severidade para 1006 sist-min.

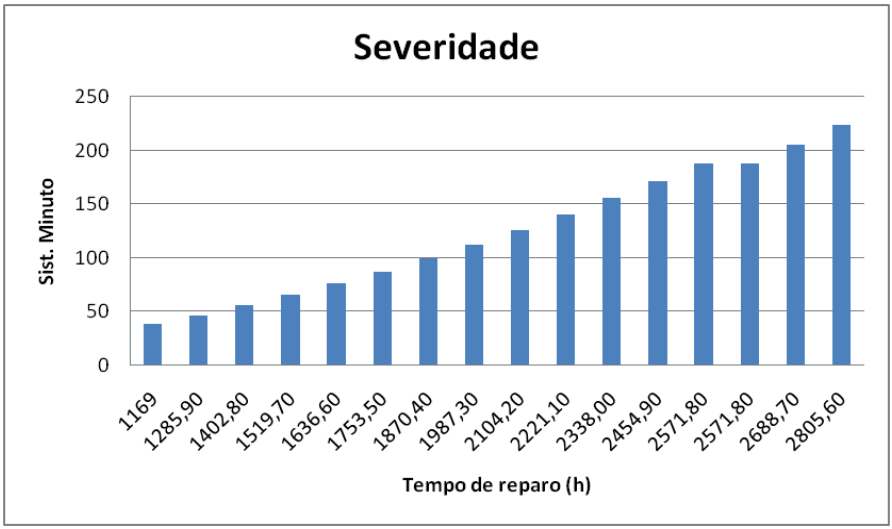


Figura 10: Variação da Severidade do em função do aumento do tempo de reparo.

Portanto, o mais importante para a análise de confiabilidade é a variação do tempo gasto em reparo dos equipamentos.

4) Variação da quantidade de geradores

A quantidade de geradores disponíveis no parque tem influência direta nos indicadores de LOLP, LOLE, EENS e Severidade. Sabendo que, nas melhores condições, o número mínimo de aerogeradores de 3,5 MW demandados para atender a carga de 15MW são 5 unidades, variou-se a quantidade de 5 até 25 unidades, de modo a obter a variação dos indicadores. A Tabela II mostra os indicadores obtidos em cada caso.

Qtd. de Aerogeradores	LOLP (%)	LOLE (h/ ano)	EPNS (MW)	EENS (MWh/ ano)	Severidade
5	57,94%	1442,233	4,538824	11125,26	44501,02566
6	55,14%	1331,674	3,758753	9222,615	36890,46111
7	55,03%	1327,248	3,008241	7436,435	29745,7406
8	31,01%	764,7773	2,691081	6667,017	26668,06952
9	28,45%	704,7401	2,4854	6158,741	24634,96557
10	28,29%	701,1349	2,289463	5673,286	22693,14386
11	28,29%	700,9746	2,094068	5189,1	20756,39912
12	28,29%	700,9687	1,898696	4704,968	18819,87123
13	28,29%	700,9685	1,703324	4220,838	16883,35109
14	28,29%	700,9685	1,507953	3736,708	14946,8312
15	28,29%	700,9685	1,312582	3252,578	13010,31131
16	28,29%	700,9685	1,117211	2768,448	11073,79143
17	28,29%	700,9685	0,921839	2284,318	9137,271544
18	28,29%	700,9685	0,726468	1800,188	7200,751659

19	28,29%	700,9685	0,531097	1316,058	5264,231774
20	28,29%	700,9685	0,335726	831,928	3327,711889
21	28,29%	700,9685	0,140354	347,798	1391,192004
22	7,24%	179,368	0,02918	72,30823	289,2329077
23	1,06%	26,23419	0,003906	9,679684	38,7187377
24	0,11%	2,733573	0,000388	0,96106	3,844238222
25	0,01%	0,224694	3,09E-05	0,076645	0,306581786

Tabela II: Indicadores de confiabilidade em função da quantidade de aerogeradores.

Em termos de Severidade do Sistema, verificou-se que esta é fortemente dependente da quantidade de aerogeradores. Perdendo uma unidade a severidade atinge grau 3 e com o acréscimo de uma unidade passa para o grau 1 e, com a adição de 2 aerogeradores, alcança o grau 0. Os demais indicadores também têm queda acentuada com o aumento de aerogeradores no parque.

C. Resumo dos casos

Das variáveis analisadas, foi observado que as que mais influenciam na variação do grau de severidade do sistema são a quantidade de máquinas e o aumento de carga. O tempo de reparo e a variação da velocidade média do vento têm menores influências nos graus de severidade. Para atingir o grau 3 seria necessário um aumento de 60% no tempo de reparo e uma redução de 48% na velocidade média dos ventos. A Tabela III apresenta os valores de severidade e o respectivo grau do caso base e das principais análises de sensibilidades que foram feitas e discutidas anteriormente.

Caso/Sensibilidade	Severidade (Sist-min)
Caso Base	38,71 - Grau 2
Redução de carga de 1 MW	0,5075 - Grau 0
Aumento de carga de 1 MW	494,88 - Grau 3
Aumento de carga de 5 MW	8653,14 - Grau 4
Redução da velocidade do vento em 30%	68,92 - Grau 2
Aumento da velocidade do vento em 30%	24,62 - Grau 2
Aumento de 140% no tempo de reparo	224 - Grau 3
Redução de 40% no tempo de reparo	8,79 - Grau 1
Redução de 80% no tempo de reparo	0,963 - Grau 0
Aumento de 1 aerogerador	3,84 - Grau 1
Aumento de 2 aerogeradores	0,3065 - Grau 0
Redução de 1 aerogerador	289,23 - Grau 3
Redução de 2 aerogerador2	1391,2 - Grau 4

Tabela III: Resumo das severidades dos principais casos.

6 | CONCLUSÕES

O trabalho apresentou um projeto de um parque eólico com base em análises de confiabilidade e severidade do sistema diante de uma demanda de 15 MW a ser atendida. O objetivo era enquadrar o sistema no grau 2 de severidade empregando aerogeradores de 3,5 MW, com uma estatística de 30 falhas e 1169 horas em reparo em dez anos. Com essas informações verificou-se a probabilidade de sucesso do equipamento. Ainda, verificou-se a potência gerada de acordo com a curva de vento da área de interesse.

O objetivo foi atingido empregando 23 aerogeradores, obtendo uma severidade de 38,71 sistema-minuto. Contudo, a partir das análises de sensibilidade, percebe-se que o sistema está saturado, pois se a carga sofrer um leve aumento, o parque já subirá de grau de severidade. O mesmo acontece se houver a perda de uma única unidade geradora ou se aumentar muito o tempo de reparo das falhas. Sendo assim, para continuar com grau 2 de severidade diante dessas situações, é recomendada a realização de uma análise econômica e de projeção de aumento de carga, viabilizando talvez a instalação de mais máquinas.

O estudo possibilitou avaliar que a confiabilidade é uma característica extremamente importante para o equipamento isolado e para o SEP em geral. O projeto de uma nova usina geradora a partir de fontes renováveis é extremamente delicado. Demanda-se da análise histórica da fonte a ser utilizada, dos dados de falhas dos equipamentos, do conhecimento da carga a ser atendida e suas oscilações, bem como da análise conjunta de aspectos financeiros e técnicos para garantir o suprimento energético dentro do planejado.

REFERÊNCIAS

[1] A. A. Bonato, “Sistema inteligente para previsão de carga multinodal em sistemas elétricos de potência.,” Tese de doutorado (Unesp), Ilha Solteira - SP, 2010.

[2] Aneel. (2019) Banco de Informação da Geração (BIG). [Online]. http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm

[3] R., Allan, R. N. Billinton, *Reability Evaluation of Power Systems*, 2nd ed. Nova York: Plenum Press, 1996.

[4] C.C.B Camargo, *Confiabilidade Aplicada a Sistemas de Potência*.: LTC/Eletrobras/FEESC., 1981.

[5] Mauricio Sperandio, “Notas de Aula em Confiabilidade,” UFSM, Santa Maria RS, 2019.

[6] Operador Nacional do Sistema. (2019) Submódulo 20.1 – Glossário. [Online]. www.ons.org.br › Submódulo 20.1 › Submódulo 20.1_Rev_1.0.pdf

[7] Operador Nacional do Sistema. (2019, outubro) Submódulo 22.3 – Análise de Perturbação. [Online]. www.ons.org.br › Submódulo 22.3 › Submodulo 22.3_Rev_1.0.pdf

[8] W. Sales, “Planejamento de Sistemas de Geração com Elevada Penetração de Energia Eólica,” Dissertação de Mestrado (Unifei), Itajubá, 2015.

[9] J. F. M. Pessanha., “Sistema de Inferência Neuro-Fuzzy Adaptativo - ANFIS.,” PUC - Rio, Rio de Janeiro, 2002.

CAPÍTULO 12

ESTIMATIVA DE PARÂMETROS EM MODELOS DE DINÂMICA DE HIV POR OTIMIZAÇÃO

Data de aceite: 01/09/2023

Ronaldo da Silva Cardoso
Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos (PPGEP)
Belém – Pará
http://lattes.cnpq.br/6895271066855626

Mailson Batista de Vilhena
Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia (PRODERNA)
Belém – Pará
http://lattes.cnpq.br/0383588164193085

Josiel Lobato Ferreira
Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos (PPGEP)
Belém – Pará
http://lattes.cnpq.br/0187722217624180

Bruno Marques Viegas
Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos (PPGEP)
Belém – Pará
http://lattes.cnpq.br/1196600058247902

Emanuel Negrão Macêdo
Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos (PPGEP)
Belém – Pará
http://lattes.cnpq.br/8718370108324505

RESUMO: A aplicação de modelos matemáticos na área de epidemiologia está em pleno desenvolvimento. Neste trabalho, estimou-se os valores dos parâmetros de dois modelos matemáticos da dinâmica do vírus HIV. O primeiro modelo representa a dinâmica do vírus HIV a longo prazo e o segundo representa a dinâmica das variáveis de estado a curto prazo. Os parâmetros dos modelos foram estimados utilizando os seguintes métodos de otimização do *software* Mathematica: Evolução Diferencial, Nelder Mead e Recozimento Simulado. Os modelos matemáticos foram representados em termos das variáveis de estado de células não infectadas, células infectadas e partículas virais livres, sendo as células infectadas classificadas como infectadas produtivamente e latentemente. Os resultados obtidos neste trabalho foram comparados com medidas simuladas

e modelos da literatura, cujos resultados obtidos apresentaram uma boa concordância e permitiram a análise da dinâmica do vírus, verificando os métodos de otimização utilizados neste trabalho.
PALAVRAS-CHAVE: Dinâmica do HIV, Otimização, Sistemas de EDOS, Modelos Compartimentados, Estimativa de Parâmetros.

PARAMETER ESTIMATION IN HIV DYNAMICS MODELS BY OPTIMIZATION

ABSTRACT: The application of mathematical models in the field of epidemiology is in full development. In this study, parameter values for two mathematical models of HIV virus dynamics were estimated. The first model represents the long-term dynamics of the HIV virus, while the second represents the short-term dynamics of state variables. The model parameters were estimated using the following optimization methods in Mathematica software: Differential Evolution, Nelder-Mead, and Simulated Annealing. The mathematical models were represented in terms of status variables for uninfected cells, infected cells, and free viral particles, with infected cells classified as productively and latently infected. The results obtained in this study were compared with simulated measures and models from the literature. The obtained results showed good agreement and allowed for the analysis of virus dynamics, verifying the optimization methods used in this study.
KEYWORDS: HIV Dynamics, Optimization, EDOS Systems, Compartmentalized Models, Estimate Parameters.

1 I INTRODUÇÃO

Modelos matemáticos, na área médica, são utilizados para estudar, entre outros objetivos, o comportamento de doenças infecciosas na população, planejamento e avaliação de programas de prevenção e controle, ensaios clínicos e análise custo-benefício de intervenções. Esses modelos podem, inclusive, projetar como as doenças infecciosas evoluem ao longo do tempo, podendo prever os padrões evolutivos da dinâmica de uma doença em populações. Esses modelos têm sido usados para estudar a dinâmica da infecção pelo HIV há décadas, fornecendo informações sobre os impactos potenciais de intervenções que são difíceis de medir empiricamente por questões de tempo, logística ou ética (OLIVEIRA *et al*., 2022).

Como uma doença infecciosa que ainda está sendo estudada, o que representa uma séria ameaça à saúde e segurança pública, o HIV precisa realizar uma extensa pesquisa científica para encontrar uma cura completa e tratamento médico. O principal método de pesquisa na comunidade científica atualmente é analisar e estudar as propriedades dinâmicas da AIDS usando conhecimentos e métodos de outras disciplinas. Nesse sentido, a modelagem matemática do HIV/AIDS pode identificar melhor o comportamento dinâmico do vírus no corpo, obter informações sobre a patogênese da doença e encontrar maneiras eficazes de controlar a doença (QI e MENG, 2021).

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo analisar o comportamento da

dinâmica do vírus HIV através de diferentes modelos matemáticos, cujos parâmetros importantes da dinâmica serão avaliados através de suas estimativas por diferentes métodos de otimização, pois diante da previsão realizada com os modelos será possível contribuir com informações sobre a dinâmica do vírus do HIV para o tratamento da síndrome.

2 I MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Modelo 1 – Alan S. Perelson, Denise E. Kirschner e Rob de Boer – 1993

O primeiro modelo a ser analisado tem como variáveis de estado as células sadias, T_{ni}, células infectadas latentemente, T_{il}, células infectadas produtivamente, T_{ip}, e as partículas virais livres, V.

Conforme observa-se na Figura 1, neste modelo, o balanço de células sadias é realizado através da contabilização de células sadias produzidas pelo timo a uma taxa s, e cada célula produzida pelo timo, quando em contato com o antígeno, se reproduz a uma taxa, p T_{ni}f (T_{ni}, T_{il}, T_{ip}), em que f (T_{ni}, T_{il}, T_{ip})= $\left(1-\frac{T_{ni}+T_{il}+T_{ip}}{T_{max}}\right)$ que depende das populações das células sadias, infectadas produtivamente, infectadas latentemente e de partículas virais livres. Dessa forma, o Modelo 1 é representado pelas Equações (1-4)

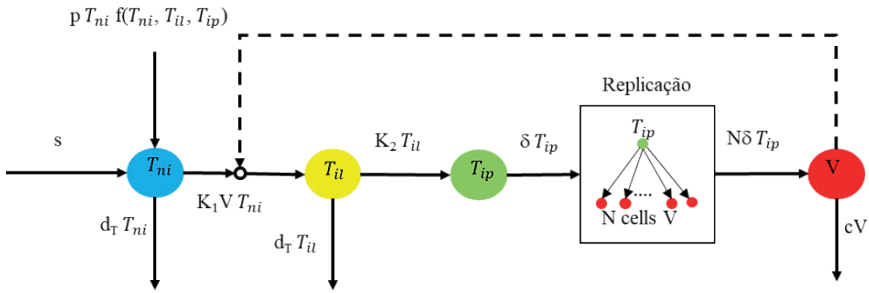


Figura 1 - Balanço de células sadias, infectadas latentemente, infectadas produtivamente e partículas virais para o modelo 1.

$$\frac{dT_{ni}}{dt} = s - d_T T_{ni} + pT_{ni}\left(1-\frac{T_{ni}+T_{il}+T_{ip}}{T_{max}}\right) - k_1 V T_{ni} \quad (1)$$

$$\frac{dT_{il}}{dt} = k_1 V T_{ni} - d_T T_{il} - k_2 T_{il} \quad (2)$$

$$\frac{dT_{ip}}{dt} = k_2 T_{il} - \delta T_{ip} \quad (3)$$

$$\frac{dV}{dt} = N\delta T_{ip} - k_1 V T_{ni} - cV \quad (4)$$

Os parâmetros desse modelo são:

s: Taxa de suprimento de células T CD4+ a partir de células precursoras;

p: Taxa de crescimento para a população de células T CD4+;

d_T: Taxa de morte da população de células T CD4+ não infectadas;

δ: Taxa de morte da população de células T CD4+ infectadas produtivamente;

c: Taxa de morte de vírus livres;

k_1: Taxa pela qual as células T CD4+ tornam-se infectadas latentemente por partículas virais livres;

k_2: Taxa pela qual as células T CD4+ infectadas latentemente tornam-se infectadas produtivamente.

As seguintes condições iniciais foram adotadas: $T_{ni}(0)=10^3 mm^{-3}$, $T_{ip}(0) = 0\ mm^{-3}$, $T_{il}(0)=0 mm^{-3}$ e $V(0)=10^{-3} mm^{-3}$, baseadas no trabalho de BEVILACQUA *et al.* (2008).

No estado estacionário, isto é, fazendo as taxas das variáveis de estado iguais a zero:

$$\frac{dT_{ni}}{dt} = 0, \frac{dT_{il}}{dt} = 0, \frac{dT_{ip}}{dt} = 0 \text{ e } \frac{dV}{dt} = 0 \qquad \text{(5a-d)}$$

Pode-se obter uma relação matemática que informa o número de partículas virais produzidas por cada célula infectada produtivamente em função dos parâmetros, dada pela Equação (6).

$$N_{crit} = \frac{(k_2+d_T)(c+k_1T_0)}{k_2k_1T_0} \qquad (6)$$

A Tabela 1 apresenta os valores dos parâmetros obtidos por BEVILACQUA *et al.* (2008) para a solução do modelo matemático apresentado.

Parâmetros	Valores	Unidades
s	10	$dia^{-1} \times mm^{-3}$
p	0,03	dia^{-1}
T_{max}	1500	mm^{-3}
d_T	0,02	dia^{-1}
δ	0,24	dia^{-1}
c	2,4	dia^{-1}
k	$2,4 \times 10^{-5}$	$mm^3 \times dia^{-1}$
k_1	$2,4 \times 10^{-5}$	$mm^3 \times dia^{-1}$
k_2	$3,0 \times 10^{-3}$	dia^{-1}

Tabela 1 - Valores dos parâmetros referentes aos modelos matemáticos.

Fonte: BEVILACQUA *et al.* (2008).

O número mínimo de partículas virais que uma célula T CD4+ infectada deve produzir para que haja infecção será chamado de N_{crit}. Essa definição é importante para obter o número de partículas virais geradas por cada célula infectada produtivamente no estado estacionário, pois o N_{crit} é o número que irá informar a partir de qual quantidade de

partículas virais ocorrerá o processo de infecção. Utilizando os parâmetros apresentados na Tabela 1, encontra-se N_{crit}=774, cujo valor está de acordo com o obtido em BEVILACQUA *et al.* (2008).

Os valores apresentados na Tabela 1 foram utilizados para o cálculo do N_{crit} no modelo 1 e para o cálculo do N do modelo 2, que será discutido a seguir.

2.2 Modelo 2 – Alan S. Perelson, Patrick W. Nelson – 1999

Neste modelo, nas equações para representar a dinâmica das células sadias e virais, a taxa de produção de células sadias é representada por uma função logística que faz com que essa população tenha uma saturação em T_{max} células. Em relação as células virais, a diferença está que neste modelo considera-se as replicações das células infectadas. Os balanços de células sadias, infectadas e virais são apresentadas de maneira qualitativamente na Figura 2 e o sistema matemático para este modelo é apresentado nas Equações (7–9).

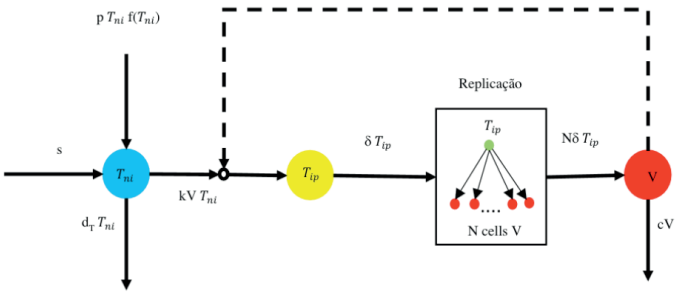


Figura 2 - Balanço de células, sadias, infectadas e partículas virais para o modelo 2.

$$\frac{dT_{ni}}{dt} = s - d_T T_{ni} + pT_{ni}\left(1 - \frac{T_{ni}}{T_{max}}\right) - kVT_{ni} \tag{7}$$

$$\frac{dT_{ip}}{dt} = kVT_{ip} - \delta T_{ip} \tag{8}$$

$$\frac{dV}{dt} = N\delta T_{ip} - cV \tag{9}$$

Os parâmetros do modelo 2 são:

s: Taxa de suprimento de células T CD4+ a partir de células precursoras;

p: Taxa de crescimento para a população de células T CD4+;

d_T: Taxa de morte da população de células T CD4+ não infectadas;

δ Taxa de morte da população de células T CD4+ infectadas produtivamente;

c: Taxa de morte de vírus livres;

k: Taxa pela qual as células T CD4+ tornam-se infectadas produtivamente por partículas virais livres.

Para esse modelo, foram utilizadas as condições iniciais de $T_{ni}(0)=10^3 mm^{-3}$,

$T_{ip}(0)=0mm^{-3}$, $T_{il}(0)=0mm^{-3}$ e $V(0)=10^{-3}mm^{-3}$, baseadas no trabalho de BEVILACQUA *et al.* (2008).

Como no modelo anterior partimos das taxas das variáveis de estado iguais a zero para chegarmos a um número mínimo de partículas virais geradas por cada célula infectada, e obtemos a seguinte relação de *N* em função dos parâmetros.

Escolhendo valores para *N*, de modo a avaliar o que ocorre nos casos em que o sistema está no estado estacionário, ou seja, N=100, ou não está em equilíbrio para os demais valores de N:

$$N = \frac{c}{kT_{ni_0}} => N = \frac{2.4}{2.4\times10^{-5}\times10^{3}} => N = 100 \qquad (10)$$

2.3 Métodos de otimização

2.3.1 NDSOLVE – Mathematica

A NDSOLVE é uma função intrínseca do *software* Mathematica que resolve numericamente equações e sistema de equações diferenciais. Neste trabalho, ela foi usada para resolver os sistemas de equações diferenciais utilizando os parâmetros de referência obtidos por BEVILACQUA *et al.* (2008). Neste trabalho, as medidas estimadas foram obtidas usando os três métodos de otimização citados a seguir.

2.3.1.1. DifferentialEvolution

É um método de otimização de busca direta paralela estocástica que é bastante rápido e razoavelmente robusto. A evolução diferencial é capaz de lidar com funções objetivas não diferenciáveis, não lineares e multimodais. Ele tem sido usado em aplicações de redes neurais com pesos inteiros reais e restritos. Em uma população de soluções potenciais dentro de um espaço de busca n-dimensional, um número fixo de vetores é inicializado aleatoriamente e depois evoluído ao longo do tempo para explorar o espaço de busca e localizar os mínimos da função objetivo. A cada iteração, chamada de geração, novos vetores são obtidos pela combinação de vetores escolhidos aleatoriamente na população atual (mutação).

Os vetores de saída são então misturados com um vetor de destino predeterminado. Essa operação é chamada de recombinação e produz o vetor de teste. O vetor de teste é aceito para a próxima geração se, e somente se, resultar em uma redução no valor da função objetivo. Este último operador é conhecido como seleção.

2.3.1.2. NelderMead

Esse é um método de otimização de busca direta que funciona moderadamente bem para problemas estocásticos. Baseia-se na avaliação de uma função nos vértices de um

simplex. Em seguida, encolhendo iterativamente o simplex conforme os melhores pontos são encontrados até que algum limite desejado seja obtido (NELDER e MEAD, 1965).

2.3.1.3. SimulatedAnnealing

Existem certos problemas de otimização que se tornam incontroláveis usando métodos combinatórios, conforme o número de objetos se torna grande. Para esses problemas, existe um algoritmo prático muito eficaz chamado de recozimento simulado (assim chamado porque imita o processo sofrido por átomos mal colocados em um metal quando é aquecido e depois lentamente resfriado). Embora seja improvável que essa técnica encontre a solução ideal, muitas vezes ela pode encontrar uma solução muito boa, mesmo na presença de dados ruidosos.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Solução dos problemas diretos

Para a solução do modelo direto, utilizou-se os valores dos parâmetros apresentados na Tabela 1, cujos resultados estão apresentados nas Figuras 3 e 4.

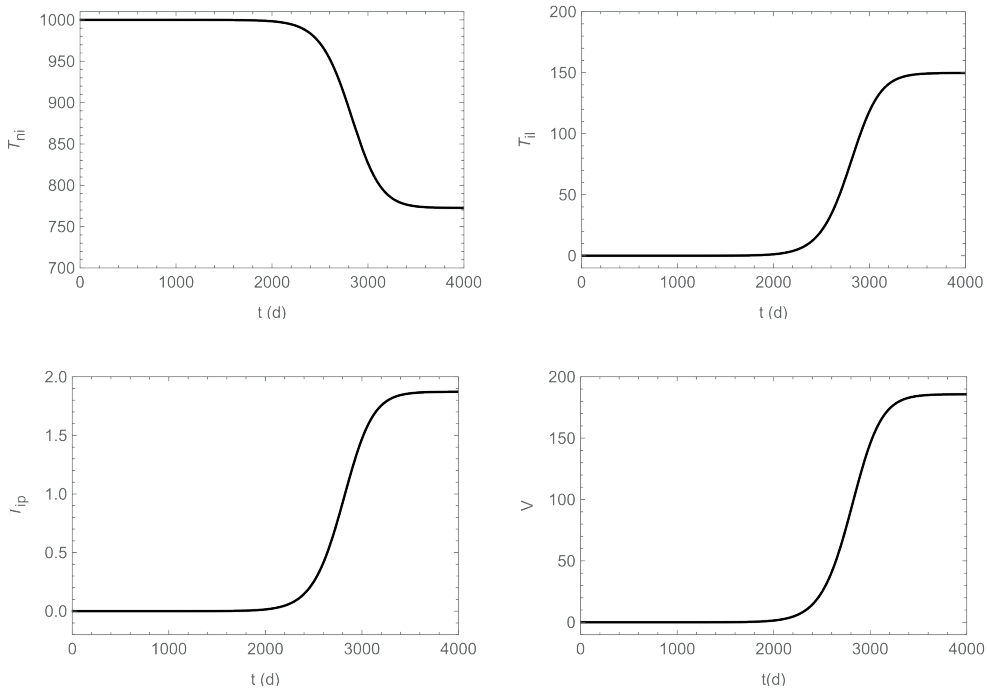


Figura 3 - Solução do modelo 1 utilizando o método de Runge-Kutta.

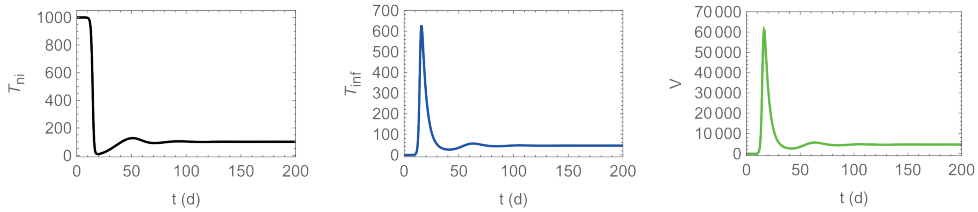


Figura 4 - Solução do modelo 2 utilizando o método de Runge-Kutta.

De acordo com os resultados, o primeiro modelo tem sua dinâmica aparente em um longo período de infecção do vírus, que é até 4000 dias. Enquanto o segundo modelo apresenta uma interação das células com o vírus em um menor período, 200 dias.

3.2 Resultados das estimativas dos parâmetros

Foram simulados resultados usando números aleatórios com erro de 1% (s = 1 %) e 5% (s = 5 %), para 25 amostras (N_{med} = 25), para os dois modelos, em que o **caso a** representa o método **DifferentialEvolution** na rotina NMINIMIZE do Mathematica, o **caso b** o método de **NelderMead** na rotina NMINIMIZE do Mathematica e o **caso c** o método **SimulatedAnnealing** na rotina NMINIMIZE do Mathematica.

As Tabelas 2 e 3 representam as estimativas dos parâmetros para o modelo 1, considerando os três métodos de otimização.

σ = 1 %, N_{med} = 25, T_{max} = 1500 (mm^{-3})								
Parâmetros		s (d^{-1} mm^{-3})	p (d^{-1})	d_T (d^{-1})	δ (d^{-1})	c (d^{-1})	k_1 x 10^5 (mm^3/d)	k_2 x 10^3 (mm^3/d)
Parâmetros de Referência		10	0,03	0,02	0,24	2,4	2,4	3
NMinimize								
Restrições		7 ≤ s ≤ 14	0,015 ≤ p ≤ 0,045	0,015 ≤ d_T ≤ 0,03	0,1 ≤ δ ≤ 0,5	1 ≤ c ≤ 4	0,8 ≤ k_1 x10^5 ≤ 8	2 ≤ k_2 x10^3 ≤ 80
Caso – “a”	Estimativa	11,81	0,0278	0,0204	0,1078	3,9575	2,4862	5,2511
Caso – “b”	Estimativa	7,745	0,0380	0,0230	0,4572	2,0695	3,9389	2,7239
Caso – “c”	Estimativa	11,95	0,0305	0,0218	0,1401	3,8660	4,4699	2,0000

Tabela 2 - Resultado das estimativas do modelo 1 com s = 1 %.

Legenda: IC – Intervalo de confiança; a – DifferentialEvolution; b – NelderMead; c – SimulatedAnnealing.

σ = 5 %, N_{med} = 25, T_{max} = 1500 (mm^{-3})								
Parâmetros		s (d^{-1} mm^{-3})	p (d^{-1})	d_T (d^{-1})	δ (d^{-1})	c (d^{-1})	k_1 x 10^5 (mm^3/d)	k_2 x 10^3 (mm^3/d)
Parâmetros de Referência		10	0,03	0,02	0,24	2,4	2,4	3
NMinimize								
Restrições		7 ≤ s ≤ 14	0,015 ≤ p ≤ 0,045	0,015 ≤ d_T ≤ 0,03	0,1 ≤ δ ≤ 0,5	1 ≤ c ≤ 4	0,8 ≤ k_1 x10^5 ≤ 8	2 ≤ k_2 x10^3 ≤ 80
Caso – "a"	Estimativa	13,17	0,0313	0,0228	0,1033	3,3620	2,2236	5,4863
Caso – "b"	Estimativa	7,745	0,0380	0,0230	0,4572	2,0695	3,9389	2,7239
Caso – "c"	Estimativa	12,11	0,0361	0,0234	0,3474	2,9894	4,7749	2,0000

Tabela 3 – Resultado das estimativas do modelo 1 com s = 5 %.

Legenda: IC – Intervalo de confiança; a – DifferentialEvolution; b – NelderMead; c – SimulatedAnnealing.

Utilizando os valores dos parâmetros obtidos pelos métodos de otimização, foram obtidos os gráficos das células não infectadas (T_{ni}), infectadas latentemente (T_{il}), infectadas produtivamente (T_{ip}) e de vírus livres (V). Para a representação da comparação dos resultados, foram avaliadas as condições com N_{med} =25 e erros de 1 e 5%, conforme apresentam as Figuras 5 e 6, respectivamente.

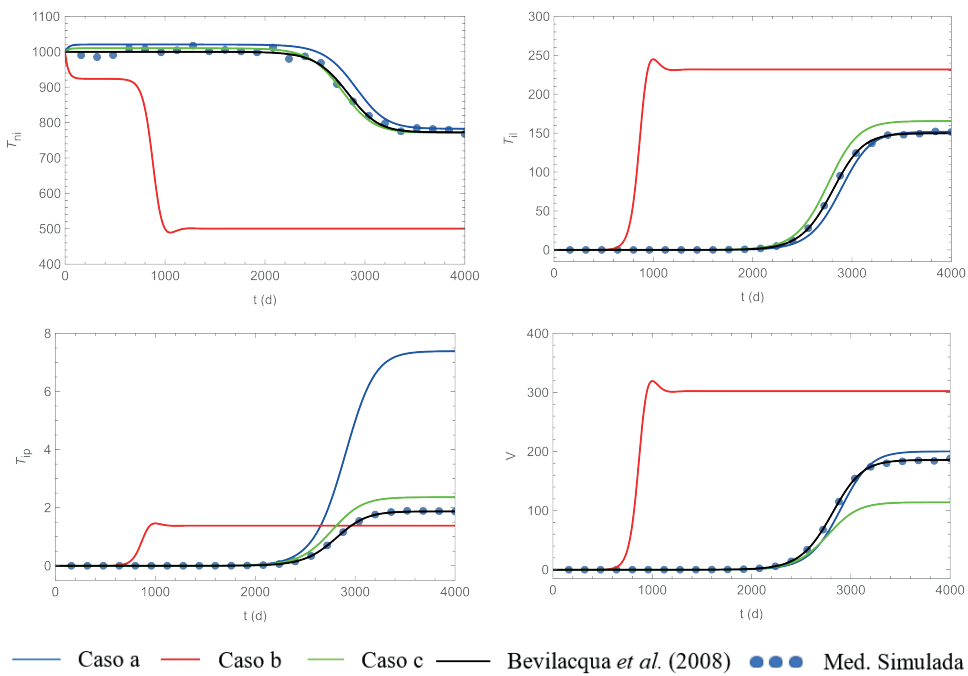


Figura 5 – Solução do modelo 1 usando valores de referência, medidas simuladas e estimadas com σ = 1 % e N_{med} = 25.

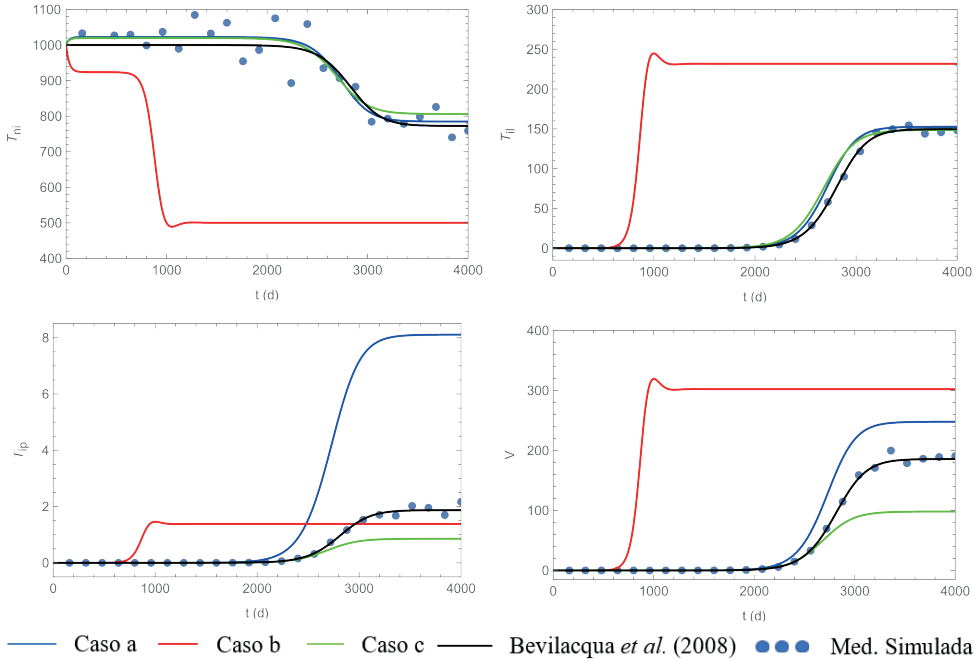


Figura 6 – Solução do modelo 1 usando valores de referência, medidas simuladas e estimadas com σ = 5 % e N_{med} = 25.

Observando os resultados obtidos, Tabelas 2 e 3, Figuras 5 e 6, verifica-se que os métodos tendem a convergir a um resultado satisfatório quando é iniciado de valores próximos aos valores de referência. Isso ocorre por conta da tendência da dependência linear dos parâmetros analisados. A variação de alguns parâmetros, como δ, não influenciaram tanto nos resultados. No entanto, outros parâmetros como d_T, k_1, k_2 e c, quanto mais distantes dos parâmetros de referência, tendem a não convergir (BEVILACQUA *et al.*, 2008).

Biologicamente, as dinâmicas analisadas no modelo 1 indicam que em um primeiro momento, com a entrada do vírus no organismo, o sistema imunológico reage e a partir desse processo há um aumento de células sadias e uma diminuição de partículas virais. Em um segundo momento, bastante longo por conta das células infectadas latentemente, tem-se uma estabilidade no número das variáveis de estado. Após esse momento, as células infectadas latentemente tornam-se infectadas produtivamente e ocorre um aumento do número de partículas virais, por conta de sua reprodução estar relacionada com a morte da célula que o vírus invadiu, resultando em um maior número de vírus que infectará um maior número de células. Essa relação pode ser observada nos gráficos, em que há um aumento de partículas virais e de células infectadas, seguido de uma diminuição de células sadias. Quando o número de células sadias chega a $200mm^{-3}$ no plasma sanguíneo, ocorre o diagnóstico da AIDS.

As Tabelas 4 e 5 representam as estimativas dos parâmetros para o modelo 2,

considerando os três métodos de otimização.

σ = 1 %, N_{med} = 25, T_{max} = 1500 (mm^{-3})							
Parâmetros		**s (d^{-1} mm^{-3})**	**p (d^{-1})**	**d_T (d^{-1})**	**δ (d^{-1})**	**c (d^{-1})**	**k_1 x 10^5 (mm^3/d)**
Parâmetros de Referência		**10**	**0,03**	**0,02**	**0,24**	**2,4**	**2,4**
NMinimize							
Restrições		$7 \leq s \leq 14$	$0,015 \leq p \leq 0,045$	$0,015 \leq d_T \leq 0,03$	$0,1 \leq \delta \leq 0,5$	$1 \leq c \leq 4$	$0,8 \leq k_1 x10^5 \leq 8$
Caso – “a”	Estimativa	10,83	0,0306	0,0221	0,2618	2,4839	2,2621
Caso – “b”	Estimativa	7,446	0,0166	0,0156	0,1312	1,8495	3,7890
Caso – “c”	Estimativa	10,16	0,0389	0,0270	0,2329	2,3309	2,4783

Tabela 4 - Resultados das estimativas do modelo 2 com σ = 1 %.

Legenda: IC – Intervalo de confiança; a – DifferentialEvolution; b – NelderMead; c – SimulatedAnnealing.

σ = 5 %, N_{med} = 25, T_{max} = 1500 (mm^{-3})							
Parâmetros		**s (d^{-1} mm^{-3})**	**p (d^{-1})**	**d_T (d^{-1})**	**δ (d^{-1})**	**c (d^{-1})**	**k_1 x 10^5 (mm^3/d)**
Parâmetros de Referência		**10**	**0,03**	**0,02**	**0,24**	**2,4**	**2,4**
NMinimize							
Restrições		$7 \leq s \leq 14$	$0,015 \leq p \leq 0,045$	$0,015 \leq d_T \leq 0,03$	$0,1 \leq \delta \leq 0,5$	$1 \leq c \leq 4$	$0,8 \leq k_1 x10^5 \leq 8$
Caso – “a”	Estimativa	9,852	0,0315	0,0174	0,2159	2,3887	2,6688
Caso – “b”	Estimativa	7,446	0,0166	0,0156	0,1312	1,8495	3,8078
Caso – “c”	Estimativa	10,46	0,0350	0,0173	0,2422	2,6821	2,5035

Tabela 5 - Resultados das estimativas do modelo 2 com σ = 5 %.

Legenda: IC – Intervalo de confiança; a – DifferentialEvolution; b – NelderMead; c – SimulatedAnnealing.

Utilizando os valores dos parâmetros obtidos pelos métodos de otimização, foram obtidos os gráficos das células não infectadas (T_{ni}), infectadas produtivamente (T_{ip}) e de vírus livres (V). Para a representação e comparação dos resultados, foram avaliadas as condições com N_{med} = 25 e erros de 1% e 5%, conforme apresentam as Figuras 7 e 8, respectivamente.

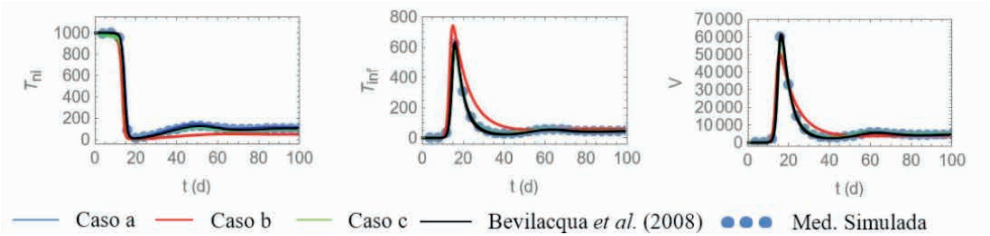


Figura 7 - Solução do modelo 2 usando valores de referência, medidas simuladas e estimadas com σ = 1 % e N_{med} = 25.

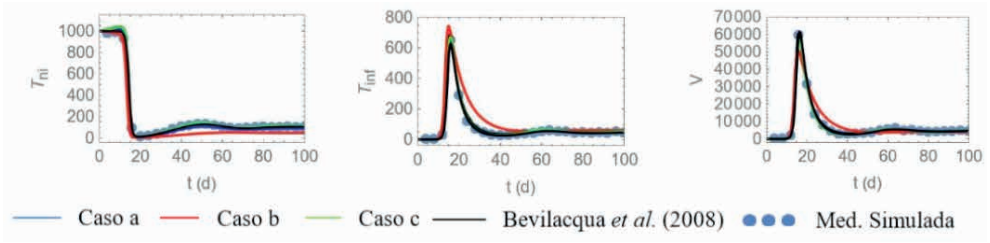


Figura 8 - Solução do modelo 2 usando valores de referência, medidas simuladas e estimadas com σ = 5 % e N_{med} = 25.

No modelo 2, obteve-se um melhor resultado por conta de um menor número de equações e menor número de parâmetros. Quanto menor o erro adotado, melhor foram os resultados obtidos. Os resultados foram comparados com os apresentados na Tabela 1, cujos valores estão de acordo com os obtidos por BEVILACQUA *et al.* (2008).

4 I CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho mostraram que o número de partículas virais influencia na estimativa dos parâmetros. Para cada modelo, confirmou-se um valor para *N*, em que a partir desse valor tem-se uma modificação nas variáveis de estado de forma que os resultados estão de acordo com os da literatura.

Nos dois modelos foram usados o mesmo valor de *N* = 1000, que representa o número de partículas virais produzidas por célula infectada. O método de Runge-Kutta mostrou-se eficaz na solução dos modelos matemáticos avaliados, cujos resultados apresentados estão de acordo com os da literatura.

Os métodos de otimização estudados mostraram que é possível predizer a dinâmica do vírus HIV, cujos parâmetros estimados servem para predizer o comportamento das variáveis de estado ao longo do tempo, possibilitando diferentes análises da dinâmica e com isso permitindo tomadas de decisões com relação ao vírus.

REFERÊNCIAS

Bevilacqua, J. S.; Rafikov, M.; Guedes, C. L. C. Modelagem em biomatemática. São Paulo. SBMAC. 2008.

Nelder, J. A.; Mead, R., "*A Simplex Method for Function Minimization", Comput. J.,* 7, 308-313, 1965.

Oliveira, R. B.; Rubio, F. A.; Anderle, R.; Sanchez, M.; Souza, L. E.; Macinko, J.; Dourado, I.; Rasella, D., "*Incorporating social determinants of health into the mathematical modeling of HIV/AIDS*". *Sci. Rep.*, 12, 20541, 2022.

Perelson, A. S.; Kirschner, D. E.; De Boer, R., "*Dynamics of HIV infection of CD4+ T cells", Math Biosci.,* 114, 81-125, 1993.

Perelson, A. S.; Nelson, P. W.; *"Mathematical analysis of HIV-1 dynamics in vivo"*, *SIAM Review*, 41, 3-44, 1999.

Qi, H.; Meng, X., "*Mathematical modeling, analysis and numerical simulation of HIV: The influence of stochastic environmental fluctuations on dynamics"*, *Mathematics and Computers in Simulation*, 187, 700-719, 2021.

CAPÍTULO 13

ESTUDO CONFIABILÍSTICO DE CHAPAS PERFURADAS UTILIZANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS DE CONTORNO

Data de submissão: 29/06/2023 *Data de aceite: 01/09/2023*

Luís Philipe Ribeiro Almeida
Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas
São Carlos – SP
http://lattes.cnpq.br/4965036934315787

Herbert Medeiros Torres Lopes
Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas
São Carlos – SP
http://lattes.cnpq.br/7034927727844327

Lucas da Mata Rocha Menezes
Pontifícia Universidade Católica do Rio (PUC-Rio), Departamento de Engenharia de Estruturas
Rio de Janeiro - RJ
http://lattes.cnpq.br/8177329687046734

Ray Calazans dos Santos Silva
Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas
São Carlos – SP
http://lattes.cnpq.br/5372629655559184

Lucas Henrique Oliveira Muniz
Universidade Federal de Alagoas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil,
Maceió-AL
http://lattes.cnpq.br/6213188972538616

Francisco de Assis V. B. Júnior
Universidade Federal de Alagoas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil,
Maceió-AL
http://lattes.cnpq.br/1862904417576730

RESUMO: Neste trabalho, é desenvolvido uma análise da redução do custo computacional no cálculo da probabilidade de falha de conexões metálicas, utilizando-se de fundamentos da computação paralela. Na análise, dimensionamento e manutenção de estruturas de aço, verificações no que diz respeito a requisitos mínimos para um bom funcionamento estrutural se traduzem em critérios quase sempre definidos como eventos estatísticos, ou seja, as variáveis envolvidas nesses eventos traduzem incertezas inerentes a fatores presentes em todas as etapas do projeto. O método de simulação de Monte Carlo surge como uma ferramenta a quantificar essas incertezas presentes, considerando os parâmetros estatísticos presentes no processo. Inicialmente foi desenvolvido um estudo referente à computação de alto desempenho, analisando os conceitos da programação paralela, bem como os seus

principais padrões. Dentre eles, destaca-se o MPI o qual se baseia no conceito de comunicação entre máquinas paralelas com memória distribuída por meio da troca de mensagens, e foi escolhido como foco para desenvolver o estudo proposto neste trabalho. Posteriormente, é elaborado a formulação linear do Método dos Elementos de Contorno (MEC), desenvolvendo suas equações integrais e apresentando a discretização utilizada no contorno do problema, através de elementos isoparamétricos com aproximação linear. Em seguida, são formulados os conceitos da confiabilidade estrutural, com foco no método de simulação de Monte Carlo. Por fim, é realizado a validação da teoria apresentada com uma aplicação referente à ligação metálica de uma chapa perfurada. Exemplos foram desenvolvidos e uma significativa melhoria em termos de custo computacional foi observada quando a computação de alto desempenho (MPI) foi utilizado em associação com o método de simulação de Monte Carlo. A principal contribuição deste trabalho é fornecer resultados que apontam as contribuições benéficas da utilização da computação de alto desempenho em problemas de engenharia. Auxiliando engenheiros e estudantes no desenvolvimento deste tema, contribuindo para a disseminação e avanço da sua análise.
PALAVRAS-CHAVE: Confiabilidade Estrutural, Método dos Elementos de Contorno, Computação de alto desempenho.

1 I INTRODUÇÃO

Conexões metálicas são detalhes construtivos que promovem a união de partes da estrutura consigo mesma ou com elementos externos a ela. Elas são estabelecidas de duas formas: (a) por elementos de ligação; (b) pelos meios de ligação. Os elementos são descritos como chapas, enrijecedores, placas de base, cantoneiras consolo e talas de emenda. Estes têm a função de permitir ou a facilitar a transmissão dos esforços entre os elementos estruturais. Já os meios de ligação são utilizados para promover a união entre os elementos de ligação e os elementos estruturais, garantindo assim formação completa da ligação. Esses componentes devem ser dimensionados de forma que sua resistência de cálculo a um determinado estado-limite último seja igual ou superior à solicitação de cálculo, determinada pela análise da estrutura sujeita às combinações de cálculo das ações e pela porcentagem especificada da resistência da barra ligada.

A análise estrutural de diversos problemas de engenharia, incluindo o estudo de conexões metálicas, normalmente se utiliza de métodos numéricos, pois solução analíticas pode ser de difícil obtenção ou impossível de ser alcançada. Os métodos numéricos mais utilizados são o Método dos Elementos Finitos (MEF), Método das Diferenças Finitas, Método dos Elementos de Contorno (MEC), Método sem malha, entre outros. Esses métodos procuram fornecer uma solução aproximada para o problema, a qual, dependendo da complexidade do estudo, pode demandar um alto custo computacional para a obtenção de respostas mais precisas. Neste contexto, dentre os métodos numéricos mais usuais, o Método dos Elementos de Contorno (MEC) tem sido utilizado como uma importante ferramenta na análise de problemas da engenharia, com destaque para casos onde se tem

elevados gradientes de tensão, além de problemas que tenham seu domínio estendido ao infinito ou semi-infinito.

O processamento paralelo realiza uma divisão de uma aplicação específica de tal maneira que suas partes possam ser distribuídas e executadas por vários elementos de processamento simultaneamente. Esses elementos irão cooperar entre si e trabalhar na busca da solução desejada. Dentre as estratégias de paralelização mais usuais, destaca-se aquela baseada no paradigma de troca de mensagens. Neste padrão, a aplicação é construída de forma a possuir funções de envio e recebimento de mensagens entre os processadores utilizados. A biblioteca de comunicação MPI normalmente é a ferramenta mais usual para implementação computacional deste procedimento. O conceito de processamento paralelo acoplado ao MEC é um caminho de redução dos requisitos computacionais de problemas com uma maior complexidade matemática. Este acoplamento na maioria das vezes é realizado nas sub-rotinas internas do MEC, e geralmente se mostra eficaz na proposta que é idealizado. Alguns trabalhos utilizam o conceito de máquinas paralelas acoplado com o MEC, pode-se citar: Merta e Zapletal (2015), Mammoli e Ingber (2000), Ingber e Tanskin (2005) e Ataseven et al. (2008).

Neste trabalho, a implementação utilizada para resolução de problemas de conexões metálicas pode ser dividida em três etapas; 1) utiliza-se a formulação linear do MEC para determinação de parâmetros mecânicos relacionados a deslocamentos e tensões; 2) a confiabilidade estrutural é acoplada ao modelo mecânico para fins de avaliação da probabilidade de violação de certos modos de falha. Nesse contexto, o processo exaustivo de Monte Carlo para avaliação da probabilidade de falha pode ser altamente custoso, o que conduz a utilização da computação de alto desempenho com o conceito de troca de mensagens (MPI); 3) A utilização do conceito de maquinas paralelas é integrado diretamente na rotina de confiabilidade objetivando-se a redução do custo computacional para cada chamada do modelo mecânico. Para fins de validação do programa elástico e do acoplamento entre a rotina de confiabilidade e o procedimento de comunicação entre máquinas paralelas com memória distribuída, utiliza-se o caso de uma conexão simples como estratégia de validação de todas as etapas implementadas.

2 | APLICAÇÃO DO MPI NO CASO DE ESTUDO

A aplicação do MPI no estudo analisado segue o apresentado na Fig. 1, o uso do MPI permite uma grande escalabilidade no processo de cálculo, pois o MPI pode ser utilizado em clusters que possuem centenas de processadores, assim como em rede interna de computadores de modo a utilizar os processadores de todos os computadores conectados à rede, ou até mesmo o uso em um único computador, onde o custo de transporte de informações é bem inferior.

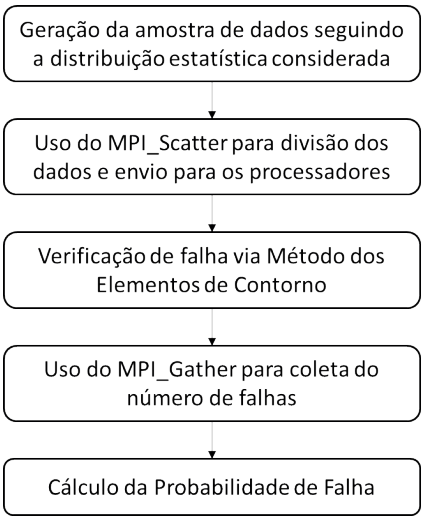


Figura 1. Fluxograma da aplicação do MPI no estudo de caso

A Fig. 2 exemplifica a diferença entre o cálculo utilizando o MPI e sem o seu uso. Não se pode afirmar que com o dobro de processadores o custo computacional será reduzido pela metade, uma vez que com o uso do processamento paralelo insere-se um custo associado ao processo de comunicação entre os processadores.

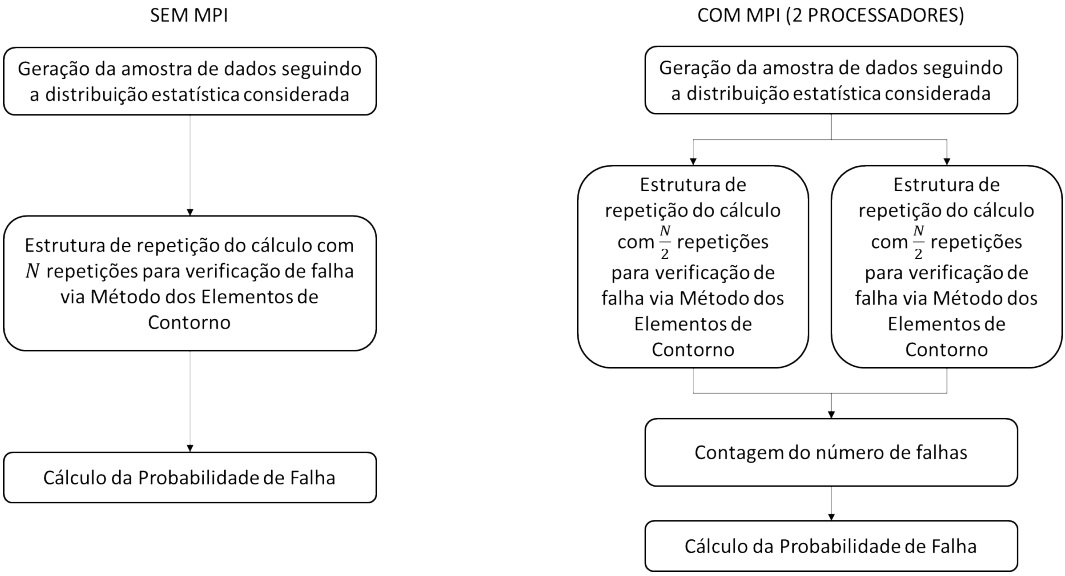


Figura 2. Comparativo do fluxo de cálculo com processamento serial e paralelo

3 | FORMULAÇÃO LINEAR DO MÉTODO DOS ELEMENTOS DE CONTORNO

O MEC é uma ferramenta numérica que se caracteriza pela não necessidade de definição de malhas sobre o domínio de interesse. Tal estratégia torna-se uma elegante e econômica alternativa às técnicas chamadas de métodos de "domínio". Algumas áreas de atuação podem ser citadas: Mecânica dos fluidos, elasticidade linear ou não linear, mecânica da fratura, dinâmica das estruturas, eletromagnetismo, acústica, dentre outras. A discretização da geometria do contorno através de elementos unidimensionais é apresentada na Fig. 3.

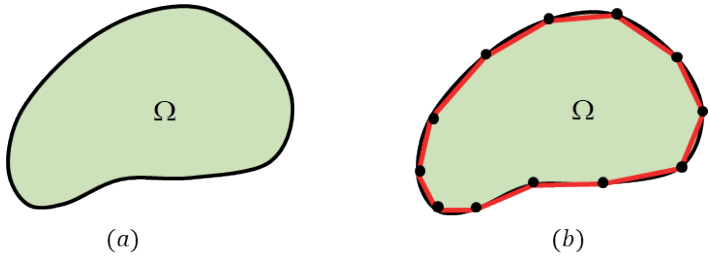


Figura 3. Geometria real (a) Discretização por elementos de contorno lineares (b).

3.1 Equações integrais de contorno

Existem três principais maneiras de obter a formulação do MEC, seja por meio do método dos resíduos ponderados, através do teorema da reciprocidade de Betti ou até mesmo utilizando uma formulação variacional semelhante à utilizada no MEF. Embora o procedimento via resíduos ponderados seja amplamente utilizado no meio acadêmico, adota-se aqui a formulação baseada no teorema da reciprocidade de Betti, proposto por Somigliana (1986). Seja um domínio Ω, limitado por um contorno Γ, submetido a dois estados de carregamento: o primeiro representa o problema em estudo e o segundo, o problema de Kelvin. A partir do teorema da reciprocidade de Betti, tem-se:

$$\int_{\Omega} \sigma_{jk}(q)\varepsilon^{*}_{ijk}(s,q)d\Omega = \int_{\Omega} \sigma^{*}_{ijk}(s,q)\varepsilon_{jk}(q)d\Omega \tag{1}$$

em que σ_{jk} e ε_{jk} são as componentes de tensão e deformação e σ^{*}_{jk} e ε^{*}_{jk}, são as componentes do problema de Kelvin. Após sucessivas manipulações matemáticas, sabendo que $\delta_{ij}u_j=u_i$ e lembrando-se que para , chega-se à Eq.(2):

$$u_i(s) = -\int_{\Gamma} P^{*}_{ij}(s,q)u_j(q)d\Gamma + \int_{\Gamma} u^{*}_{ij}(s,q)P_j(q)d\Gamma + \int_{\Omega} b_j(q)u^{*}_{ij}(s,q)d\Omega \tag{2}$$

A equação de Somigliana, definida na Eq. (2), representa o campo de deslocamentos em um ponto de colocação *s*. Com auxílio da Lei de Hooke, obtém-se a equação integral de tensões para pontos internos, a seguir:

$$
\begin{aligned}
&-\int_\Gamma [\frac{2Gv}{1-2v}\delta_{ij}P^*_{lk,l} + G(P^*_{ik,j} + P^*_{jk,i})]u_k d\Gamma \\
\sigma_{ij}(s) = &+\int_\Gamma [\frac{2Gv}{1-2v}\delta_{ij}u^*_{lk,l} + G(u^*_{ik,j} + u^*_{jk,i})]P_k \, d\Gamma \\
&+\int_\Gamma [\frac{2Gv}{1-2v}\delta_{ij}u^*_{lk,l} + G(u^*_{ik,j} + u^*_{jk,i})]b_k \, d\Gamma
\end{aligned} \tag{3}
$$

A identidade de Somigliana (2) permite a obtenção dos valores de deslocamentos em qualquer ponto do domínio, a partir de valores de forças e deslocamentos no contorno, das forças que atuam no domínio (caso existam) e da solução fundamental. Como a identidade de Somigliana é válida apenas para pontos no domínio, esta é manipulada de forma a obter a representação integral dos deslocamentos no contorno, Eq. (4).

$$
c_{ij}(s)u_j(s) = -\int_\Gamma P^*_{ij}(s,q)u_j(q)d\Gamma + \int_\Gamma u^*_{ij}(s,q)P_j(q)d\Gamma + \int_\Omega b_j(q)u^*_{ij}(s,q)d\Omega \tag{4}
$$

Para contorno suave $c_{ij}(s)$ assume o valor,

$$
c_{ij}(s)u_j(s) = \frac{1}{2}\delta_{ij}u_j(s) \tag{5}
$$

Já para contorno com angulosidade, $c_{ij}(s)$ é definido pela Eq. (6), a seguir.

$$
c_{ij}(s)u_j(s) = \begin{bmatrix} \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{\cos 2\gamma sen\alpha}{4\pi(1-v)} & \frac{sen2\gamma sen\alpha}{4\pi(1-v)} \\ \frac{sen2\gamma sen\alpha}{4\pi(1-v)} & \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{\cos 2\gamma sen\alpha}{4\pi(1-v)} \end{bmatrix} u_j(s) \tag{6}
$$

4 I MÉTODO DE SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

Um dos principais objetivos da confiabilidade refere-se a avaliação da probabilidade de falha, o que na prática depende da quantidade de variáveis aleatórias dependentes e com distribuições não normais. Por este motivo, o método de simulação de Monte Carlo surge como uma técnica alternativa, envolvendo exaustivas repetições do problema em estudo, utilizando em cada processo uma realização particular de variáveis aleatórias do problema. Estas repetições fornecem um conjunto de soluções, uma para cada realização, representando a saída simulada do problema. Melchers e Beck (2018) retratam o método de Monte Carlo como uma técnica que envolve simular artificialmente um grande número de elementos e observar o resultado encontrado. No caso da análise da confiabilidade em estruturas, isto significa do modo mais simples, que cada variável aleatória X_i pode fornecer aleatoriamente um determinado valor. Basicamente, a técnica consiste em produzir N eventos aleatórios a serem avaliados na equação do estado limite G(X), Fig. 4. Assim, a probabilidade de falha é estimada como a razão entre o número de eventos de falha (N_f) e o número total de eventos (N),

$$P_f = \frac{N_f}{N} \tag{7}$$

A precisão do método está relacionada com o tamanho da amostragem, e pode ser avaliado pelo coeficiente de variação (*COV*) da probabilidade de falha. Com o objetivo de obter uniformidade na resposta, para diferentes execuções do método, estima-se um número de cenários mínimos para que uma probabilidade de falha P_f seja determinada com um almejado coeficiente de variação δ,

$$N_{\min} = \frac{1}{\delta^2}\frac{1-P_f}{P_f} \tag{8}$$

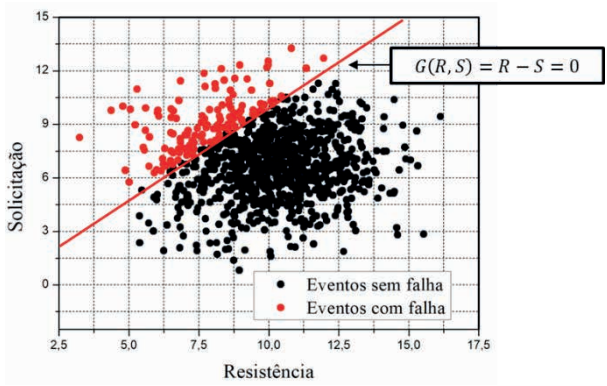


Figura 4. Exemplo ilustrativo da simulação de Monte Carlo.

5 | APLICAÇÃO

Esta seção apresenta um exemplo para fins de validação e aplicação da formulação do MEC linear acoplada à análise de confiabilidade por Monte Carlo, onde MPI é utilizado para reduzir o custo computacional das simulações numéricas realizadas no estudo. Trata-se de uma chapa de aço (aço SAE 1045) com furo circular central, a qual simula a conexão simples entre uma seção do elemento de ligação de cantoneira e um parafuso, Na Fig. 5 é possível visualizar as propriedades físicas e geométricas.

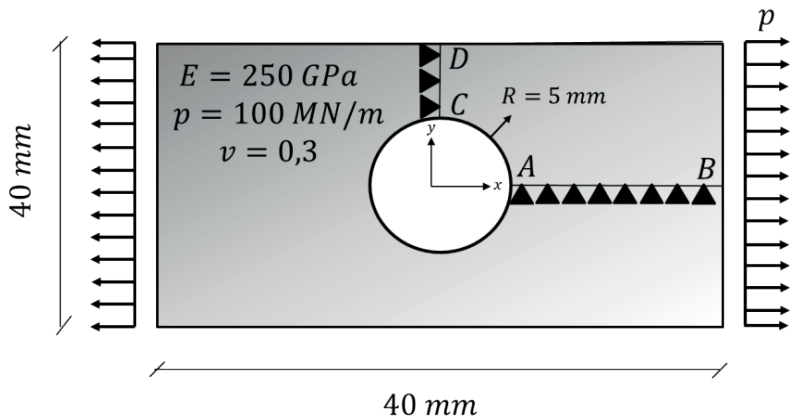


Figura 5. Chapa de aço com furo circular tracionada.

Etapa 1: Análise mecânica

A etapa 1 tem como objetivo avaliar a eficiência da formulação do MEC linear para o problema proposto. Valendo-se da simetria do carregamento, o exemplo numérico é modelado considerando-se apenas 1/4 da geometria real do problema e considerando-se estado plano de tensão, conforme ilustrado na Fig. 5.

Utiliza-se uma malha de elementos de contorno com cerca de 50 elementos lineares, sendo 31 nós no contorno da cavidade. O problema é analisado e o resultado é comparado a uma solução de referência representada por uma malha de 12000 elementos finitos triangulares lineares obtida no *software* ABAQUS. Na Fig. 6a é apresentado o comportamento mecânico do trecho AB em termos de deslocamento. Já na Fig. 6b é avaliado a tensão de von Mises ao longo do trecho CD. Percebe-se uma boa convergência da solução obtida pelo MEC quando comparado com a resposta numérica do ABAQUS, podendo-se observar uma maior concentração de tensões próxima ao entorno do furo circular.

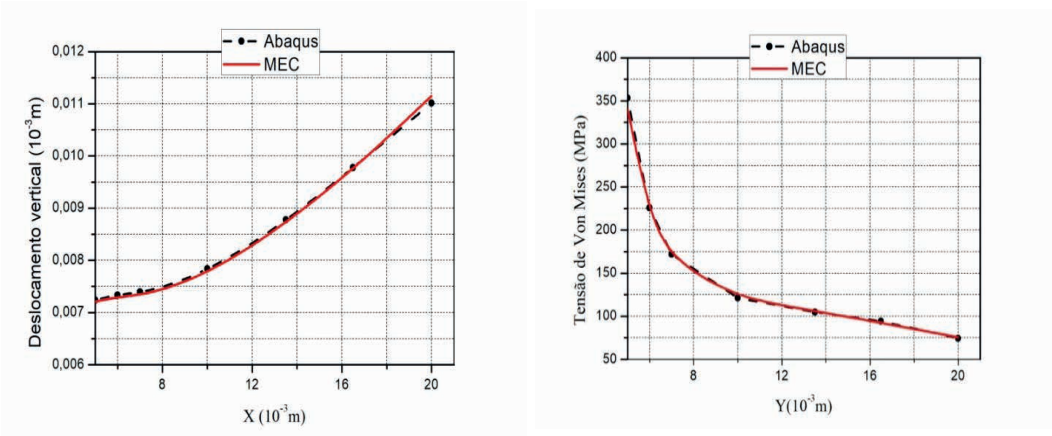


Figura 6. (a) Deslocamento vertical do trecho AB (b) Tensão de Von mises no trecho (CD).

Etapa 2 : Análise probabilística utilizando MPI

O problema apresentado na Fig. 5 é revisitado, para ilustrar a influência da aleatoriedade das variáveis envolvidas, as quais são indicadas na Tabela 1. As mesmas propriedades geométricas (Fig. 5) e de condições de contorno são impostas. Considera-se estado plano de tensão, e realiza-se um estudo confiabilístico através da violação da função de falha, Eq. (9):

$$G_1 = u_L - \frac{(e_v - d_0)}{d_0} \tag{9}$$

Nesta equação, o limite do deslocamento relativo diametral u_L é avaliado em 0,2% do diâmetro inicial d_0 do furo. A variável e_v é a dimensão do eixo vertical do furo no estado deformado. A seguir são apresentados os dados estatísticos das variáveis aleatórias que compõem o problema:

	Média	Coeficiente de variação	Tipo de distribuição
E (GPa)	250	10%	Normal
Poisson	0,3	10%	Normal
σ_y (Tensão de escoamento, MPa)	310	15%	Normal

Tabela 1. Parâmetros estatísticos da análise

A avaliação da probabilidade de ocorrência do modo de falha analisado, indicado na Eq.(9), é apresentado na Tabela 2. O número mínimo de simulações é estimado considerando um coeficiente de variação de 5 %, conforme Eq. (8).

P.f. (Monte Carlo)	Número de simulações

0,0204	19207

Tabela 2. Avaliação da probabilidade de falha do problema.

Nota-se que o valor de probabilidade de falha obtido é significativo, o que pode ser explicado pela alta dispersão das v.a. envolvidas, e pelo fato de que esse modo de falha representa um deslocamento excessivo, uma tendência de rasgamento, mas não necessariamente a ruína da peça. Na Fig. 7 é apresentado um estudo de convergência da probabilidade de falha à medida que o número de simulações é aumentado. Como era esperado, percebe-se de fato que há uma estabilização do valor com o aumento do número de simulações, onde essa estabilização ocorre em valores próximos ao número mínimo estimado, vide Tabela 2.

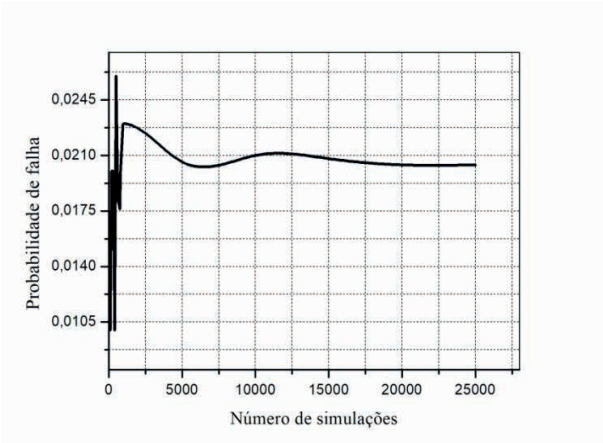


Figura 7. Estudo de convergência da probabilidade de falha.

A segunda análise confiabilística tem como base um estudo da probabilidade de ocorrência da função de falha:

$$G_2 = \sigma_y - \sigma_{mises} \tag{10}$$

No qual, σ_y é a tensão de escoamento do aço SAE 1045 e σ_{mises} a tensão de Von mises, a qual foi estimada em todo o contorno do furo. As propriedades geométricas e dados estatísticos foram apresentados na Fig. 5 e Tabela 1 respectivamente. Na Tabela 3, é apresentado a probabilidade de falha para os pontos C e A (Fig. 5). Percebe-se uma considerável P.f. no ponto C e uma menor P.f. no ponto A, isso é explicado pela tensão crítica de Von mises acontecer no ponto C. Isto indica que a consideração de incertezas não modifica significativamente o valor da tensão crítica de von Mises, havendo 62 % de chances de que o valor determinístico seja maior ou igual ao valor avaliado de forma probabilística. É importante ressaltar que esta análise é meramente ilustrativa e o alto valor de probabilidade de falha obtido deve-se ao alto valor de dispersão dos valores estatísticos

envolvidos na análise, além das propriedades físicas e condições de contorno adotadas.

	P.f.
Ponto A	1,90E-04
Ponto C	6,21E-01

Tabela 3. Avaliação da probabilidade de falha do problema.

Na Figura 8, é apresentada a análise confiabilística em torno de pontos no contorno do furo circular. O estudo se inicia no ponto A (5,0) e continua até valores próximos a C (0,5). Nota-se que para os pontos próximos ao ponto A, a probabilidade de falha é maior do que em pontos pertencentes a região intermediária da cavidade. Entretanto, a P.f. volta a ter um aumento considerável quando se aproxima de pontos próximos a região do ponto C. Isto indica que a maior falha acontece nos extremos do furo circular, e o seu valor crítico acontece na região próxima ao ponto C.

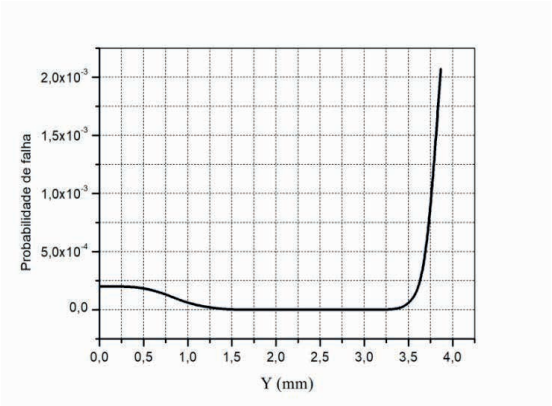


Figura 8. Probabilidade de falha pra pontos no contorno do furo.

O uso do MPI como ferramenta de apoio na análise realizada, se dá na resolução do problema exaustivo de simulações de Monte Carlo para avaliação de um valor adequado de probabilidade de falha. Com o objetivo de avaliar o custo computacional em termos de tempo da CPU, a análise numérica foi realizada na linguagem Python, com uma máquina Intel ® Core™ i7-6500U CPU, 2.5GHz com 4 Núcleos e 8 GB de RAM. Com base nos resultados encontrados, é possível observar uma considerável redução do custo computacional ao se utilizar quatro processadores em vez de apenas um (Fig. 9). Além disso, percebe-se que o custo computacional aumenta em uma taxa linear quando se utiliza um único processador. Já a utilização de quatro processadores leva a um aumento ligeiramente não linear desse custo. De maneira quantitativa, é apresentada a avaliação do custo computacional para o número de processadores utilizados na análise, conforme mostrado na Tabela 4. A taxa de redução do tempo computacional é próxima de 60 %.

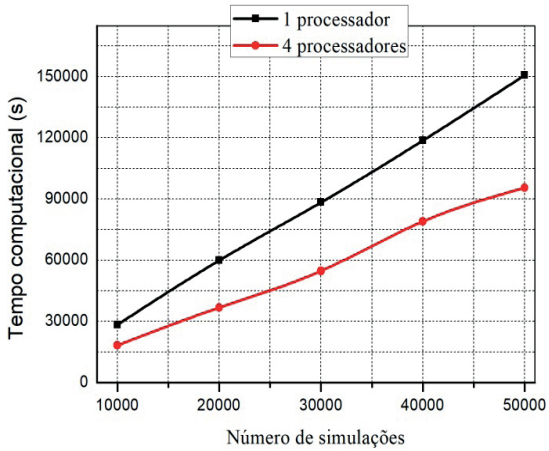


Figura 9. Custo computacional considerando diferentes números de processadores.

Número de simulações	Tempo (s) 1 Processador	Tempo (s) 4 Processadores	Redução (%)
10000	28337,65	18213,03	64,27
20000	59875,65	36692,01	61,28
30000	88366,66	54764,85	61,97
40000	118659,6	78987,56	66,56
50000	150658,99	95478,65	63,37

Tabela 4. Redução do custo computacional ao utilizar quatro processadores.

6 I CONCLUSÃO

As técnicas de computação de alto desempenho, notadamente aquelas que tornam possível coordenar eficientemente vários processadores para executar um software computacionalmente intensivo, têm tido um importante papel para viabilizar um grande número de aplicações de interesse de instituições acadêmico-científicas e indústrias, notadamente oriundas das engenharias. Tradicionalmente, os avanços nesta área têm sido alavancados devido ao interesse da indústria de hardware, em cooperação com instituições de pesquisa e universidades, resultando em um conhecido fosso entre o desempenho do hardware aplicado a computação de alto desempenho e a capacidade do software de explorá-lo de forma compatível com os princípios da engenharia de software. Entende-se que o uso de técnicas probabilísticas, como a simulação de Monte Carlo, contribuiu com o melhor entendimento dos níveis de segurança aos quais a estrutura está sujeita, subsidiando a tomada de decisão do projetista/analista. O estudo desenvolvido permitiu a aplicação dos conceitos de computação paralela para o cálculo da probabilidade de falha

utilizando o método dos elementos de contorno. No qual, o resultado apresentado pelo uso de computação paralela no processo de Monte Carlo permitiu visualizar a redução no custo computacional envolvido para a obtenção da solução requerida.

REFERÊNCIAS

Aliabadi, M. H. **The boundary element method. Applications in solids and structures**. v. 2, New York: J. Wiley, 2002.

Ataseven, Y., Akalın-Acar, Z., Acar, C. E., & Gençer, N. G. **Parallel implementation of the accelerated BEM approach for EMSI of the human brai**n. Medical & Biological Engineering & Computing, 46(7), 671–679, 2008

Brebbia, C. A.; Telles, J. C. F.; Wrobel, L. C. **Boundary element techniques: theory and applications in engineering**. Berlin: Springer-Verlag, 1984.

Brebbia, C.A. **The Boundary Element Method for Engineer**s, London: Pentech Press, 1978.

Merta, M., Zapletal, J. **Acceleration of boundary element method by explicit vectorization**. Advances in Engineering Software, 86, 70–79, 2015.

Mammoli, A. A., Ingber, M. S. **Parallel multipole BEM simulation of two-dimensional suspension flows**. Engineering Analysis with Boundary Elements, 24(1), 65–73, 2000

Melchers R.E., Beck. A.T. **Structural Reliability Analysis and Prediction**, John Wiley & Sons, Chichester, 2018.

Ingber, M. S., & Tanskin, J. A. **A parallel domain decomposition BEM for diffusion problems with surface reactions**. Engineering Analysis with Boundary Elements, 29(9), 878–885, 2005

Ignácio A., A. V. Ferreira Filho. V.J.M. **MPI: uma ferramenta para implementação paralela. Pesquisa Operacional**, v. 22, n. 1, p. 105-116, 2015.

Mader, G., Uhlmann, F. H. (1997). **A parallel implementation of a 3D-BEM-algorithm using distributed memory algorithms.** IEEE Transactions on Magnetics, 33(2), 1796–1799.

Somigliana. C., **Sopra l'equilibrio di um corpo elastico isotrope**, Il Nuovo Ciemento, p.17-19, 1886.

Zaccone, G. **Python Parallel Programming Cookbook**. Packt Publishing Ltd, 2015.

CAPÍTULO 14

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA ENGENHARIA BIOMÉDICA: PREVENÇÃO DE DOENÇAS

Data de submissão: 09/08/2023 *Data de aceite: 01/09/2023*

Fernanda Sevestre Canton
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
São Paulo – SP
http://lattes.cnpq.br/1622060255528974

Sonia Barbosa Camargo Igliori
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
São Paulo – SP
http://lattes.cnpq.br/0345215431099831

RESUMO: Este projeto desenvolveu uma pesquisa qualitativa, teórica e bibliográfica cujos resultados são relativos a conceitos introdutórios da Inteligência Artificial. Considerou -se um estudo de caso de aplicação da IA para promover otimizações no enfrentamento da COVID-19. Utilizou-se esse caso, com vistas a investigar os benefícios que a IA pode trazer para a prevenção de doenças. Os dados para o estudo foram extraídos da *internet*, de artigos científicos, teses, dissertações e livros. Foram necessários três momentos para garantir uma pesquisa estruturada, sendo o primeiro a dedicação ao estudo de conceitos introdutórios da IA e de Metodologia de Pesquisa, a fim de definir suas relevâncias para o projeto. O segundo momento se voltou para um estudo focado sobre as aplicações da IA em Engenharia Biomédica de maneira geral. Para o terceiro momento, dois artigos foram utilizados como base para uma análise de caso de aplicação de IA no controle de surtos epidemiológicos. Foram destacados os conhecimentos adquiridos ao longo da pesquisa, as temáticas não relevantes, a situação atual da IA na prevenção de doenças e a importância do estudo para o avanço na área da Saúde.

PALAVRAS-CHAVE: Inteligência Artificial, Engenharia Biomédica, Saúde, COVID-19.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN BIOMEDICAL ENGINEERING: DISEASE PREVENTION

ABSTRACT: The purpose of this article was to develop a qualitative, theoretical and bibliographic research which results relate to foundational Artificial Intelligence (AI) concepts. A case study involving the application of AI to enhance COVID-19 mitigation strategies was examined, exploring the potential benefits in disease

prevention. Data for the study were sourced from the internet, scientific articles, thesis, dissertations, and books. The research process was developed in three distinct phases. The initial phase involved an in-depth exploration of introductory AI concepts and research methodology to establish their relevance to the project. The second phase involved a focused investigation into AI applications within the Biomedical Engineering field. The third phase was based on two articles to analyze a case study involving the application of AI in managing epidemiological outbreaks. The research highlighted the insights gained, identified non-relevant themes, assessed the current status of AI in disease prevention, and underscored the study's significance in advancing the field of healthcare.
KEYWORDS: Artificial Intelligence, Biomedical Engineering, Healthcare, COVID-19.

1 I INTRODUÇÃO

O projeto de Iniciação Científica (IC) tem por pressuposto a importância na formação de um acadêmico seja qual for a sua área de estudo, o desenvolvimento intelectual, e bases para a pesquisa científica. Esta IC tem como alvo a introdução ao estudo da Inteligência Artificial (IA) e possíveis aplicações na Engenharia Biomédica com uso da Matemática. Esses pressupostos visam ampliar conhecimentos, que muitas vezes não são introduzidos de forma explanatória ou pormenorizada durante a graduação e que podem servir de base fértil de conhecimento para o(a) estudante em formação e o mercado de trabalho. Assim sendo esta pesquisa objetiva: selecionar, estudar, sintetizar conhecimento da IA visando identificar aplicações nas áreas de Engenharia Biomédica. A ampliação dos conhecimentos visados torna um projeto de IC complementar à formação da graduação.

O surgimento da IA propriamente dito se deu em 1956, durante a Conferência de *Dartmouth*, momento histórico em que pesquisadores definiram que cada aspecto de aprendizado ou outras formas de inteligência podiam ser descritos de maneira que uma máquina poderia simular. Essa é a ideia central da Quarta Revolução Industrial, em que sistemas de processamento de dados são criados para reproduzir as funções cognitivas humanas de maneira mais rápida e com alta capacidade analítica (LOTTENBERG; DA SILVA & KLAJNER, 2019). Além disso, a época também foi marcada pelo aumento da velocidade de processamento de dados, pela redução dos custos e por conexões entre dispositivos tecnológicos.

Com o avanço da *internet* e de seu alcance mundial, na segunda metade da década de 1990, o potencial da IA atingiu seu máximo, dando início à revolução digital. Diversos setores foram beneficiados, especialmente a área da saúde, pois foi descoberto que sistemas de IA seriam capazes de fazer diagnósticos, indicar tratamentos, operar equipamentos e realizar atividades úteis para médicos, gestores e pacientes (LOTTENBERG; DA SILVA & KLAJNER, 2019).

Kaufman (2022) dedica um capítulo ao protagonismo da IA na saúde, voltado ao combate à COVID-19, afirmando que "com o COVID 19, o setor de saúde tem sido equilibrar as urgências a curto prazo com a restruturação do setor frente às novas tecnologias, quando

cita particularmente a IA." (p.183). Sendo assim, entende-se que ciências que se apoiam em tecnologias estão em alta, recorrendo a elas para identificar padrões não visíveis e indícios de probabilidade de contaminação. Nesse cenário, destaca-se o protagonismo da IA, que pode contribuir para realizar triagem e dar suporte às decisões médicas, agregando velocidade (KAUFMAN, 2022).

O desenvolvimento desta IC reforçou o papel da pesquisa, em particular no controle da pandemia da COVID-19, ampliando o interesse em buscar os dados. Também tornou possível averiguar as aplicações dos sistemas de IA na área da Engenharia Biomédica, elucidando sua relevância para aprimorar a área da saúde. Alguns exemplos do uso da IA em Saúde se destacam em:

- Estudo de novos medicamentos, leituras de raio X e ultrassons, identificando padrões de imagens e auxiliando profissionais da área a identificar possíveis anomalias (tumores, cânceres, inflamações etc.) nos diagnósticos de pacientes, que podem ser melhorados com análise de dados genéticos e registros médicos (BORBA, s/d).
- Surgimento de prontuários eletrônicos, teleatendimentos, dados em nuvem, monitoramento de sinais vitais à distância e softwares capazes de auxiliar na gestão hospitalar, visando segurança assistencial, melhora da experiência do paciente e redução de desperdícios (DRG Brasil, 2021).
- Assistentes pessoais que podem agir como treinadores, lembrando a pessoa de que ela precisa tomar os remédios e indicar quais remédios ela precisa tomar, sugerir ingestão de alimentos mais saudáveis e práticas de esportes (SAS, s/d).

2 | ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Essa pesquisa desenvolveu-se conforme orientações e recomendações da professora orientadora apresentadas via e-mails, *WhatsApp* e reuniões na plataforma *Microsoft Teams*, já que a pandemia da COVID-19 impossibilitou encontros presenciais. As discussões ocorreram frequentemente para apresentar o que já havia sido feito e receber análises e críticas quanto ao conteúdo apresentado, de maneira que ficasse claro como o projeto deveria prosseguir. Além disso, a escolha da abordagem bibliográfica aconteceu uma vez que não seria possível realizar visitas técnicas, encontros com profissionais da área estudada ou participar de palestras sobre os assuntos previstos, devido às diretrizes de distanciamento social. Portanto, o projeto seguiu o método da investigação bibliográfica, em uma perspectiva da pesquisa qualitativa.

Nos meses de Agosto a Outubro de 2021 foram realizados estudos sobre "Metodologia de Pesquisa", a partir da leitura de Luna (2009) e discussões com a orientadora. Os estudos serviram como base de conhecimento para realizar uma pesquisa de maneira assertiva e coerente, orientando um caminho planejado para que a pesquisa possa ser finalizada e

o projeto atenda as condições exigidas pelos cientistas. A familiarização com o uso de uma metodologia com vistas aos resultados, foi acontecendo à medida que a pesquisa foi se desenvolvendo, foi possível compreender a importância da metodologia científica no currículo de um graduando, que passa a ter embasamento para entender como se dão os processos de coleta de informações, desenvolvimento e publicação de um projeto.

Além do aprofundamento sobre a metodologia para orientar o desenvolvimento do projeto, o levantamento bibliográfico sobre o conceito de Inteligência Artificial se desenvolveu de Outubro a Dezembro de 2021. Para isso, foram analisados artigos científicos, dissertações, teses, livros e *websites*. O estudo abordou o surgimento da IA, as diferentes épocas pelas quais percorreu até chegar à atualidade, suas funcionalidades, o conceito de *Machine Learning* e aplicações para a área da saúde, enfatizando sua correlação com a Engenharia Biomédica.

Durante o mesmo período, pretendemos entender os princípios da lógica *fuzzy*, conceito matemático sugerido pela orientadora (MARRO; CAVALCANTE; BEZERRA & NUNES, 2010). O intuito era conferir aplicação desse conceito voltada à Inteligência Artificial na área de Engenharia Biomédica, especialmente na prevenção de doenças, linha de pesquisa deste projeto. Apesar de não ter sido possível perceber essa aplicação, foi proveitoso o estudo realizado, mesmo que inicial.

Nos meses seguintes, o desenvolvimento da pesquisa teve enfoque na leitura e estudo dos artigos "Prospecção Científica sobre Epidemiologia e Prevenção da Covid-19 Aliada à Inteligência Artificial" (FREITAS *et al.*, 2020) e "Uma análise sobre o desenvolvimento de tecnologias digitais em saúde para o enfrentamento da COVID-19 no Brasil e no mundo" (CELUPPI *et al.*, 2021) (utilizado como complemento), que abordam as temáticas de IA, Saúde e prevenção de doenças, tornando-se ideais para o meu projeto de IC. O livro "Desmitificando a inteligência artificial" (KAUFMAN, 2022) foi publicado quando a escolha dos artigos estava definida, e a leitura de alguns de seus capítulos permitiu reforçar a importância da escolha do tema do uso da IA no controle da COVID-19. O estudo desenvolvido possibilitou conhecer algumas soluções que artifícios da IA poderiam gerar para lidar com pandemias, controlando e prevenindo casos epidemiológicos, como o da COVID-19.

3 | DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E REVISÃO DA LITERATURA

As atividades que fizeram parte deste projeto de IC possuíam o intuito de adquirir conhecimento sobre conceitos introdutórios de Inteligência Artificial e entender algumas de suas aplicações na área da Engenharia Biomédica e da Saúde, com enfoque na prevenção de doenças. Para a primeira parte, sintetizada e apresentada no relatório parcial, foram realizados estudos teóricos e discussões abordando a metodologia de pesquisa e conceitos de Inteligência Artificial.

4 I METODOLOGIA DE PESQUISA

Neste item relatamos os estudos realizados sobre o tema e a escolha da metodologia que orientou a pesquisa.

No que se refere à parte do calendário, inicialmente foi necessário estudar e compreender os princípios que compõem a metodologia de pesquisa, aplicados para elaborar o projeto de maneira coerente, concisa e que alcançasse os objetivos propostos. Para isso, foi utilizado o livro "Planejamento de pesquisa: uma introdução" (LUNA, 2009), o qual permitiu, a princípio, fundamentar a definição de pesquisa. Basicamente, a metodologia de pesquisa ganha significado a partir do momento em que o pesquisador interpreta uma realidade e produz conteúdo novo com base nela, de forma que seja relevante na área de estudo. Para isso, há elementos básicos que caracterizam o desenvolvimento da pesquisa. Primeiramente, deve-se formular um questionamento quanto ao tema, tendo em vista que as respostas procuradas se mostrem novas e significativas. Partindo disso, são determinadas quais informações são necessárias para gerar tais respostas e as melhores fontes para estudá-las. O próximo passo é definir o conjunto de ações que deve ser seguido para chegar às informações disponíveis, o que engloba estabelecer um sistema de tratamento e análise dos dados pré-existentes. Com a linha de raciocínio estruturada, é possível formular as respostas às perguntas estabelecidas no início da pesquisa, concluindo se são fidedignas, para evitar a sensação de que a resposta poderia ter sido obtida independentemente da pesquisa e dos dados analisados. Por fim, há a indicação da generalidade dos resultados, isto é, estipular a extensão do que foi encontrado, de forma que seja explicado e delimitado em que medida podem ser estendidos a situações não contempladas na pesquisa.

O livro também forneceu informações relevantes para a preparação do pesquisador diante de um projeto de pesquisa. Em primeiro lugar, deve se tornar adequadas às condições sob as quais a pesquisa será realizada, de forma que tome conhecimento de restrições quanto à tecnologia disponível, tempo destinado ao projeto e recursos financeiros. Após considerar sua viabilidade, é importante ter clareza e o maior detalhamento possível sobre o problema levantado para a pesquisa, já que servirá de guia para o desenvolvimento do projeto e representa as intenções do pesquisador. As hipóteses levantadas também merecem atenção, uma vez que podem ser facilmente confundidas com o problema em si, e, na verdade, representam apenas suposições quanto aos possíveis resultados.

No que se refere à definição dos procedimentos metodológicos da pesquisa em si, entendeu-se a necessidade de realizar revisão de literatura, peça importante no trabalho científico que pode ser buscada em: artigos em bibliotecas fornecidas pela Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), sumários de publicação, referências em artigos já publicados e serviços de levantamento bibliográfico. Caso a literatura adequada não seja encontrada por meio das maneiras citadas, o pesquisador

também pode recorrer a consultas com especialistas da área ou a analogias, o que caracteriza a procura de problemas semelhantes e áreas correlatas. Por fim, o pesquisador deve estabelecer o método de pesquisa científica que vai seguir para elaborar seu projeto, sendo eles: qualitativo ou quantitativo.

O primeiro foi utilizado nesta IC e possui caráter subjetivo, isto é, parte de bases teóricas inspiradas nas ciências humanas, buscando informações em documentação teórica de dados previamente obtidos. E assim, neste projeto de IC, a coleta, interpretação e conclusão dos dados orientaram-se pela leitura e dissecação de artigos, livros e relatórios científicos. Tratou-se de uma investigação a partir da análise bibliográfica. Já o método quantitativo segue caráter matemático e estatístico, de forma que os resultados possam ser quantificados e dimensionados de maneira exata.

O trabalho dedicado ao estudo de metodologia de pesquisa serviu como base para a preparação e desenvolvimento deste projeto de IC, de modo que tenha sido relevante para adquirir conhecimento quanto à estrutura de um trabalho científico, cujos embasamentos teóricos, fontes pesquisadas, planos de ação, objetivos a serem alcançados e conclusões devem seguir um padrão a fim de garantir uma pesquisa bem estruturada.

Por fim, é importante declarar que o projeto seguiu o caráter qualitativo de pesquisa e se orientou com base em investigações bibliográficas. A análise se restringiu a dois artigos, dada a atualidade do tema, que tratavam do uso de IA no controle da COVID-19.

5 I INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Para o estudo sobre a Inteligência Artificial (IA), o intuito inicial era sua conceitualização por meio da investigação de origens e definições. Isso porque noções de IA muitas vezes não são introduzidas de forma explanatória durante a graduação e podem servir de base fértil de conhecimento para o estudante em formação e que visa se inserir no mercado de trabalho. Portanto, a pesquisa teve como objetivo primordial: coletar e estudar os conceitos, teorias, conteúdos e demais fontes de conhecimento da IA que podem contribuir para solução de problemas e otimizações dentro das áreas de Engenha Biomédica e Matemática.

A fim de analisar a definição de IA e conceitos ligados a ela, foram utilizados os documentos “Inteligência Artificial e Engenharia Biomédica: Casamento Perfeito ou Amantes Eternos?” (BARRETO, s/d) e “INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL” (MACHADO, 2011). Basicamente, a IA pode ser considerada como uma metodologia para resolução de problemas cujo objetivo é criar artefatos capazes de reproduzir um comportamento inteligente. Barreto (s/d) traça uma linha do tempo importante para a compreensão do que era a noção de IA antigamente e o que ocorreu para se tornar a ferramenta que é atualmente. A história da IA percorreu épocas como a Pré-histórica (antes de 1875), quando nada se conhecia sobre os mecanismos da mente e havia grande apelo ao sobrenatural,

a época das Trevas (1969-1981), quando houve retraimento dos pesquisadores em IA e a mídia apresentava a criação de entes inteligentes como algo ruim (remetendo a computadores que dominariam o mundo, por exemplo), e a época Contemporânea (1987 - atualmente), momento em que há alargamento das aplicações da IA, considerada IA Moderna (MACHADO, 2011), penetrando nos mais diversos campos de atuação: redes de computadores, na manipulação simbólica em matemática, uso em exames de imagem, pesquisas em campos de petróleo, e na criação de bases de dados inteligentes. Entretanto, segundo Machado (2011), a primeira menção oficial à expressão "Inteligência Artificial" ocorreu oficialmente em 1956 durante uma conferência de verão em *Dartmouth College*, NH, USA, período seguido por grande entusiasmo e muitas expectativas. Como na época não havia conhecimento sobre os princípios que fundamentam a inteligência ou sobre os limites práticos da capacidade de processamento dos computadores, houve ocorrências de promessas exageradas e respectivas decepções.

Na década de 70 do século passado, a IA deixou de participar exclusivamente do ambiente acadêmico e abriu perspectivas de aplicações comerciais e industriais (MACHADO, 2011). Isso ocorreu devido ao surgimento dos primeiros Sistemas Inteligentes, tecnologia com desempenho intelectual equivalente ao de um ser humano adulto. Basicamente, um sistema é denominado inteligente se partir da junção da IA com uma base de dados, por meio de uma linguagem de programação (BARRETO, s/d). A partir disso foi criado um mecanismo: o computador seria capaz de captar dados, combiná-los e retornar dados novos, se mostrando como um método ativo de inteligência. Os Sistemas Inteligentes podem seguir duas linhas de pesquisa: a conexionista e a simbólica. A primeira visa a construção de inteligências computacionais inspiradas nas interligações dos neurônios, de maneira que seja possível simular os componentes do cérebro, linha de pesquisa que deu origem às redes neuronais. A segunda simula o comportamento humano na tomada de decisões e resoluções de problemas, se baseando na operação por meio de símbolos e regras, já que representações simbólicas desempenham papel vital no processo do raciocínio humano. Segundo Machado (2011), atualmente tem surgido uma nova linha de pesquisa da IA, além das citadas, que se baseia na observação de mecanismos evolutivos encontrados na natureza, tais como a auto-organização e o comportamento adaptativo.

Após compreender as origens, definições, linhas de pesquisa e épocas marcantes ligadas à IA, faz-se necessário analisar algumas de suas aplicações. Para isso, este projeto de IC se voltou ao estudo da complementaridade que há entre a IA e a área da saúde, buscando exemplos para um estudo de casos de prevenção de doenças que se relacionassem com o campo da Engenharia Biomédica.

6 | INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E ENGENHARIA BIOMÉDICA

A união entre os domínios da Inteligência Artificial e da Engenharia Biomédica se

mostra como “um passível casamento, em que a IA encontra um campo de aplicação motivador, provocando novas pesquisas metodológicas e a EB recebe soluções capazes de melhorar a qualidade dos conhecimentos sobre a vida e do tratamento das moléstias.” (BARRETO, s/d, p. 1).

Segundo Barreto (s/d), as primeiras aplicações da IA na medicina datam dos anos 70 do século passado, mesmo quando a tecnologia era vista como “ignorância atrevida”. Um grande marco da época foi o surgimento de um dos primeiros sistemas especialistas utilizando IA, o MYCIN. Foi um sistema computacional de consulta para auxiliar médicos no diagnóstico e seleção de terapia para infecções bacterianas no sangue. Sua relevância se deu por possuir mais de 450 regras (MACHADO, 2011) e pela introdução de duas ideias da IA: separação de base de conhecimentos com modos de manipular estes conhecimentos (motor de inferência), e aplicação de fatores de certeza, para tratamento de imprecisão nos diagnósticos (BARRETO, s/d).

A partir de 1990, quando houve a explosão da IA devido ao advento da *internet*, diversas áreas foram beneficiadas, principalmente a da Saúde, pois sistemas com atributos da IA são adequados para fazer diagnósticos, indicar tratamentos, operar equipamentos etc. Isso se torna possível com a aplicação de *Machine Learning*, ramo da IA que utiliza dados e algoritmos capazes de fazer com que as máquinas aprendam e evoluam a partir disso, de forma que basta alimentá-las com informações para ser capaz de realizar tarefas paralelas automaticamente. Portanto, a união da área da Saúde com Engenharia Biomédica e atributos da IA se dá justamente pela introdução de tecnologias para auxílio em atividades clínicas, como triagem, diagnóstico, resultados de exames e tratamentos, uma vez que a IA permite que máquinas unam informações de casos semelhantes por meio de associação (LOTTENBERG; DA SILVA & KLAJNER, 2019). Segundo Lottenberg, Da Silva e Klajner (2019, p. 35) “Nos últimos dois anos, foram gerados mais dados do que em toda a história [...] Dessa quantidade de dados gerados, a maior parte relaciona-se com a saúde.”, o que demonstra a relevância da aplicação da IA para captar e realizar o tratamento dos dados.

Considerando-se a importância da aplicação de artifícios da IA nas áreas da Saúde e da Engenharia Biomédica bem estabelecida, esta pesquisa teve como foco o estudo de seus atributos para a prevenção de doenças. Após um levantamento com as palavras-chave: IA, Saúde, Engenharia Biomédica e COVID-19, foram selecionados os artigos “Prospecção Científica sobre Epidemiologia e Prevenção da Covid-19 Aliada à Inteligência Artificial” (FREITAS *et al.*, 2020) e “Uma análise sobre o desenvolvimento de tecnologias digitais em saúde para o enfrentamento da COVID-19 no Brasil e no mundo” (CELUPPI *et al.*, 2021).

7 | APLICAÇÃO DE IA NA PREVENÇÃO DA COVID-19

Com início em 2020, a pandemia da COVID-19 se originou na cidade de Wuhan,

província de Hubei na China, após a disseminação do vírus SARS-CoV-2 (FREITAS *et al.*, 2020). Este cenário forçou uma mudança radical no modelo tradicional de atendimento aos pacientes, uma vez que: "As organizações de saúde tiveram de renunciar ao rotineiro cuidado presencial e investir em soluções tecnológicas para realizar o acompanhamento clínico não presencial dos pacientes." (CELUPPI *et al.*, 2021). Levando-se em conta essa situação, algumas soluções efetivas e seguras da Inteligência Artificial para minimizar os impactos da COVID-19 foram utilizadas:

- isolamento clinicamente monitorado via aplicativo, *software*, ligação ou videoconferência, visando a contenção da transmissão do vírus (CELUPPI *et al.*, 2021).
- aplicação de sistemas interativos em saúde, para facilitar o contato entre profissionais da saúde e pacientes (CELUPPI *et al.*, 2021).
- o uso de técnicas estatísticas de predição de incidências e de vacinação, promovendo controle de casos epidêmicos e pandêmicos (FREITAS *et al.*, 2020).
- utilização de sistemas capazes de aprender com dados anteriores para prever cenários futuros e indicar medidas de enfrentamento (FREITAS *et al.*, 2020).

Em 2020, o Brasil possuía 14.938 leitos de Unidade de Terapia Intensiva (UTI) e 95% deles estavam em uso, o que significa que medidas deveriam ser tomadas para garantir prevenção e contenção epidemiológica diante do cenário crítico brasileiro da época. Segundo Freitas *et al.* (2020), "aconselha-se aliar os métodos de previsão ao uso da Inteligência Artificial, o que poderá auxiliar no decréscimo do número de casos". Isso depende do Sistema de Informação em Saúde (SIS), que, segundo Ferreira (1999, p. 7): "(...) é um conjunto de componentes que atuam de forma integrada, através de mecanismos de coleta, processamento, análise e transmissão da informação necessária e oportuna para implementar processos de decisões no Sistema de Saúde". Portanto, o SIS coleta dados referentes aos serviços de saúde e, no caso da COVID-19, recursos da IA poderiam extrair estatísticas do sistema e melhorar sua compreensão, atualizando em tempo real os dados e as informações com base nas medidas restritivas implementadas e no monitoramento de aglomerações em locais específicos. Além disso, dados provenientes do SIS também poderiam alimentar máquinas inteligentes para gerar Sistemas de Previsão e Controle de Pandemias com o uso da IA. Freitas *et al.* (2020, p. 553) indica que: "Com a identificação dos possíveis números de casos e do tempo que os quantitativos serão atingidos, pode-se estabelecer estratégias de fortalecimento de medidas protetivas, avaliar a quantidade de leitos disponibilizados aos pacientes críticos, analisar os diferentes grupos que podem ser afetados.".

Segundo Freitas *et al.* (2020, p. 555), o armazenamento extenso de dados é útil para:

> sistemas de monitoramento de aglomerações, previsões de novos surtos,

alertas de implementação de medidas protetivas, como isolamento e distanciamento em determinadas regiões, sistematização de aparecimento e monitoramento de casos de doenças e disponibilização de informações em tempo hábil aos gestores de saúde.

Tendo em vista que a pandemia se mostrou como marco na revolução tecnológica no setor da saúde, de repente foram solicitadas novas estratégias e adequação dos serviços frente à questão do distanciamento social. No caso do Brasil, houve a instituição de diversas iniciativas ligadas à telemedicina (CELUPPI *et al.*, 2021), porém, as aplicações aqui mencionadas foram pouco exploradas até então, principalmente os sistemas de monitoramento, controle e prevenção epidemiológica de doenças, o que garantiria avanço na predição e prevenção de casos pandêmicos, por exemplo, com o uso das bases de dados dos sistemas mais utilizados, como o SIS, e treinamento de IA (FREITAS *et al.*, 2020). Embora na prática já existam sistemas de previsão desenvolvidos por profissionais da área, a introdução de técnicas da IA poderia reduzir a margem de erro, prever comportamentos difíceis e diminuir o tempo de resposta do sistema.

Segundo Freitas *et al.* (2020), outra vertente possível futuramente para o combate de casos epidemiológicos é o uso de robôs treinados via algoritmos de IA. Isso seria benéfico para reduzir o contato entre profissionais e infectados (na coleta de amostras ou em procedimentos de risco) e realizar a limpeza de locais infectados com o uso de luz ultravioleta ou ondas eletromagnéticas. Além disso, o uso da IA também poderia ser aplicado a imigrantes, de maneira que fosse desenvolvido um algoritmo capaz de realizar a triagem de viajantes considerados com risco de infecção, indicando-os como candidatos à realização de diagnóstico.

Finalmente, o estudo e análise dos artigos específicos para a pandemia da COVID-19 permitiram concluir que os atributos da IA têm alto potencial no enfrentamento de surtos epidemiológicos, uma vez que poderiam contribuir para a captura e tratamento dos dados em tempo real, ampliando a acurácia das informações e das medidas tomadas. Porém, é um campo tecnológico pouco explorado e não houve avanços relevantes neste estudo de caso, por isso as informações descritas se referem às possibilidades de aplicação da IA e seus respectivos resultados na prevenção de doenças.

8 | PROCEDIMENTOS DE COLETA E AVALIAÇÃO

A coleta dos dados que permitiram a pesquisa e desenvolvimento desta IC ocorreu por meio da compilação e consulta de fontes bibliográficas relacionadas com a temática de aplicações da Inteligência Artificial no campo da saúde e da Engenharia Biomédica, visando a prevenção de doenças.

As informações discutidas se embasaram na pesquisa qualitativa, mais indicada quando o estudo é de caráter descritivo e o que se busca é o entendimento do fenômeno como um todo, na sua complexidade (FREITAS; JABBOUR, 2011). Seu propósito

fundamental é a compreensão, explanação, especificação e interpretação de fenômenos sociais. O método adotado por este tipo de pesquisa é o indutivo, ou seja, que parte de dados para formular uma teoria, prezando pelo valor das informações pesquisadas. Portanto, opta-se por definições que se encaixem no processo da pesquisa, por conceitos obtidos via relações e propriedades, pela análise comparativa e por uma pequena amostra, escolhida para ser investigada, além de ser necessário considerar o contexto em que a situação analisada ocorre (SANTOS FILHO, 2009).

Adotando essa linha de pesquisa, as informações que contemplaram o desenvolvimento deste projeto de IC foram obtidas por meio de dois levantamentos bibliográficos. Cada um se direcionou a um objetivo específico, sendo que o primeiro contemplou o estudo mais geral das temáticas de metodologia de pesquisa, IA e aplicações da IA no campo da Saúde e da Engenharia Biomédica, e o segundo foi dedicado à escolha dos artigos que deveriam ser lidos e analisados neste projeto.

Para a primeira parte, foi realizado o levantamento bibliográfico de fontes pertinentes à temática da IC, ou seja, que contivessem informações relevantes sobre metodologia de pesquisa, definições e origens da IA, lógica *fuzzy* e casos de prevenção de doenças utilizando tecnologias de IA. Isso foi realizado com o intuito de obter os conhecimentos teóricos necessários para estruturar o projeto e atender às propostas sugeridas. Os temas de IA, Engenharia Biomédica e metodologia de pesquisa foram extensamente estudados e abordados na pesquisa. Quanto aos princípios de aplicação da lógica *fuzzy*, por mais que obter esse conhecimento seja proveitoso e cumpra o objetivo de estudar temas que vão além da graduação, foi possível identificar que seus atributos não seriam aproveitados para o estudo das atribuições da IA no campo da Saúde e da Engenharia Biomédica.

A segunda parte consistiu no estudo de fontes relacionadas à aplicação da IA na Engenharia Biomédica. Com isso, foi possível desenvolver embasamento teórico sobre a relação entre as áreas e como se deu seu surgimento, além de seus benefícios, explicitados nos exemplos citados.

A terceira e última parte teve como intuito a busca de aplicações práticas da Inteligência Artificial na prevenção de doenças. Isso consistiu na leitura e análise de dois artigos, ambos sobre como atributos da IA e de tecnologias digitais poderiam auxiliar nas tomadas de decisões para o enfrentamento do cenário epidemiológico da COVID-19.

9 I CONCLUSÃO E DISCUSSÃO CRÍTICA

Como o uso da IA na prevenção de doenças é uma temática pouco explorada e praticada atualmente, as informações discutidas neste projeto buscaram conhecer, detalhar e determinar cenários que se beneficiariam de seus atributos. Com base nos conhecimentos descritos e na análise dos casos trazidos pelos artigos utilizados, pode-se dizer que a pesquisa permitiu entender os avanços que as aplicações da IA trariam para o

controle de infecções, monitoramento de casos e previsões de novos surtos.

Por mais que tenha sido analisado o uso da IA apenas para a COVID-19, o estudo teve relevância devido ao cenário pandêmico que continuamos a enfrentar, caracterizando um tema atual. Também foi importante para entender que as possibilidades trazidas pela IA são aplicáveis para qualquer quadro de doenças infecciosas, como esclarecido neste projeto. Além disso, a pesquisa possibilitou conhecer o cenário atual quanto a isso, especialmente no Brasil, onde as aplicações não foram muito exploradas e há diversas vertentes úteis da IA a serem analisadas e implementadas no sistema de saúde. Logo, este projeto contribuiu para identificar o potencial do uso da IA no combate a infecções, que atualmente possui poucas aplicações em vigência. Portanto, pode-se concluir que existe uma carência de atributos da IA no empenho à prevenção de doenças, já que essa proposta é recente, principalmente no caso da COVID-19

Uma proposta para aprofundar esta temática em uma pesquisa futura, que poderia se originar dessa IC, seria, por exemplo, a utilização da investigação bibliográfica trazida por esse projeto como base para uma pesquisa empírica. Sendo assim, poderiam ser considerados casos em que há aplicação da IA em sistemas de monitoramento de aglomerações, previsões de novos surtos, alertas de implementação de isolamento e distanciamento em determinadas regiões, monitoramento de casos de doenças e disponibilização de informações em tempo hábil aos gestores de saúde, para citar algumas possibilidades. Portanto, a continuidade dessa pesquisa também poderia percorrer o âmbito da Saúde e da Engenharia Biomédica, abordando aprimoramentos empíricos promovidos pela IA em ambas as áreas.

REFERÊNCIAS

BARRETO, Jorge Muniz. **Inteligência Artificial e Engenharia Biomédica: Casamento Perfeito ou Amantes Eternos?** Disponível em: http://www.academia.edu/33199962/Intelig%C3%AAncia_Artificial_e_Engenharia_Biom%C3%A9dica_Casamento_Perfeito_ou_Amantes_Eternos. (s/d). Acesso em 03/08/2021.

BORBA, Marcus. ***Aplicações da Inteligência Artificial no mundo atual***. Disponível em: https://news.sap.com/brazil/2019/10/aplicacoes-da-inteligencia-artificial-no-mundo-atual-bl0g/. Acesso em: 15/07/2020.

CELUPPI, Ianka Cristina *et al.* **Uma análise sobre o desenvolvimento de tecnologias digitais em saúde para o enfrentamento da COVID-19 no Brasil e no mundo**. Cadernos de Saúde Publica, [*s. l.*], v. 37, n. 3, p. 1–12, 2021. Disponível em: https://www.scielo.br/j/csp/a/rvdKVpTJq8PqTk5MgTYTz3x/?format=pdf&lang=pt. Acesso em: 06/12/2021.

FREITAS, Wesley R S; JABBOUR, Charbel J.C. **Utilizando Estudo De Caso (S) Como Estratégia De Pesquisa Qualitativa : Boas Práticas E Sugestões**. Estudo & Debate, [*s. l.*], v. 18, n. 2, p. 7–22, 2011. Disponível em http://www.univates.br/revistas/index.php/estudoedebate/article/viewFile/30/196. Acesso em: 15/07/2022.

FERREIRA, Sibele Maria Gonçalves. **Sistema de Informação em Saúde: Conceitos Fundamentais e Organização.** Nescon (UFMG), 1999. Disponível em: https://www.nescon.medicina.ufmg.br/biblioteca/imagem/2249.pdf. Acesso em: 20/07/2022.

FREITAS, Robson Almeida Borges de; et al. **Prospecção Científica sobre Epidemiologia e Prevenção da Covid-19 Aliada à Inteligência Artificial.** Portal de Periódicos da UFBA, 2020. Disponível em: https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/36190/21006. Acesso em: 05/12/2021.

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA SAÚDE E MACHINE LEARNING: UM PANORAMA DE OPORTUNIDADES MÉDICAS. [*S. l.*], 2021. Disponível em: https://www.drgbrasil.com.br/valoremsaude/inteligencia-artificial-na-saude/#:~:text=A inteligência artificial na área,um colapso na rede hospitalar. Acesso em: 10/09/2020.

LOTTENBERG, Claudio; DA SILVA, Patrícia Ellen; KLAJNER, Sidney. **A REVOLUÇÃO DIGITAL NA SAÚDE: como a inteligência artificial e a internet das coisas tornam o cuidado mais humano, eficiente e sustentável.** São Paulo: Editora dos Editores, 2019.

KAUFMAN, Dora. **Desmitificando a inteligência artificial**. Belo Horizonte, Autêntica, 2022.

LUNA, Sérgio Vasconcelos. **Planejamento de pesquisa: uma introdução.** 3 ed. São Paulo: Educ, PUC-SP, 2009.

MACHADO, Vinicius Ponte. **Inteligência Artificial.** 2011. Disponível em: https://www.academia.edu/40872084/INTELIG%C3%8ANCIA_ARTIFICIAL. Acesso em: 03/10/2021.

MARRO, Alessandro Assi; SOUZA, Alyson Matheus de Carvalho; CAVALCANTE, Everton R. de Sousa; BEZERRA, Giuliana Silva; NUNES, Rômulo de Oliveira. **Lógica Fuzzy: Conceitos e Aplicações.** Rio de Janeiro: Departamento de Informática e Matemática Aplicada (DIMAp), 2010.

SANTOS FILHO, José Camilo dos. **PESQUISA QUANTITATIVA *VERSUS* PESQUISA QUALITATIVA: O DESAFIO PARADIGMÁTICO.** In: SANTOS FILHO, J.C.; GAMBOA, S.S. (org). Pesquisa Educacional: Quantidade-qualidade. 7. ed. Cortez: São Paulo, p. 13-59, 2009.

SAS. **Inteligência Artificial: O que é e qual sua importância?** Disponível em: https://www.sas.com/pt_br/insights/analytics/inteligencia-artificial.html#history. Acesso em: 02/07/2020.

CAPÍTULO 15

LÓGICA FUZZY E PRECURSOR APLICADOS AO NÍVEL DE MANUTENÇÃO BASEADA NA CONFIABILIDADE AGRÍCOLA CIRCUNSCRITO À SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE

Data de aceite: 01/09/2023

Márcio Mendonça
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Cornélio Procópio
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/5415046018018708

Miguel Angel Chincaro Bernuy
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Cornélio Procópio
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/0848702819711420

André Luiz Salvat Moscato
Instituto Federal do Paraná, Campus Jacarezinho
Jacarezinho - PR
http://lattes.cnpq.br/1744149363927228

Wagner Fontes Godoy
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/7337482631688459

Michele Eliza Casagrande Rocha
Universidade Norte do Paraná -Unopar
Engenheira Projetista Elétrica
Londrina - Pr
http://lattes.cnpq/4411484670091641

Vicente de Lime Gonogora
Faculdade da Indústria SENAI Londrina
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica- Londrina -PR
http://lattes.cnpq.br/3808981195212391

Fabio Rodrigo Milanez
Faculdade da Indústria SENAI Londrina
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica- Londrina -PR
http://lattes.cnpq.br/3808981195212391

Janaína Fracaro de Souza Gonçalves
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - CP
PPGEM-CP - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica PP/CP
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/1857241899832038

Francisco de Assis Scannavino Junior
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/4513330681918118

Marcos Antônio de Matos Laia
Departamento De Ciência Da Computação – UFSJ
Minas Gerais - MG
http://lattes.cnpq.br/7114274011978868

Andressa Haiduk
Dimension Engenharia
Ponta Grossa - PR
http://lattes.cnpq.br/2786786167224165

Emerson Ravazzi Pires da Silva
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/3845751794448092

Kazuyochi Ota Junior
Mestrando - PPGEM-CP - Programa de
Pós-Graduação Multicampi em Engenharia Mecânica
Cornélio Procópio - Pr
http://lattes.cnpq.br/3845751794448092

Edgar Matsuo Tsuzuki
Gerente Regional Londrina - CREA-PR
Londrina - PR
http://lattes.cnpq.br/0698902788404621

Augusto Alberto Foggiato
Departamento de Odontologia – UENP
Jacarezinho - Pr
http://lattes.cnpq.br/0580089660443472

Fabio Nogueira de Queiroz
Centro Paula Souza
Departamento Computação-FATEC Ourinhos
Ourinhos – Sp
http://lattes.cnpq.br/4466493001956276

RESUMO: A produção de etanol e açúcar em usinas canavieiras depende da entrega de cana-de-açúcar pelo setor de CCT - Corte, Carregamento e Transporte. Esse setor desempenha um papel fundamental no processo, sendo composto por máquinas agrícolas como tratores, colhedoras de cana e caminhões. A introdução das colhedoras de cana aumentou a capacidade de produção e colheita, eliminando a necessidade de corte manual devido ao fim da queima da cana. No entanto, a demanda e a capacidade de processamento das indústrias também aumentaram, o que exige maior disponibilidade desses equipamentos e entrega de matéria-prima. Para garantir o bom funcionamento das máquinas, é necessário realizar ações de manutenção. Nesse contexto, sugere-se a aplicação da Manutenção Centrada na

Confiabilidade (RCM), que é uma forma de manutenção preditiva. Além disso, propõe-se o uso de uma ferramenta computacional, como um precursor da Lógica *Fuzzy*, que utiliza variáveis relevantes para calcular a necessidade de manutenção com base no conhecimento de especialistas. Isso visa reduzir a ocorrência de manutenção corretiva ou emergencial indesejada. Esse trabalho apresenta uma proposta de ferramenta computacional para auxiliar na gestão da manutenção, proporcionando melhorias abrangentes para os sistemas da empresa. Essa abordagem é particularmente relevante na era da indústria 4.0. O trabalho conclui com uma síntese das descobertas e sugestões para futuras pesquisas.
PALAVRAS-CHAVE: Manutenção Centrada na Realidade, *Fuzzy Cognitive Maps*, Análise Quantitativa lógica multivalorada.

FUZZY LOGIC AND PRECURSOR APPLIED TO THE LEVEL OF RELIABILITY-BASED AGRICULTURAL MAINTENANCE CIRCUMSCRIBED TO SAFETY AND ENVIRONMENT

ABSTRACT: The production of ethanol and sugar in sugarcane mills relies on the delivery of sugarcane by the CTT sector - Cutting, Loading, and Transport. This sector plays a fundamental role in the process and consists of agricultural machinery such as tractors, sugarcane harvesters, and trucks. The introduction of sugarcane harvesters has increased production and harvesting capacity by eliminating the need for manual cutting due to the end of sugarcane burning. However, the demand and processing capacity of the industries have also increased, requiring greater availability of these equipment and raw material delivery. To ensure the proper functioning of the machinery, maintenance actions are necessary. In this context, the application of Reliability-Centered Maintenance (RCM), a form of predictive maintenance, is suggested. Additionally, the use of an intelligent computational tool such as Fuzzy Cognitive Maps, which employs relevant variables to calculate the maintenance needs based on expert knowledge, is proposed. This aims to reduce unwanted corrective or emergency maintenance. This work presents a proposal for a computational tool to assist in maintenance management, providing comprehensive improvements to the company's systems. This approach is particularly relevant in the era of Industry 4.0. The paper concludes with a summary of findings and suggestions for future research.
KEYWORDS: Reality Centered Maintenance, Fuzzy Cognitive Maps, Quantitative Analysis.

1 I INTRODUÇÃO

A Revolução Industrial, marco transformador na história, introduziu mudanças significativas nas indústrias, objetivando a otimização dos processos de produção. Nesse contexto, o setor de manutenção passou a ser percebido sob uma nova ótica, mais técnica e estratégica, transcendendo o seu antigo papel de suporte e ações imediatistas, sobretudo corretivas (Kidd, 1994).

Este progresso evolutivo conduziu à adoção dos conceitos preventivos de manutenção, os quais visam otimizar a produtividade das máquinas, ampliar sua disponibilidade mecânica, garantir confiabilidade e minimizar os custos de produção

(Mobley, 2002).

No mundo atual, marcado por um ritmo acelerado de evolução tecnológica, a manutenção preventiva expandiu-se para abranger uma variedade de métodos preditivos. Esses métodos incorporam um vasto arsenal de ferramentas e técnicas de análise e monitoramento, todas convergindo para a capacidade de administrar, monitorar e intervir no momento ideal para manutenção (Swanson, 2001).

Esta nova realidade e o contínuo avanço tecnológico deram origem a um manancial de pesquisas e novas técnicas em aprendizagem de máquinas, diretamente ligadas às condições mecânicas dos equipamentos e seus sistemas componentes. O foco recai em atuar preventivamente, com métodos preditivos e um monitoramento ativo (Mitchell, 1997).

Paralelamente, a agricultura tem exercido um papel crucial na economia e desenvolvimento nacional. A mecanização agrícola, em particular, trouxe consigo um aumento das tecnologias empregadas no campo, almejando eficiência operacional. No entanto, essas tecnologias requerem uma capacidade mecânica robusta e uma demanda por alta potência das máquinas (Bowers, 1985).

No Brasil, o agronegócio representa um setor substancial do Produto Interno Bruto (PIB), respondendo por 24,8% do total em 2022. A cana-de-açúcar, por exemplo, é uma das principais culturas produzidas no país, servindo de matéria-prima primordialmente para a produção de açúcar e álcool, com usinas distribuídas por todo o território nacional, tendo o estado de São Paulo como principal polo produtor (Goldemberg, 2008).

Portanto, sugere-se que a confiabilidade mecânica das colhedoras de cana pode resultar em benefícios operacionais significativos e, consequentemente, aumentar a produtividade. Tais melhorias podem se refletir na redução do consumo de diesel, diminuição de vazamentos de lubrificantes no solo - mitigando impactos ambientais - e na diminuição das emissões de poluentes na atmosfera devido à combustão inadequada de combustíveis (Peel, 1991).

No contexto supracitado, tem-se como objetivo principal apresentar a metodologia MCC – Manutenção Centrada em Confiabilidade tendo como referência uma análise das manutenções preventivas e corretivas. Já os objetivos específicos deste trabalho são: apresentar uma breve Fundamentação sobre Manutenção Centrada em Confiabilidade, sugerir Mapas Cognitivos Fuzzy, do inglês FCM (*Fuzzy Cognitive Maps*), para quantificar a confiabilidade da manutenção e fornecer um feedback ao nível de confiabilidade da manutenção. Entretanto, o FCM sugerido ainda está como no nível de crença, ou seja, está de acordo com a visão dos especialistas ou experts (MENDONÇA et al., 2020).

Este trabalho objetiva contribuir com o gerenciamento por meio de análise de dados em sistema ERP, obtidos através de aberturas de Ordens de Serviços - OS em módulo de manutenção automotiva, pelo setor de Planejamento e Controle da Manutenção - PCM.

Já a motivação desse trabalho é aplicar a coexistência combinada com a previsão de parada de manutenção por meio de um índice calculado por um *Fuzzy Cognitive Maps*

inspirado no clássico, baseado em conhecimento de especialistas, para auxiliar nas tomadas de decisões gerencias.

Dentre as tecnologias atuais na área de manutenção, encontra-se a Manutenção Centrada na Confiabilidade - MCC ou do inglês ***Realibility Centered Maintanance*** – RMC (MENDES; RIBEIRO, 2014). Constitui-se em procedimentos de identificação de necessidades de manutenção em processos físicos ou industriais. Teve sua origem na indústria aeronáutica americana e está sendo utilizada em vários outros setores da economia, inclusive o de serviços, designado como Manutenção Centrada na Confiabilidade de máquinas e/ou equipamentos.

Este trabalho está dividido da seguinte maneira: Na Seção 2, são abordados os fundamentos e trabalhos relacionados, além de conceituar a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) e apresentar uma versão simplificada do Modelo Conceitual de Fuzzy (FCM) para tomada de decisões. Já a seção 3 explora Fundamentos e Trabalhos Correlatos com Lógica Fuzzy. A Seção 4 explora a abordagem lógica multivalorada aplicada à quantificação da manutenção automotiva de colhedoras, baseada no conhecimento de especialistas, com resultados preliminares para auxiliar a tomada de decisões na manutenção desses equipamentos. Por fim, a Seção 5 conclui o trabalho e apresenta sugestões para futuras pesquisas.

2 | FUNDAMENTOS E TRABALHOS CORRELATOS COM LÓGICA FUZZY

Geralmente, existem dois tipos de FCM, FCMs manuais e FCMs automatizados (YESIL et al., 2013). FCMs manuais são produzidos por especialistas manualmente, metodologia de desenvolvimento aplicada nessa pesquisa e FCMs automatizados produzidos por dados históricos, por exemplo.

Nesta pesquisa, a inferência FCM é feita por meio de uma é a função sigmóide unipolar, onde o parâmetro λ é o fator de esquecimento com range de 0,1 a 1, valor 1 foi utilizado nesse trabalho (equação 2), estabelece um fator de memória na evolução numérica dos conceitos de um Mapa Cognitivo Fuzzy. Desse modo, esses valores vão ser atualizados através da iteração com os outros conceitos e com o seu próprio valor, vão evoluindo após várias iterações, como mostra a função da equação (1) em (2) até estabilizarem-se num ponto fixo ou num ciclo limite (MENDONÇA et al., 2013).

$$A_i = f\left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n} (A_j \times W_{ji})\right) \quad (1)$$

Onde:

k é o contador das iterações, n é o número de nós no grafo, λ é fator de esquecimento,

foi empregado com valor *default* 1

W_{ji} é o peso do arco que conecta o conceito C_j ao conceito C_i, A_i (A_i anterior) é o valor do conceito C_i na iteração atual (anterior) e a função f (equação 2) é uma função do tipo sigmoide:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda x}} \quad (2)$$

No campo da engenharia de controle e automação, os FCMs foram aplicados para melhorar a performance e robustez dos sistemas. Os trabalhos de Song e Chong (2013) e Wei et al. (2016) exemplificam o uso de FCMs em sistemas de controle fuzzy.

Esses são apenas alguns exemplos do uso dos FCMs nas últimas décadas, demonstrando sua versatilidade e utilidade em diferentes campos.

Yesil e diferentes colaboradores (2013) apresentam dois artigos: o primeiro com um controlador Fuzzy-PID auto sintonizador (*Self-tuning*) baseados em apoderamento online das regras. O segundo apresenta um FCM para a sintonia dos parâmetros de controladores PI aplicado a um sistema não linear. Esses controladores não conseguem resultados satisfatórios o suficiente nesse tipo de sistema, pela diferença em suas propriedades estáticas e dinâmicas.

No trabalho de Mendonça (2013), uma DCN apresenta uma evolução dos FCMs, dentre outras propostas conhecidas na literatura (PAPAGEORGIOU, 2014) para controle e sistema supervisório do processo do fermentador alcoólico proposto por Maher (1995), similar ao utilizado neste artigo. Neste trabalho, a DCN enviou setpoints para PIDs das válvulas do fermentador e implementou algumas funções de um sistema supervisório, como por exemplo a detecção de baixo nível de biomassa.

O trabalho de Wang e colaboradores (2012) aplica um controlador Fuzzy-PID para elevadores, com o objetivo de reduzir o grande consumo de energia, onde esse sistema de controle é necessário, pois o PI convencional não satisfaz eficientemente o controle de objetos não lineares.

O objetivo deste artigo foi definir a estratégia de manutenção mais adequada para uma bomba centrífuga (preventiva, preditiva, corretiva ou emergencial), com base em cálculos de confiabilidade. O método de pesquisa foi a modelagem quantitativa, aplicada em uma planta petrolífera.

Existem trabalhos na literatura que utilizam ferramentas computacionais inteligentes e MCC. Já o trabalho (JANIER; ZAHARIA, 2011) o monitoramento de condição (CM) é um processo que monitora a condição do equipamento ao longo de sua manutenção vida para optar pela manutenção preditiva, um tipo de manutenção circunscrita a MCC. No trabalho de Liang e Sun (LIANG; SUN, 2011) é usado a ferramenta Avaliação Sintética Fuzzy para determinar a quantificar o nível de condição de um sistema mecânico no mar, e aplicar em

técnicas de MCC para avaliar a tipo certo de falhar e adotar estratégias de para prevenir novos riscos a este sistema.

Al-Najjar & Alsyouf (AL-NAIJAR; ALSYOUF, 2003), realizou um estudo de caso do uso de método Fuzzy MCDM para seleção da abordagem de manutenção mais eficiente, ou seja, aquela mais informativa. Dentre as opções: Manutenção Baseada na Falha, Manutenção Preventiva, Manutenção Baseada na Condição, entre outras. Ding & Kamaruddin (DING; KAMARUDDIN, 2015) estudou casos do uso do TOPSIS para seleção de política de manutenção

Neste contexto, emprego de lógica Fuzzy em MCC, essa pesquisa pretende apresentar Mapas Cognitivos Fuzzy para auxiliar no processo de gestão da manutenção automotiva de colhedoras de cana utilizando princípios de MCC. Desse modo, uma possível justificativa dessa análise está na aplicação de uma ferramenta que por meio de conhecimento qualitativo dos profissionais da área de manutenção poderá fornecer um feedback quanto a ocorrência de falhas e sinistros e tempo de retorno desses equipamentos após manutenções. Essas ocorrências têm chamado à atenção de profissionais da engenharia pelos impactos que têm causado para a sociedade tanto nos aspectos econômicos, segurança das instalações, até mesmo humanos e ambientais.

3 I FUNDAMENTOS E DEFINIÇÕES DA MANUTENÇÃO

O setor de manutenção está em constante evolução, com o surgimento de técnicas avançadas. Existem dois grupos principais de manutenção: corretiva e preventiva. A manutenção preventiva inclui as manutenções preditivas, que utilizam equipamentos de medição para intervir com base nas condições atuais dos equipamentos. Além disso, surgiram setores de apoio, como o Planejamento e Controle da Manutenção (PCM), que visam aumentar a confiabilidade dos equipamentos. A confiabilidade refere-se à capacidade de um item desempenhar sua função requerida. É importante conhecer os tipos de manutenção e considerar as características específicas dos equipamentos. Existem soluções tecnológicas sofisticadas, como sistemas de predição de alarmes, que auxiliam na tomada de decisões de manutenção. Além disso, a mineração de dados pode ser usada para identificar desvios e prever a necessidade de manutenção. Em resumo, o setor de manutenção busca constantemente aprimorar suas práticas e utilizar tecnologias avançadas para otimizar suas atividades.

3.1 Manutenção Centrada na Confiabilidade

Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) ou do inglês, *Realibility Centered Maintanance* – RMC é a prática de um método estruturado que determina a melhor atuação de manutenção para um equipamento ou edificação. Estabelece uma metodologia de identificação de necessidades de manutenção em processos físicos ou industriais.

Um breve histórico, na década de 1960, a MCC ganhou “força” com publicações de levantamentos na época de 1960, que originou um documento lançado em 1978 com o título “*Reliability Centered Maintenance* – RCM”, e desde então é considerado um dos mais importantes documentos de gestão de manutenção em todos os setores da indústria, e outras áreas como, por exemplo, edificações.

O trabalho (MENDONÇA; CHUN; ROCHA, 2017) declara que a MCC está organizada com o princípio primordial de que todas as ações de manutenção necessitam ser comprovadas, antes de sua execução.

A figura 2 mostra a sequência de desenvolvimento lógico do método de se tomar decisões, para a posteriori, por meio de um FCM simplificado. Observa-se que após a inferência do FCM influencia na tomada de decisão realizada pela máquina de estados, devido ao nível de confiabilidade encontrado pelo FCM retornar a Abertura de OS. Ainda de acordo com a figura 1, o processamento do item checklist determina as ações a serem executadas de acordo com as entradas de informações da manutenção.

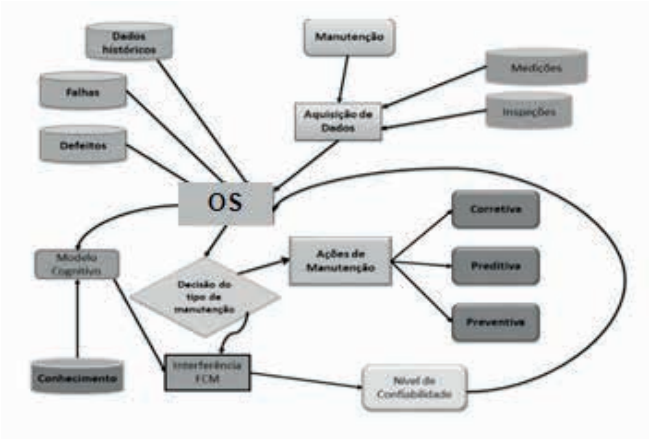


Figura 1. Fluxograma do funcionamento da SD-FCM aplicado a MCC.

Observa-se que a proposta desse trabalho é um Dynamic-FCM simplificado, do inglês *simplified Dynamic*-FCM (sD-FCM, sigla convencionada na sequência do trabalho). O sD-FCM muda sua estrutura de acordo com a mudança dos conceitos de entrada. No exemplo citado, a má qualificação da equipe de manutenção pode ter uma influência negativa alta na confiabilidade da manutenção, enquanto de forma inversa poderá ter uma influência positiva alta. Ressalta-se que todo o formalismo matemático para a inferência e estabilidade do FCM clássico são aplicados nessa proposta, isso se deve porque o sD-FCM funciona como FCM clássico quando ocorre alguma modificação na sua estrutura.

Esse item deverá considerar o nível de confiabilidade atual da máquina (por meio da inferência do FCM).

O modelo cognitivo clássico só contem relações causais ($W_{n,n}$) e seus devidos

conceitos (1 até 6), como mostra a figura 2. Devido à necessidade de se binarizar as entradas dos conceitos 2, 3 e 6 o modelo proposto teve a inclusão de relações de seleção ($Ws_{n,n}$). Essas relações de seleção alteram o valor de seus referentes pesos através de regras do tipo SE-ENTÃO, alterando assim a intensidade (ou a importância) de alguns conceitos inferidos na saída do sD-FCM. Não é escopo desse trabalho apresentar o desenvolvimento do D-FCM.

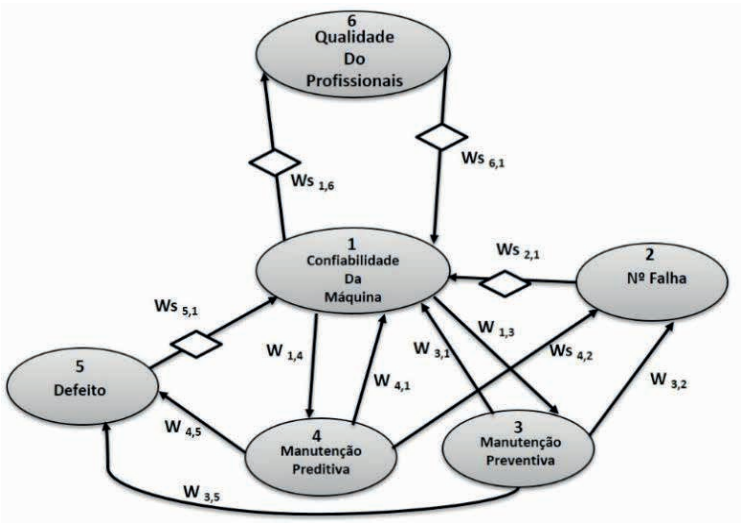


Figura 2. SD-FCM aplicado a MCC.

Um detalhe importante dessa área é sair do estado de crença, o qual foi apresentado e validar o mesmo.

O parâmetro de comprovação deve condizer com disponibilidade, segurança, economia e condições ambientais favoráveis ao equipamento e ao local no qual este está inserido. O trabalho supracitado também a MCC priorizou o desenvolvimento de uma manutenção arquitetada para dar uma visão macro do sistema, disponibilidade e a segurança necessária. Nesse trabalho supracitado alguns resultados podem ser sugeridos pela metodologia empregada, como por exemplo, treinamento da equipe que pode atenuar riscos e consequentes acidentes e a recorrência no tempo de duração das manutenções, os quais serão abordados nos resultados.

A colhedora de cana, de como mostra a figura 3, hoje é o principal equipamento atuando no campo na atividade de colheita, ela realiza em média a colheita de 700 ton/dia, ela é composta por basicamente por um sistema hidráulico acionado por um motor a diesel acima de 350 cv e movida por material rodante, o conhecimento de seu comportamento mecânico relacionado a manutenção é de fundamental importância, os históricos gerados por intervenções podem alimentar árvores de decisões as quais subsidiará redes neurais para tomada de decisões.

Figura 3. Imagem da colheitadeira

Normalmente as máquinas agrícolas na manutenção automotiva são divididas em sistemas com o objetivo de facilitar o reconhecimento de suas funções e componentes. Para efeito de desenvolvimento deste estudo, a colhedora foi dividida de forma objetiva em três sistemas, a saber: Sistema hidráulico; Sistema mecânico (motor, estrutura e material rodante); Sistema elétrico entre outros.

As empresas agrícolas do setor canavieiro utilizam módulos de manutenção em seus sistemas ERP para registrar informações sobre as manutenções automotivas em suas frotas. Isso permite a geração de indicadores e outros dados necessários para identificar os equipamentos com recorrência de problemas, usando por exemplo árvores de decisão (Abdelhalim; Traore, 2009).

3.2 Lógica Multivalorada

Lógica multivalorada, precursora da lógica fuzzy, é um sistema que permite mais valores além do binário padrão de verdadeiro ou falso (0 ou 1). A lógica multivalorada possui uma gama maior de valores possíveis, permitindo uma flexibilidade maior na tomada de decisões e no processamento de informações (COSTA; SILVA, 2018).

Costa e Silva (2018) explicam que a lógica multivalorada, na prática, pode ser vista como um conjunto de valores contínuos entre 0 e 1. Assim, ao contrário da lógica binária, que só permite estados de “verdadeiro” ou “falso”, a lógica multivalorada permite estados intermediários de verdade.

Segundo Klir e Yuan (1995), a lógica multivalorada é especialmente útil quando se lida com incertezas. Em muitos casos, informações incompletas ou incertas não podem ser adequadamente representadas usando apenas a lógica binária. A lógica multivalorada, por outro lado, permite uma representação mais adequada e precisa dessas incertezas.

4 | LÓGICA MULTIVALORADA APLICADOS NA QUANTIFICAÇÃO DA MANUTENÇÃO DE COLHEDORAS DE CANA

Este texto discute os parâmetros usados para prever a necessidade de manutenção em máquinas agrícolas, especificamente colheitadeiras. As variáveis consideradas incluem o tempo de operação da máquina, a área onde os problemas surgem, o local de manutenção (em campo ou oficina), o tipo de manutenção (corretiva, emergencial ou preventiva), se o problema é recorrente e o tempo de vida útil da máquina.

Em uma abordagem mais específica, quatro variáveis principais foram identificadas: o tipo de manutenção e sua respectiva importância, o tipo de equipamento (neste caso, a colheitadeira), a recorrência da manutenção (quantificada como pouco, médio ou muito), e a duração da manutenção em relação ao tempo de vida útil previsto pela máquina. Estes parâmetros são determinados por especialistas, de maneira similar à lógica fuzzy.

O texto menciona a aplicação desses princípios em dois exemplos, embora de maneira simplista. Nesse primeiro caso foram considerados índices normalizados de 0 a 1 com a seguinte situação

Manutenção preditiva peso 0,4; tipo de máquina colheitadeira peso 0,8; manutenção teve índice considerável de recorrência 0,7; e uma duração de manutenção não muito expressiva 0,4, e a vida útil quantificada em 0,5.

O índice inicialmente estimado foi de acordo com a figura 4a

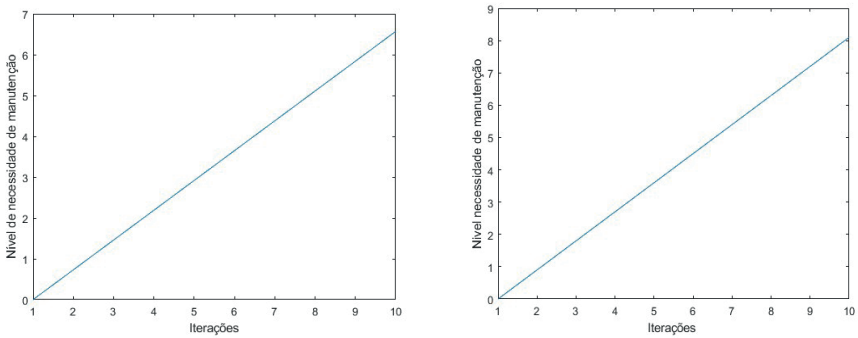


Figura 4. Indice do exemplo 1(a), índice do exemplo 2(b)

Já o exemplo 2, considera níveis mais altos para os parâmetros analisados, todos os mesmos parâmetros com valores de 0,8 (a priori, uma condição desfavorável que sugere que a máquina deve em breve passar por uma manutenção preditiva baseada na confiabilidade.

O índice inicialmente estimado foi de acordo com a figura 4b. A priori, pode-se estimar que um índice acima de 7 já sugere manutenção R.C.M na máquina, o valor do índice também pode ser relacionado com o tempo estimado para execução de manutenção dela. Além disso, a validação do sistema proposta, inicialmente no estado de crenças, o

qual na prática só pode ser validado com a aplicação do mesmo para tomadas de decisões assertivas.

5 I CONCLUSÃO

Este estudo ofereceu uma contribuição importante ao aplicar uma ferramenta computacional na gestão de manutenção das colhedoras de cana, proporcionando diagnósticos quantitativos. Futuras pesquisas vão validar o sD-FCM em estudos de caso reais e adaptá-lo a diversas políticas de manutenção. Além disso, pretende-se desenvolver uma interface de suporte à tomada de decisões e aprimorar o processo decisório ao incorporar outro D-FCM.

Ainda, planeja-se executar análises mais específicas, focando em cada sistema (hidráulico, elétrico e mecânico). A visão futura inclui a execução desta metodologia combinada com a previsão de paradas, aprimorando a aplicação até que o sistema forneça assistência progressivamente mais precisa nas decisões gerenciais.

REFERÊNCIAS

ABDELHALIM, A.; TRAORE, I. A new method for learning decision trees from rules. In: International Conference on Machine Learning and Applications, 2009, Miami. FL, USA, 2009. p. 693-698.

AL-NAJJAR, B.; ALSYOUF, I.; “Selecting the most efficient maintenance approach using Fuzzy multiple criteria decision making”, Int. J. Prod. Econ, v. 84, pp. 85-100, 2003.

BOWERS, W. Agricultural Mechanization. John Wiley & Sons, 1985.

COSTA, E.; SILVA, S. Introdução à Lógica Fuzzy. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

DING, S. H.; KAMARUDDIN, S.; “Assessment of distance-based multi-attribute group decision-making methods from a maintenance strategy perspective”. Journal of Industrial Engineering International, v. 11, issue 1, pp. 73-85, 2015. Disponível em: <http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-41142-

GOLDEMBERG, J. The Brazilian biofuels industry. Biotechnology for Biofuels, v. 1, n. 1, p. 1-7, 2008.

JANIER, J. B.; ZAHARIA, M. F. Z. Condition Monitoring System for Induction Motor Using Fuzzy Logic Tool. 2011 First International Conference on Informatics and Computational Intelligence. Anais...IEEE, dez. 2011

KIDD, P. Agile Manufacturing: Forging New Frontiers. Addison-Wesley, 1994.

KLIR, G. J.; YUAN, B. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic. Prentice Hall, 1995.

MENDONÇA, M. et al. multi-robot exploration using Dynamic Fuzzy Cognitive Maps and Ant Colony Optimization. IEEE International Conference on Fuzzy Systems. Anais...Glasgow, UK: IEEE, 2020.

MENDONÇA, M.; CHUN, I. R.; ROCHA, M. E. C. Dynamic fuzzy cognitive maps applied in Realibility Centered Maintanance of electric motors. IEEE Latin America Transactions, v. 15, n. 5, p. 827–834, 2017.

MITCHELL, T. Machine Learning. McGraw Hill, 1997.

MOBLEY, R. An Introduction to Predictive Maintenance. Butterworth-Heinemann, 2002.

PAPAGEORGIOU, E. I. (ED.). Fuzzy Cognitive Maps for Applied Sciences and Engineering. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014. v. 54

PEEL, M.D. Environmental effects of agricultural machinery use. Journal of Agricultural Engineering Research, v.50, n.3, p.183-199, 1991.

SWANSON, L. Linking Maintenance Strategies to Performance. International Journal of Production Economics, v. 70, n. 3, p. 237-244, 2001.

YESIL, Engin. et al. Self-Tuning PI Controller via Fuzzy Cognitive Maps. 2011.

CAPÍTULO 16

MAXIMIZANDO A GERAÇÃO HIDRELÉTRICA DE UM RESERVATÓRIO COM RESTRIÇOES AMBIENTALES

Data de aceite: 01/09/2023

Vanessa Nupan Narváez
http://lattes.cnpq.br/4035444861808780

Nathaly Sarasty Narváez
https://lattes.cnpq.br/1472992513998298

RESUMO: Neste trabalho, é realizada a simulação do reservatório Porce II localizado na Colômbia, visando maximizar a geração de energia hidráulica considerando regras operacionais que correspondam às restrições ambientais e físicas. Utilizando o *software* HEC-ResSim (*Hydrologic Engineering Center*), a bacia do reservatório e suas drenagens foram caracterizadas, estabelecendo-se a topologia e os parâmetros físicos do sistema. Em seguida, foram definidas regras de operação para vazões máximas e mínimas, a fim de avaliar o desempenho energético. A simulação considerou três alternativas, representadas com diferentes curvas guia, correspondendo a 90%, 50% e 20% do volume útil do reservatório. Os resultados mostraram que a curva guia associada a 50% do volume útil apresentou maior capacidade e média na geração da energia, enquanto atendia às restrições ambientais definidas.

PALAVRAS-CHAVE: hidrelétricas; condicionantes ambientais; ciclo hidrológico; HEC- ResSim.

1 I INTRODUÇÃO

A energia hidrelétrica representa uma fonte de energia relativamente barata e com baixas emissões de gases de efeito estufa. As usinas hidrelétricas têm a maior participação na capacidade instalada total do setor elétrico colombiano com 69,18% (Unidad de Planeación Minero Energética, 2018). A construção e operação de esses centrais, embora tenha um benefício econômico e social muito alto, é uma preocupação sobre os ecossistemas a jusante. As usinas hidrelétricas têm a capacidade de se adaptar a mudanças de curto prazo na demanda, então geralmente elas são operadas para fornecer energia durante os picos, isto representa a maximização do benefício econômico, mas gera uma alta variabilidade nos fluxos jusante que causa danos ao ecossistema, submetendo-o a um ciclo totalmente

diferente do que o apresentado antes de ser intervindo (Olivais, 2008).

As possíveis consequências ambientais deste tipo de operação tornam necessário a implementação de restrições que garantir a fluxo jusante apropriado para a sustentabilidade do ecossistema e que consigam equilibrar os benefícios contra os efeitos prejudiciais desta geração. A implementação deste tipo de restrições converte a maximização da geração hidrelétrica em um problema de otimização multiobjetivo sujeito a restrições. Gerar uma resposta dentro dos limites permitidos tanto por as restrições condições ambientais, bem como pelas restrições físicas do reservatório é uma tarefa complicada, para a qual se decidiu fazer uso de ferramentas computacionais, como o software de simulação reservatórios: HEC-ResSim.

O HEC-ResSim foi desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA, suas principais características são permitir a tomada de decisões em tempo real de operação e que permite modelar um ou mais reservatórios polivalentes com restrições operacionais. O software consiste em uma interface gráfica, um motor computacional que permite simular as operações de reservatório, capacidade de armazenamento e gerenciamento de dados e funções de gráficos e relatórios para facilitar a análise dos resultados (United States Army Corps of Engineers [USACE], 2021).

Este artigo apresenta uma simulação usando o *software* HEC-ResSim do reservatório Porce II. O projeto hidrelétrico Porce II está localizado ao nordeste de Antioquia, a 120 quilômetros de Medellín, em jurisdição dos municípios de Yolombo, Amalfi e Gomez de Plata, seu principal afluente é o rio Porce. Tem uma capacidade instalada de 393 MW, uma barragem de 118 metros de altura que cria a reservatório de 234 milhões de metros cúbico e um vertedouro de tipo canal aberto com quatro comportas radiais que desembocam no leito do rio (Empresas Públicas de Medellín [EPM], 1995).

Sua bacia, suas drenagens e as características físicas da barragem, do reservatório, o vertedouro e suas comportas foram modeladas, além de características da usina, de forma que a geração obtida seja útil para avaliar a topologia e operabilidade do modelo. Dois tipos de restrições ambientais foram incluídos: fluxo ecológico e taxas de mudança do fluxo a jusante, o primeiro com o objetivo de estabelecer um volume mínimo que não gere danos ao ecossistema e o segundo com o objetivo de acompanhar o comportamento do ciclo anual do rio antes das mudanças.

No capítulo 2, é apresentada uma contextualização do trabalho. No capítulo 3 é apresentada a descrição do estudo de caso correspondente ao projeto hidrelétrica de Porce II. No capítulo 4 é apresentada a metodologia, que inclui a descrição e acusação da informação encontrados na literatura e as características do software HEC-ResSim juntamente com as características atribuídas a cada elemento para a simulação. No capítulo 5, são apresentados os resultados e a respectiva análise para cada simulação feita. No capítulo 6, são apresentadas as conclusões.

2 | CONTEXTUALIZAÇÃO

HEC-ResSim é uma ferramenta muito útil para simular reservatórios multipropósito ou com restrições ambientais, sua versatilidade permite incluir no sistema numerosos projetos como reservatórios, canais, desvios, bombas ou usinas de energia, sendo incluído em vários estudos de gerenciamento e melhoria de reservatórios para nível mundial.

Klipsch e Evans (2006), descrevem o propósito de HEC-ResSim, identificando características de suas regras de funcionamento. O programa consegue representar qualquer sistema complexo de reservatórios como uma rede composta por 4 elementos: nós que representam a união das drenagens ou pontos com afluências ao sistema; seções que representam os drenagens, o atraso e a atenuação do fluxo nesses trechos são calculados usando métodos de roteamento hidrológico padrão; desvios que representam o desvio de água de seu curso natural, a quantidade pode ser constante ou em função de outro parâmetro como tempo e fluxo; e reservatórios cujas comportamento definido pela função dimensão-volume. Cada um desses elementos é definido com características físicas realistas sem detalhes excessivos que atrapalhem o cálculo.

A criação da barragem correspondente ao reservatório permite estabelecer dois tipos de saídas: controladas e não controladas, que podem corresponder a aterros com comportas e sem portas respectivamente, além disso, é possível adicionar saídas mais complexas como pisos de energia ou bombas (Klipsch e Evans, 2006).

A abordagem do programa é baseada em regras operacionais, é possível levar em consideração época do ano, condições hidrológicas, temperatura da água e operações simultânea de outros reservatórios do sistema, da mesma forma que os operadores de reservatórios através do estabelecimento de programas de descarga.

Na maioria dos reservatórios, as regras de operação mudam dependendo do armazenamento, o HEC-ResSim segue esse comportamento dividindo o reservatório em zonas cujos limites inferior e superior podem ser constantes ou podem estar em função de algum parâmetro. Dentro dessas zonas há uma elevação alvo chamada de curva guia, que é o ponto de partida para as decisões lógicas tomadas, quando a cota do reservatório estiver acima da curva guia, busca-se que as saídas sejam maiores que as entradas para diminuir o armazenamento e quando a cota do reservatório estiver abaixo da curva guia, que as saídas sejam menores que as entradas para aumentar o armazenamento. Então as regras de operação e as propriedades físicas do sistema atuam como restrições na capacidade e do reservatório para atingir uma altura de acordo com a curva guia.

O objetivo operacional de cada reservatório depende de uma regra flexível que especifica um limite mínimo ou máximo de saídas, essas regras são organizadas de acordo com a sua prioridade, mas devem estar dentro da faixa que as características físicas permitem ter efeito, dentro do intervalo admissível calculado, as saídas que mais se aproximam do nível ao determinado por a curva guiam são calculadas. Klipsch e Evans

(2006), concluem que o programa fornece uma ferramenta eficaz para ele apoiar para o pegar de decisões em tempo real e dele usar em estudos de planejamento, que permite descrever o funcionamento dos reservatórios e suas características o que fazem com que seja aplicável para modelar quase qualquer sistema de reservatórios.

Na Colômbia foram realizados vários estudos sobre esse programa. Serra e outros. (2020), realizaram um estudo para abordar o cálculo de diferentes curvas-guia para inseri-las no software HEC-ResSim e pode encontrar a curva ótima que melhora o uso do armazenamento do reservatório e possibilita o cumprimento de múltiplas finalidades, minimizando a possibilidade de enchentes e desabastecimentos. Eles tomaram como estudo de caso o reservatório de O Xícara no departamento de Boyacá. A função objetivo a ser minimizada foi a soma dos volumes de desabastecimento, a variável de decisão é a descarga da barragem e as restrições ambientais e físicas correspondem às alturas das áreas de operação, o fluxo ecológico e as descargas não controlada. Várias curvas-guia foram calculadas usando diferentes metodologias: do software CEH-ECI, realizando uma análise estatística dos volumes em reserva necessários para cada mês e fazendo uso de métodos de otimização como o MES (Minimum excess and shortage) e o Monte Carlo. Serra et al. (2020), concluem que o melhor método para estimar a curva guia quando se trata de um caso com múltiplos objetivos, corresponde a um método de otimização já que permite formular e maximizar cada benefício.

3 I CASO DE ESTUDO

O caso de estudo corresponde a projeto hidrelétrica Porce II, mostrado na Figura 1. O projeto Porce II contempla o aproveitamento hidrelétrico do rio Porce, através de sua regulamentação em um reservatório de 234 m^3 de capacidade, o projeto pertence às Empresas Públicas de Medellín (Silva Carrero & Asociados Ltda. [SC&A]).

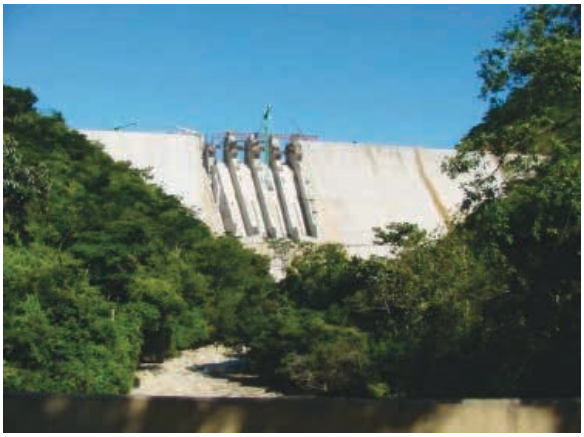


Figura 1. Projeto hidroeletrico Porce II. Fonte: Conconcreto, 2018 (https://conconcreto.com/wp-content/uploads/2018/08/PANO-PRESA-1.jpg)

3.1 Localização e capacidade

Nordeste do Estado de Antioquia na Colômbia, entre os municípios de Yolombo, Amalfi e Gomez de Plata.O reservatório e os principais drenos se mostram na Figura 2. Possui capacidade instalada de 396 megawatts (MW) para uma geração firme de 1600 gigawatts-hora/ano (EPM, 1995).

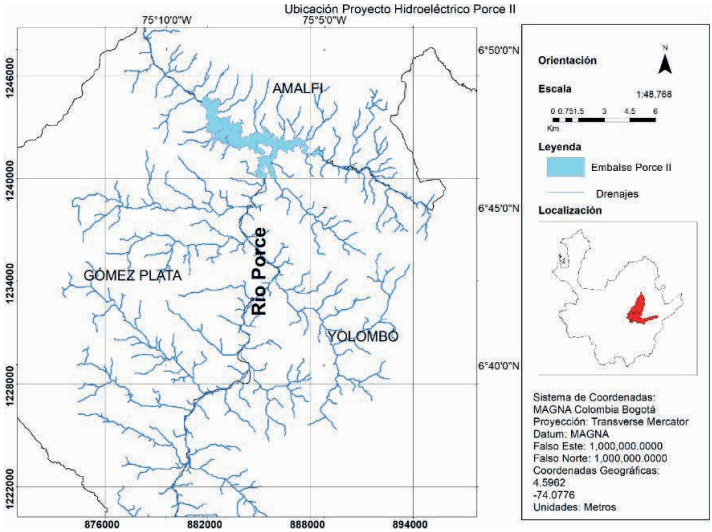


Figura 2. Localização projeto Porce II

3.2 Hidrografia

Seu principal afluente é o rio Porce, este rio percorre 232 km do Alto de minas até o rio Nechi, em seus primeiros 60 km é conhecido como rio Medellín. Devido às características topográficas e disponibilidade de água na área, pode-se encontrar vários projetos deste tipo em seus arredores, tais como: Guadalupe I, II, II e IV, Riogrande I e II, Porce III e Ermitaño (EPM, 1995).

3.3 Barragem

A barragem tem 118 metros de altura e foi construída com a técnica de concreto compactado com rolo (CRC). Se encontra localizada na bifurcação da estrada entre Amalfi e Anorí, neste ponto o rio Porce começa a descer até o rio Guadalupe no município de Santa Rosa de Osos (EPM, 1995).

3.4 Vertedouro

Construído na barragem, do tipo canal aberto, com quatro comportas radiais que descarregam diretamente no rio Porce, sua largura é de 56 metros e tem capacidade de descarga de 3.200 m^3/s com o reservatório na cota 922,7 metros acima do nível do mar (EPM, 1995).

3.5 Reservatório

O reservatório tem capacidade de 234 milhões de m^3, 83 Mm^3 correspondem ao volume útil equivalente ao volume turbinado por 8 dias consecutivos, inundando 890 hectares (SC&A). A curva dimensão-volume é apresentada na Figura 3.

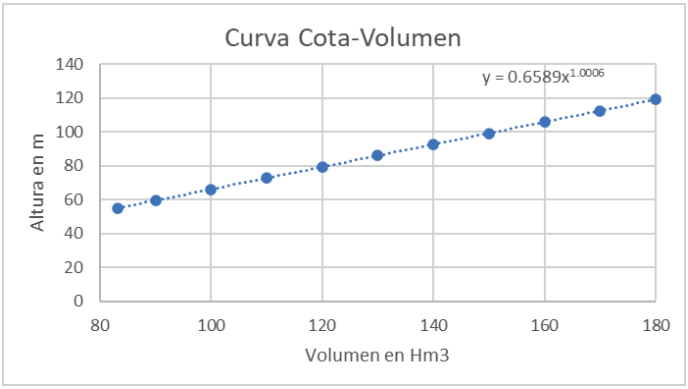


Figura 3. Curva dimensão -volume

3.6 Quarto de máquinas

Se encontra no nível subterrâneo, 107 metros abaixo da superfície, na margem direita do rio Porce composta por duas áreas paralelas, na primeira estão as diferentes equipes (hidromecânica, geradores, transformadores e de ao controle) e a segunda a coleta das águas turbinadas. Tem-se 3 tipos de turbinas Francis, cada unidade com fluxo de nominal de 67,7 m^3/s e um salto líquido nominal de 225,3 metros.

4 I METODOLOGIA

O software HEC-ResSim consiste em três módulos: configuração da bacia (*Watershed set up*), grade de reservatórios (*Reservoir Network*) e simulação (*Simulation*). A seguir, as ações realizadas e as informações inseridas em cada módulo.

4.1 Watershed set up

O objetivo deste módulo é criar um espaço comum com outras aplicações de modelagem HEC, na qual são definidas as características da bacia. Neste caso se adicionaram mapas de fundo importando arquivos em formato SHP. Os drenos, os pontos de computação e o reservatório foram estabelecidos junto com a barragem. Esta configuração foi salva com essas condições específicas para serem utilizadas no próximo módulo. Esta configuração se mostra na Figura 4.

Figura 4. Watershed

4.2 Reservoir Network

Este módulo estabelece a forma como o modelo vai ser desenvolvido e as diferentes alternativas a serem simuladas, isso é criado a partir da configuração definida em o módulo anterior. Em primeiro lugar, foi criada a grade do reservatório, usando a ferramenta "*Reach Tool*". Os pontos de controle foram conectados de montante a jusante para definir a direção do canal, no início e no final de cada trecho, como se mostra na Figura 5. Nenhuma rotina hidrológica específica é incluída para essas seções, o fluxo irá instantaneamente do ponto de entrada ao ponto de saída.

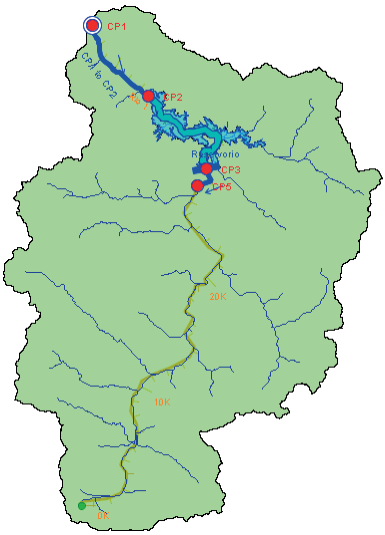


Figura 5. Network

Posteriormente, com o uso da ferramenta "*Junction tool*" foi editado o primeiro dos pontos de conexão, adicionando um fluxo local que corresponde a uma série de taxas de fluxo reportado diariamente no reservatório, este fluxo foi denominado como "*Inflow*" e estabelecido com um fator de 1,0, isto é, não vai aumentar nem vai a diminuir os dados relatados.

Continuou-se com o editor do reservatório, uma vez que o reservatório e seu conexão foram criados, é necessário especificar suas propriedades físicas, um reservatório é um projeto complexo para que seus elementos sejam organizados em um esquema de árvore, o esquema correspondente para este caso de estudo se apresenta na Figura 6.

Figura 6. Esquema de árvore

É evidente que existem dois elementos principais: O reservatório e a barragem, dentro da barragem se definem dois tipos de saída, a primeira saída controlada (*Controlled Outlet*) correspondente ao vertedouro tipo canal aberto com comportas radiais e o segundo, uma usina (*Power Plant*) para a qual a elevação da água de descarga foi adicionada (*Tailwater*) com a que será calculado o cabeça disponível para a geração de energia.

4.2.1 Propriedades físicas

As propriedades físicas como foram inseridas no programa serem especificadas na Figura 7.

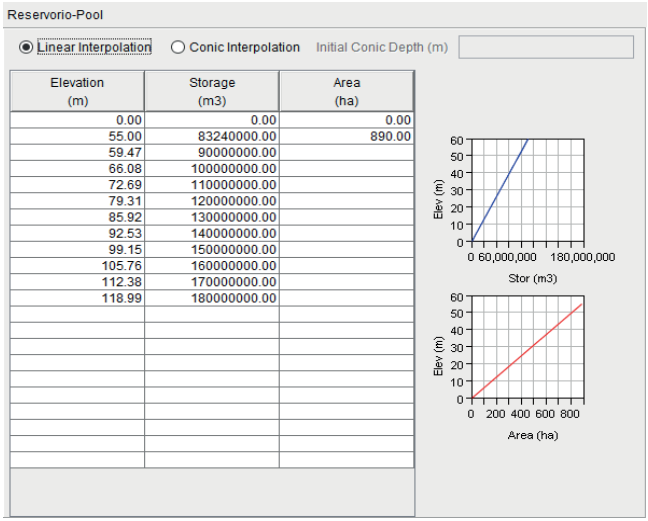


Figura 7. Elevação vs armazenamento

Para a configuração da saída controlada, foram utilizadas as propriedades físicas do vertedouro, definindo uma capacidade de 800 m^3/s para cada comporta, para atingir o total de 3200 m^3/s, valor que corresponde à vazão de projeto, o vertedouro tem essa capacidade desde os 116,2 metros de altura aos 118 metros de altura que correspondem à elevação máxima da barragem. A informação anterior foi ingressada no software como se mostra na Figura 8.

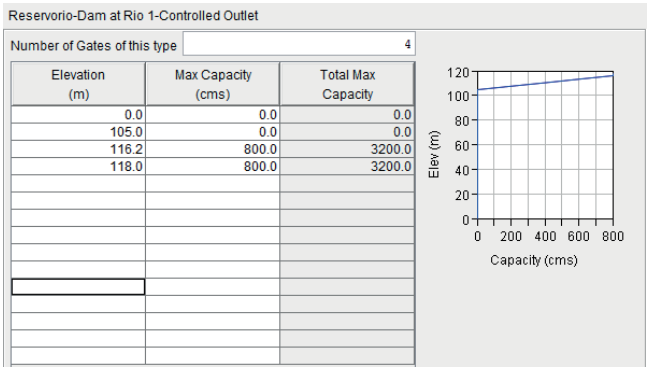


Figura 8. Capacidades do vertedouro

A curva de capacidade da usina foi definida de acordo com a altura do reservatório como apresentado na Figura 9.

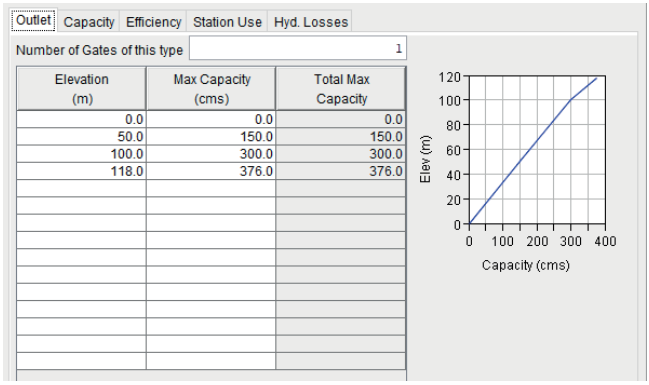


Figura 9. Capacidades da usina

A capacidade instalada foi estabelecida em 400 MW e é função do armazenamento do reservatório em metros cúbicos como amostra na Figura 10.

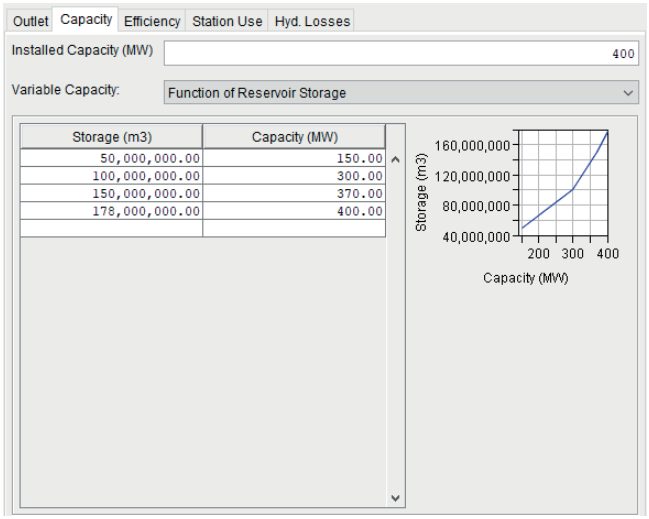


Figura 10. Habilidade vs armazenar

A elevação da descarga de água “Tailwater” foi estabelecida na altura da casa de máquinas subterrâneo, é dizer -107 metros. O percentual de eficiência da usina hidrelétrica foi estabelecido como constante 90%.

4.2.2 Regras de Operação

4.2.2.1. Zonas.

A zona inativa foi estabelecida a uma altura de 55 metros. Para a zona de conservação foi decidido estabelecer três alturas diferente para levar a cabo três simulações, as

alturas correspondem à altura para 90%, 50% e 20% do volume útil, 112, 86 e 68 metros respectivamente.

4.2.2.2. Fluxo Mínimos e Máximos.

Optou-se por definir uma vazão média para cada mês do ano hidrológico e calcular os limites superiores e inferiores de acordo com seu desvio padrão, esses limites correspondem às vazões máxima e mínima permitidas, isso para se aproximar do ciclo hidrológico existente antes da construção do projeto e assim reduzir o seu impacto ambiental. Esses valores ilustram na Figura 11.

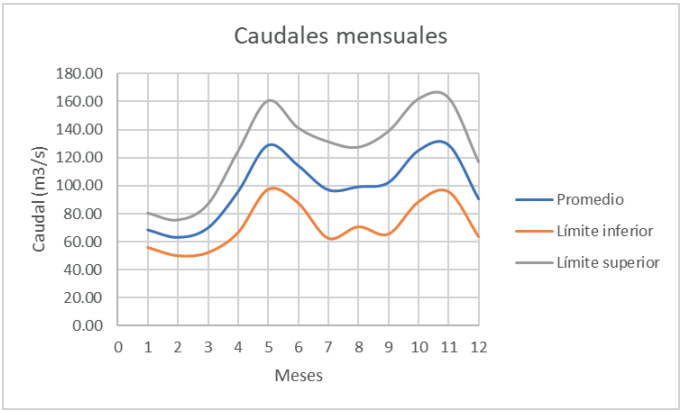


Figura 11. Taxas de fluxo máximo e mínimos

Essas regras foram estabelecidas na área de conservação, para descargas e como função da data, sendo constante para cada mês.

4.2.3 Alternativas

Foram definidas três alternativas diferentes, uma para cada zona de conservação. estabelecida (90%, 50% e 20% do volume útil). Com o mesmo conjunto de regras de operação, em escala diária, foi realizada uma análise padrão com 10 anos de histórico hidrológico (2005-2015) e as condições iniciais foram estabelecidas como reservatório completo e planta de energia trabalhando em capacidade máxima de saída.

4.3 Simulação

Foram realizadas três simulações diferentes, uma para cada alternativa, para os três a hora de início foi determinada como 15 de janeiro de 2005, a data "*lookback*" como 05 de janeiro de 2005 e a data final 31 de dezembro de 2015.

5 | ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1 Curva Guia 1

Esta curva corresponde àquela estabelecida na altitude de 112 metros como 90% do volume útil. A parte superior da Figura 12 mostra a elevação do reservatório e as descargas feitas para cada data, na parte inferior dela, é mostrado com uma área sombreada, os limites máximo e mínimos estabelecidos nas regras de operação.

Alguns decréscimos notáveis na elevação do reservatório são observados a fim de atender a vazão mínima estabelecida, principalmente para os anos de 2010 no mês de abril de 2013 no mês de abril, 2014 no mês de agosto e 2015 nos meses de abril e dezembro.

Observa-se que muitas vezes o limite máximo de vazão é violado, devido a limitações físicas do reservatório já que a curva guia está em um nível muito alto, o valor de fluxo máximo atinge para atingir 531,56 m^3/s.

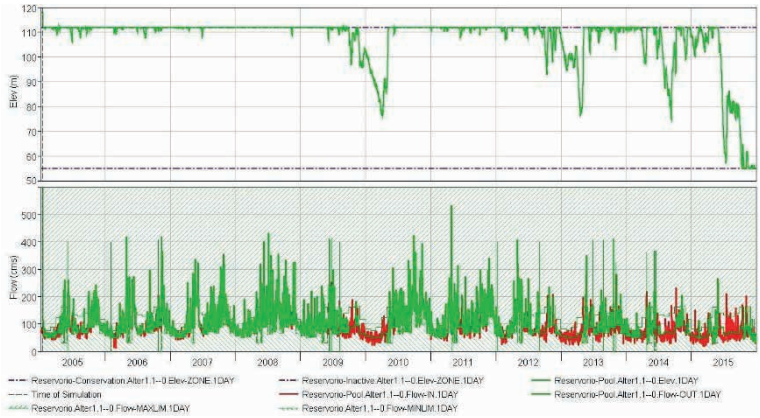


Figura 12. Elevação, bilhetes e entregas da curva 1

Em relação à geração de energia, podemos ver na parte superior da Figura 13, que a capacidade da planta na maioria do tempo chega dele máximo (400 MW), devido a que com essa capacidade é função do armazenamento, é favorável nesse sentido ter uma curva guia em um nível tão alto.

Na parte inferior da Figura 13, é possível observar que as entregas à energia representam apenas uma porcentagem das entregas totais, o restante está sendo descarregado pelo vertedouro, então não está sendo aproveitado corretamente o recurso.

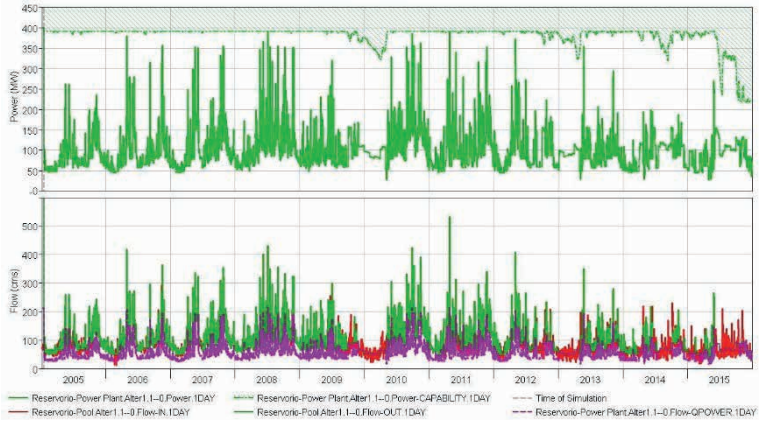


Figura 13. Energia e entregas da curva 1

A Tabela 1, mostra as características da geração de energia nesta alternativa e seus valores média, máxima e mínima.

Location/Parameter	Average	Maximum	Minimum
Reservorio-Power Plant			
Generation Efficiency	0.90	0.90	0.90
Power Head (m)	202.46	213.00	150.00
Hydraulic Losses (m)	12.00	12.00	12.00
Energy Generated per Time Step (MWh)	2420.91	9600.00	679.72
Power Generated (MW)	100.87	400.00	28.32
Plant Factor	0.27	1.00	0.07
Flow Power (cms)	56.66	214.06	15.83

Tabela 1. Geração de energia da curva 1

5.2 Curva Guia 2

Esta curva corresponde àquela estabelecida na altitude de 86 metros como 50% do volume útil. A Figura 14, mostra a elevação do reservatório e as descargas feitas para cada data, além disso, os limites máximo e mínimo são mostrados com uma área sombreada estabelecido nas regras de Operação. Observam-se alguns decréscimos notáveis na cota do reservatório, nos mesmos dados onde aconteceu para a curva guia 1.

Observa-se que muitas vezes o limite máximo de vazão é violado, devido às limitações físicas do reservatório. No entanto, esses picos são notavelmente menores do que aqueles apresentados com a curva guia 1, atingem um máximo de 287 m^3/s, enquanto no anterior caso eles atingiram valores até de 531,56 m^3/s.

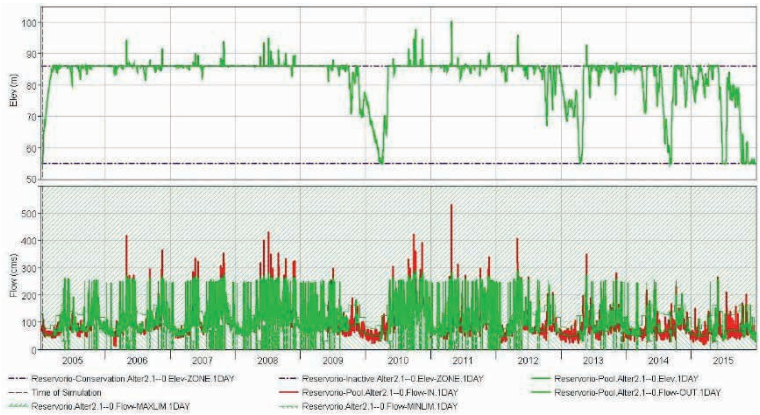


Figura 14. Elevação, bilhetes e entregas da curva 2

Com relação à geração de energia, podemos observar na Figura 15, que a capacidade instalada da planta de energia não alcança o máximo instalado de 400 MW devido a diminuição do armazenamento, no entanto, atinge um valor de 363 MW que é muito próximo. É possível observar que as entregas à usina representam uma maior porcentagem do total de entregas em relação à curva guia 1, a porcentagem do recurso que está sendo entregue ao aterro sanitário demonstrando uma melhor gestão do recurso.

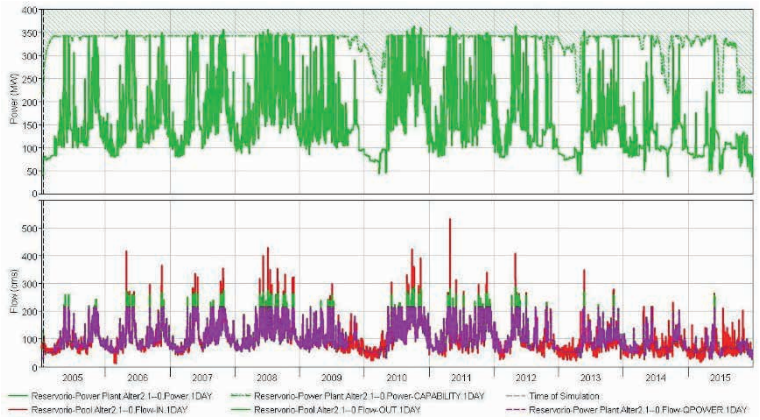


Figura 15. Energia e entregas da curva 2

A Tabela 2, mostra as características da geração de energia nesta alternativa e seus valores média, máxima e mínima.

Location/Parameter	Average	Maximum	Minimum
Reservorio-Power Plant			
Generation Efficiency	0.90	0.90	0.90
Power Head (m)	177.52	190.88	150.00
Hydraulic Losses (m)	12.00	12.00	12.00
Energy Generated per Time Step (MWh)	3679.52	8713.78	872.23
Power Generated (MW)	153.31	363.07	36.34
Plant Factor	0.46	1.00	0.15
Flow Power (cms)	97.19	215.66	27.47

Tabela 2. Geração de energia da curva 2

5.3 Curva Guia 3

Esta curva corresponde àquela estabelecida a uma altitude de 68 metros como 20% do volume útil. A Figura 16, mostra a elevação do reservatório e as descargas feitas para cada data, além disso, os limites máximo e mínimo são mostrados com uma área sombreada estabelecido nas regras de Operação. Observam-se alguns decréscimos notáveis na cota do reservatório, nas mesmas datas em que ocorreu para as curvas guia 1 e 2. Os picos por sobre do limite de fluxo máximo são menores, alcançar valores de 265,42 m³/s.

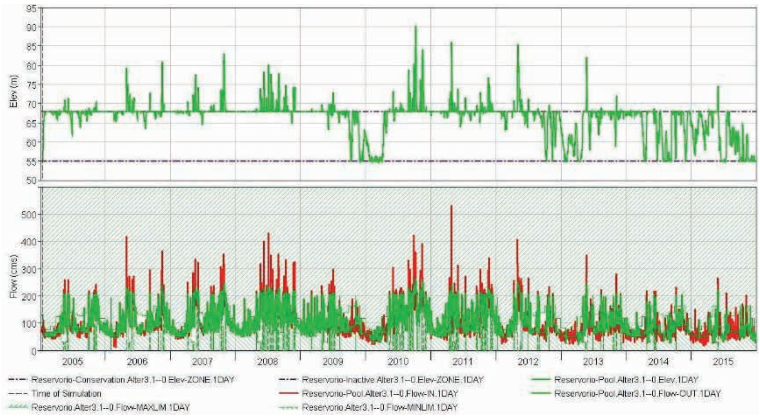


Figura 16. Elevação, bilhetes e entregas da curva 3

Com relação à geração de energia, podemos observar na Figura 17, que a capacidade instalada da usina também não atinge o máximo de 400 MW, atinge um valor máximo de 347,50 MW, apenas 15,5 MW abaixo do alcançado no caso da curva dois, ou seja, esta mudança não é significativa. É possível observar que as entregas para a usina representam quase todas as entregas, o vertedouro está inativo a maior parte do tempo pelo que é evidente um gerenciamento favorável do recurso.

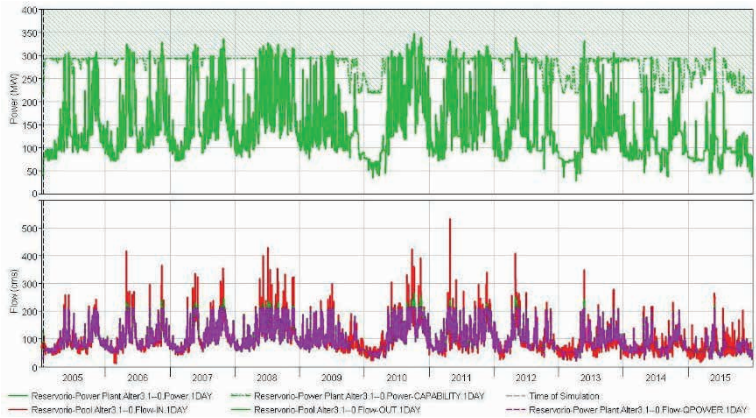


Figura 17. Energia e entregas de a curva 3

A Tabela 3, apresenta as características da geração de energia nesta alternativa e seus valores médio, máxima e mínimo.

Location/Parameter	Average	Maximum	Minimum
Reservorio-Power Plant			
Generation Efficiency	0.90	0.90	0.90
Power Head (m)	161.28	183.52	150.00
Hydraulic Losses (m)	12.00	12.00	12.00
Energy Generated per Time Step (MWh)	3379.58	8339.90	676.86
Power Generated (MW)	140.82	347.50	28.20
Plant Factor	0.47	1.00	0.11
Flow Power (cms)	98.33	214.69	21.32

Tabela 3. Geração de energia da curva 3

5.4 Curva ótima

Decidiu-se em primeiro lugar descartar a curva número um, devido a que gera taxas de fluxo bastante maiores para os máximos estabelecidos na Regra de Operação. A pesar de que uma cota tão alta permite maior armazenamento, uma grande parte do tempo, permitindo atingir o maior valor de capacidade instalada, há uma média de fator de planta de 0,27, valor muito baixo em relação às alternativas anteriores, atingindo conseguir um mínimo de até 0,07.

As curvas número dois e número três não mostram diferenças significativas entre em termos de picos de fluxo máximo, mas representam uma alternativa muito melhor. melhorar em esse aspecto que aquele apresentado em a curva um, conseguindo diminuir este pico até em 255,42 m^3/s. Assim, o critério de seleção entre esses dois focou-se na maior produção de energia.

Desta forma optou-se por escolher a curva dois como a curva ótima do sistema já que apresenta maior capacidade e maior média na energia gerada que a curva três, participando restrições ambientais definidas.

6 I CONCLUSÕES

Projetos de uso de recursos hídricos comumente possuem múltiplas finalidades e, ainda, por representarem risco ao ecossistema onde se estabelecem, exigem restringir suas operações para minimizar os danos causados, o que faz com que sua gestão requeira de Programas como HEC-ResSim que permitem tomar decisões em tempo real.

O software HEC-ResSim possui ferramentas e flexibilidade suficientes para simular sistemas complexos que incluem usinas de energia, desvios para aqueduto, bombas, reservatórios em série e em paralelo, entre outros. Além disso, as regras de funcionamento podem ser aplicadas a cada elemento do sistema de acordo com um grande número de variáveis e até pode ser estabelecido via scripts.

A simulação de diferentes curvas guia é útil para observar o comportamento do reservatório e verificar que se consiga uma maior geração de energia hidráulica sem causar uma violação das regras operacionais correspondentes às restrições ambientais e que, além disso, o recurso disponível seja utilizado ao máximo, tentando garantir que os descargas sejam mínimas.

Muitas das metodologias convencionais para determinar os fluxos ecológicos são limitam-se a calcular uma vazão mínima constante, porém, essa vazão não representa a variabilidade do ciclo hidrológico antes de ser intervencionado, o que garante o desenvolvimento e bem-estar do ecossistema, portanto, é aconselhável levar em conta metodologias que alcancem representar são cotações de mudar e estabelecê-los em as regras operacional destes sistemas.

REFERÊNCIAS

Empresas Públicas de Medellín (EPM). (novecentos e noventa e cinco). Projeto Hidrelétrico Porce II. Escritório de EE.PP.M Comunicações

Kim, J., Read, L., Johnson, LE, Gochis, D., Cifelli, R., & Han, H. (2020). ainda experimento em esquemas de representação de reservatórios para melhorar a previsão hidrológica: acoplamento o modelo nacional de água com o HEC-ResSim. *Jornal de Ciências Hidrológicas* , *65* (10), 1652-1666.

Klipsch, JD, & Evans, TA (2006, abril). Modelagem de operações de reservatório com HEC-ResSim. Nos *Anais do 3º Congresso Federal Interinstitucional de Modelagem Hidrológica Conferência, Reno, NV, EUA* (Vol. 3).

Sierra, F., Sanabria, J., Corzo, G., & Santos, G. (2020, maio). Determinação do Curva Guia Ótima para um Reservatório, Estudo de Caso Barragem Copa, Boyacá. Na *EGU Geral Conjunto Conferência Resumos* (pág. 12572).

Silva Carrero & Associados Ltda.(sf). Estudos de projeto de conceito Porce II. Relatório Nº 023. Ministério de Minas e Energia. https://repositoriobi.minenergia.gov.co/handle/123456789/2153

Tica, E. YO., Ahmad Rashid, K., SIMA, O. v., Popa, F., Nedelcu, O. & Popa, b. (2022).

Otimização de uma operação complexa de desenvolvimento hidrelétrico usando HEC-ResSim. na *PIO Série de Conferências: Ciência e Engenharia de Materiais* (Vol. 1216, No. 1, p. 012017). PIO Publicando.

Unidade de Planejamento Mineiro-Energético (Upme). (2018). *Relatório mensal de Variáveis de geração e o mercado elétrico colombiano - agosto de 2018.* Governo de Colômbia.

Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA. (2021). HEC-ResSim: *Simulação do Sistema de Reservatório Manual do usuário*. Recuperado de https: //www.he c .usace.army.mil/software/hec-ressim/documentation/HEC-ResSim_33_UsersManual.pdf.

CAPÍTULO 17

PERFIL DAS ALTERAÇÕES HEMATOLÓGICAS, CITOGENÉTICAS E IMUNOFENOTÍPICAS DE PACIENTES COM SÍNDROMES MIELODISPLÁSICAS

Data de aceite: 01/09/2023

Alexandra Zendersky
Centro Universitário de Brasília - CEUB
Programa de Iniciação Científica

Perla Mascarenhas
Centro Universitário de Brasília - CEUB
Programa de Iniciação Científica

Milton de Paula Rêgo
Centro Universitário de Brasília - CEUB
Programa de Iniciação Científica

Thays de Andrade Moraes
Centro Universitário de Brasília - CEUB
Programa de Iniciação Científica

Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica apresentado à Assessoria de Pós-Graduação e Pesquisa.

RESUMO: A síndrome mielodisplásica (SMD) representa um grupo heterogêneo de linhagem mielóide de doenças hematopoiéticas clonais caracterizadas por citopenias periféricas, insuficiência medular óssea progressiva com alterações displásicas em uma ou mais linhagens celulares. Por ter um diagnóstico complexo, o objetivo geral é identificar o perfil imunofenotípico, citogenético e hematológico de pacientes diagnosticados com a SMD. Foi realizado um estudo transversal, de amostra por conveniência onde foram obtidos os seguintes resultados, 29, onde a idade mínima foi de 21 anos e a máxima de 90 anos, e média 65. Houve um predomínio do gênero feminino, cerca de 69% , e 31% pertencem ao gênero masculino. No perfil imunofenotípico 55% (16) apresentaram medula óssea hipercelular, 19% (6) MO normocelular, 12% (4) medula óssea heterogênea, 7% (2) médula óssea hipocelular e 7% (2) não foi disponibilizado nos prontuários. Já no perfil citogenético 52% (15) apresentaram o cariótipo alterado, 27% (8) cariótipo normal e 21% (6) não foi encontrado esse dado nos prontuários. E no hematológico foi constatado que 67% apresentaram plaquetopenia, 33% pancitopenia e 44% leucopenia. O sexo feminino apresentou uma média de 8 g/dl de hemoglobina e o devio padrão foi de 4 g/dl. O sexo masculino apresentou uma média de 11 g/dl de hemoglobina e o devio padrão foi de 6 g/dl. Os pacientes apresentaram uma média de 4.327 mm3 de leucócitos e o desvio padrão foi de 3.389 mm3. Nas plaquetas eles apresentaram uma média de 120.822

mm3 e o desvio padrão foi de 148.730 mm3.

PALAVRAS-CHAVE: Síndrome mielodisplásica; diagnóstico; perfil hematológico; perfil citogenético; perfil imunofenotípico.

1 I INTRODUÇÃO

As síndromes mielodisplásicas (SMD) representam um grupo heterogêneo de doenças hematopoiéticas clonais, caracterizadas por citopenias periféricas e insuficiência medular óssea progressiva com alterações displásicas em uma ou mais linhagens celulares. Esse paradoxo entre as células periféricas e a falência da medula óssea deve-se à hematopoiese ineficaz, pois há proliferação e morte simultâneas das células hematopoiéticas (FENAUX; PLATZBECKER; ADES, 2018). A SMD foi descrita pela primeira vez em 1900 por Leube, que a caracterizou como uma anemia macrocítica em progressão para leucemia aguda, que não tinha resposta para o tratamento e possuía a hipótese de sua etiologia ser de caráter infeccioso. Depois com o avanço da ciência, foi apurado que sua incidência é de cerca de 7 por 100.000 pessoas, aumentando progressivamente com a idade. Essa acomete principalmente pacientes a partir da 6ª década de vida, raramente é encontrada em pacientes com menos de 50 anos. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), 20 a 30% dos casos podem evoluir para leucemia mieloide aguda (LMA) devido à sua natureza geneticamente instável (HASSERJIAN, 2019).

Os sintomas associados à mielodisplasia são inespecíficos, podem apresentar sintomas leves a graves e até assintomáticos. Às vezes, os pacientes vão ao médico por causa de anemia sem razão aparente e fadiga inexplicável devido à sua rotina diária e contagens de plaquetas abaixo do normal. As características clínicas e laboratoriais estão relacionadas às anormalidades genéticas e moleculares ligadas ao desenvolvimento da doença (UTSCH; BOECHAT, 2017).

Embora não seja comum, estudos realizados recentemente mostram que o índice de crianças diagnosticadas com síndromes mielodisplásicas tem aumentado nos últimos anos, logo é necessário sempre estar caracterizando os vários aspectos da doença para ajudar no diagnóstico (SILVA; NASCIMENTO, 2018).

Em relação a sua etiologia, pode ser classificada em SMD primária ou secundária. A primária não possui uma causa explicitada, mas estudos apontam que elas podem ser decorrentes de infecção viral, exposição de benzeno, radiação ionizante, e ocasionalmente, defeitos congênitos e alterações de genes que auxiliam no curso de sinalização celular aumentam as chances de desenvolver a doença (BRAVO; MANERO, 2018). Já a secundária (SMD-t) é decorrente de tratamentos quimioterápicos, agentes alquilantes e radioterápicos, assim apresentando um curso clínico mais agressivo. A SMD-t pode demorar de quatro a sete anos para se desenvolver depois da exposição inicial e ela é por volta de 10% dos casos de SMD (MACEDO; MATTOS; SILVA, 2016).

O *British Franco-American Group* (FAB) criou, em 1982, uma classificação da SMD baseada em características morfológicas do sangue periférico e da medula óssea, que permite diferenciá-los em questões de sobrevida. É classificada em 5 subtipos como: Anemia refratária (AR), Anemia refratária com sideroblastos em anel (ARSA), Anemia refratária com excesso de blastos (AREB), Anemia refratária com excesso de blastos em transformação (AREB-t) e Leucemia mielomonocítica crônica (LMMC) (FAB, 1982). A OMS complementou a classificação FAB com dados imunofenotípicos, genéticos, clínicos, citológicos e citoquímicos (SILVA; NASCIMENTO, 2018). Então, atualmente, dividindo a SMD em 7 subgrupos que são:

Sigla	Tipo de SMD	% entre as SMD	Risco de transformação em LMA (%)
CRDU	Citopenia Refratária com Displasia de Uni Linhagem	5 a 10%	Raramente
ARSA	Anemia Refratária com Sideroblastos em Anel	10 a 15%	Raramente
CRDM	Citopenia Refratária com Displasia de Multilinhagem	24%	10%
AREB -1	Anemia Refratária com Excessos de Blastos-1	40%	25%
AREB -2	Anemia Refratária com Excessos de Blastos-2	40%	33 a 50%
SMD-NC	Síndrome Mielodisplásica não classificada	Rara	Raramente
-	Síndrome Mielodisplásica Associada à deleção isolada do braço longo do Cromossomo 5	Prognóstico muito bom	Raramente

Tabela 1: Classificação das Síndromes Mielodisplásicas segundo a OMS.

Fonte: MARTINS, 2020.

Devido ao alto risco de conversão de SMD para LMA, um sistema de classificação prognóstica internacional (IPSS-R) foi criado para facilitar as decisões clínicas por meio de 3 fatores: o número de blastos na medula óssea, contagem de células sanguíneas e anormalidades cromossômicas. Assim, os pacientes diagnosticados com SMD foram classificados em grupos: risco muito baixo, risco baixo, risco intermediário e risco alto (KENNEDY; EBERT, 2017; BECCARI; et al, 2021).

A SMD é uma doença com diagnóstico complexo, de longo prazo e sem sintomas característicos. Por esta razão, essa pesquisa visa analisar o perfil hematológico, imunofenotípico e citogenético de pacientes diagnosticados com a síndrome mielodisplásica. Caracterizar as alterações hematológicas (níveis de hemoglobina, leucócitos e plaquetas) nos pacientes diagnosticados com a síndrome mielodisplásica. Descrever os marcadores imunofenotípicos nos pacientes. Relacionar as alterações citogenéticas encontradas nos pacientes diagnosticados com síndrome mielodisplásica com os fatores de prognóstico

para esses pacientes.

2 I FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Por serem distúrbios originados na célula-tronco da medula óssea, as síndromes mielodisplásicas (SMD), bem como as mieloproliferativas, fazem parte de um grupo heterogêneo de doenças hematopoiéticas, as quais possuem variados tipos de manifestações clínicas e patológicas. Observa-se que na SMD há uma produção insuficiente de células sanguíneas, enquanto nas doenças mieloproliferativas verifica-se uma proliferação da linhagem mielóide, podendo apresentar este quadro para uma ou mais linhagens. Essas frequentes desordem podem progredir para o desenvolvimento de Leucemia Mieloide Aguda (LMA) (SILVA; NASCIMENTO, 2018; HASSERJIAN, 2019). Em muitas vezes, visto que se trata de um defeito clonal das células progenitoras, a confirmação deste diagnóstico, para que seja fidedigno, é baseado em achados citológicos, no hemograma, histologia de medula óssea e no cariótipo. Entretanto, em alguns casos, podem ocorrer citopenias periféricas, onde os resultados clínicos e patológicos não são tão evidentes, demonstrando atipias de medula óssea não demasiadas, cariótipo normal, ou não apresentar mitoses. Nota-se que nos casos de SMD estas podem se apresentar morfologicamente de várias formas, passíveis de confusão e erros diagnósticos (LOPES; et al, 2006; HASSERJIAN, 2019).

Série eritróide	Série granulocítica	Série monocítica	Série megacariocítica
Hemoglobina< 11g/d	Neutrófilos< 1500/mm3	Monócitos > 1000/mm3	Plaquetas < 100000/ mm3
Reticulocitopenia	Hipogranulação	Presença de promonócitos	Megaplaquetas
VCM > 100 fl	Pseudo-Pelger-Huet	Vacuolizações Citoplasmáticas	Formas Hipogranulares
Anisocitose	Fragmentação da cromatina	Formas grandes e/os bizarras	Plaquetose na síndrome -5q
Pecilocitose	Presença de mieloblastos		
Anisocromia Policromasia Pontilhado basófilo Eritroblastos	Hipossegmentação		

Tabela 2: Alterações hematológicas periféricas observadas na SMD.

Fonte: Adaptado de: MORAES, et al . Síndromes mielodisplásicas: aspectos moleculares, laboratoriais e a classificação OMS 2008.

Série eritróide	Série granulocítica	Série monocítica
Assincronismo maturativo núcleo/citoplasmático	Assincronismo maturativo núcleo/citoplasmático	Presença de promonócitos
Formas megaloblastoides	Formas megaloblastoides	Vacuolizações citoplasmáticas
Falhas de hemoglobinização	Desgranulação	Presença de atipias
Mitoses anômalas	Formas imaturas bizarras	Presença de formas aberrantes
Vacuolização citoplasmática	Presença de atipias	
Presença de formas aberrantes	Mieloblastos com ou sem bastonete de Auer	
Sideroblastos anelares		

Tabela 3: Alterações morfológicas observadas nas células de linhagem eritróide mielóide na MO de pacientes com SMD.

Fonte: Moraes *et al,* 2008.

A SMD apresenta diferenças entre os achados em adultos, como por exemplo a anemia refratária com sideroblastos em anel e SMD associados com deleção (5q) cromossomo [1]. Além do mais, a SMD pediátrica pode evoluir para síndromes hereditárias de falência da medula óssea (IBMFS) como a anemia de Fanconi (FA) (HASEGAWA, 2016).

Observando essas diferenças, foi incorporada uma abordagem de diagnóstico e tratamento na 4ª edição da Organização Mundial da Saúde (OMS) em 2008. Essa classificação apresentada na tabela abaixo, abordou características de SMD de baixo grau, ou seja, sem o aumento de blastos. (HASEGAWA, 2016).

Na tabela a seguir, é apresentada a Classificação da OMS para a SMD:

Subgrupo	**Achados em Sangue periférico**	**Achados em medula óssea**
Citopenias refratárias com displasia de única linhagem (CRDU); Anemia refratária (AR); Neutropenia refratária (NR); Trombocitopenia refratária (TR)	Citopenia única ou bicitopenia (observada ocasionalmente) Blastos ausentes ou raros (<1%)	Displasia de única linhagem: ≥ 10% das células em uma linhagem mielóide <5% de blastos <15% de sideroblastos em anel
Anemia refratária com sideroblastos em anel (ARSA)	Anemia ausência de blastos	Displasia apenas na linhagem eritróide <5% de blastos ≥ 15% de sideroblastos em anel
Citopenia refratária com displasia de múltiplas linhagens (CRDM)	Citopenia(s) Blastos ausentes ou raros (<1%) Ausência de bastonete de Auer Monócitos <1.000/mm3	Displasia em ≥ 10% das células em duas ou mais linhagens mieloides <5% de blastos. Ausência de bastonetes de Auer 15% de sideroblastos em anel

Anemia refratária com excesso de blastos-1 (AREB-1)	Citopenia(s) de <5% blastos Ausência de bastonete de Auer Monócitos <1.000/mm3	Displasias de única ou múltiplas linhagens 5 a 9% de blastos Ausência de bastonete de Auer
Anemia refratária com excesso de blastos-2 (AREB-2)	Citopenia(s) 5 a 19% de blastos Bastonete de Auer presente ou não <1x109/L de monócitos	Displasia de única ou múltiplas linhagens 5 a 19% de blastos Bastonete de Auer presente ou não
Síndrome mielodisplásica – não classificável (SMD-NC)	Citopenias ≤ 1% de blastos	Displasia em < 10% das células em uma ou mais linhagens mieloide quando acompanhada de anormalidades citogenéticas presuntivas de SMD < 5% de blastos
Síndrome mielodisplásica associada com del(5q) isolada	Anemia Contagem de plaquetas normal ou elevada Blastos ausentes ou raros (<1%)	Normo a hipercelularidade megacariocítica núcleo hipolobulado < 5% de blastos Anormalidade citogenética: del(5q) isolada

Tabela 4: Classificação da OMS para SMD.

Fonte: HASEGAWA, 2016

O diagnóstico é apurado com base nos resultados de hemograma completo, mielograma, citogenética e imunofenotipagem. Quando avaliadas as alterações hematológicas periféricas deve-se considerar a presença de citopenia(s) por 4-8 semanas, e alterações nas séries eritróide, granulocítica, megacariocítica e/ou monocitária. Em geral, a Medula Óssea, dos pacientes portadores de SMD, se apresenta como hipercelular, podendo observar presença de células displásicas. As displasias só são consideradas quando presentes em 10% de pelo menos uma ou mais linhagens hematopoiéticas, 15% de sideroblastos em anel ou 5 a 19% de mieloblastos em esfregaços de medula óssea (INVERNIZZI; QUAGLIA; PORTA, 2015).

Realizada por citometria de fluxo, a imunofenotipagem tem sido utilizada para detecção de expressões anormais de antígenos relacionados à linhagem e maturação das séries hematopoiéticas e verificar aumento de marcadores pró-apoptóticos nas células. Também é utilizada para detectar a expressão de células CD34+ e CD45+. As alterações específicas na SMD estão relacionadas a perda parcial ou total de um antígeno em 10% ou mais de uma da célula em uma população de interesse, outras alterações estão relacionadas a parada maturativa, assincronia na expressão de maturação de dois antígenos e presença de expressões desordenadas. A linhagem mais acometida na SMD é a mieloide, portanto, é

necessário a investigação de marcadores de mieloblastos, como por exemplo os anticorpos HLA-DR, CD33, CD13, CD11b, CD117, CD15, CD16 e CD45 (MORAES; *et al,* 2008).

Na tabela a seguir é possível observar as anormalidades verificadas na citometria de fluxo:

Progenitores mieloides Cd34+
Aumento da contagem absoluta e relativa de células CD34 Expressão de CD11b e/ou CD15
Perda da expressão de CD13, CD33 ou HLA-DR
Expressão de antígenos linfóides (CD5, CD7, CD19 ou CD56) Diminuição da expressão de CD45
Aumento ou diminuição anormal da intensidade de CD34 Diminuição anormal da expressão de CD38
Aumento da expressão CD2++
Progenitores linfoides B CD34+ (CD34+/CD10+)
Diminuição da contagem absoluta e relativa de células CD34+/CD10+
Série Neutrofílica
Hipogranularidade evidenciada pelo SSC
Diminuição da expressão de CD45
Padrão de relação CD13/CD16 anormal
Razão HLA-DR/CD11b anormal
Padrão de relação CD11b/CD16 anormal
Assincronismo maturativo
Perda de expressão de CD13 ou CD33
Expressão de CD34 ou CD56+
Expressão de antígenos linfóides
Monócitos
Anormalidade na relação da expressão entre HLA-DR, CD11b, CD13, CD14 e CD33
Perda da expressão de CD13, CD14, CD16 ou CD33
Expressão de CD34 ou CD56
Expressão de antígenos linfóides (com exceção do CD4)
Série Eritróide
Expressão do CD34
Expressão anormal de CD45, CD71, CD117, CD235a e/ou Glicoforina A
Série Megacariotica
Aumento da contagem absoluta e relativa de células megacariocíticas

Tabela 5: Anormalidades fenotípicas observadas em células hematopoiéticas na SMD por citometria de fluxo.

Fonte: Moraes et al, 2008.

Independentemente das anormalidades apresentadas, as anomalias citogenéticas observada nos cromossomos oferecem também informações importantes para o clínico,

uma vez que apresentam como base a análise dos cromossomos da célula em divisão (mitose), em particular a metáfase. isto é observado, após a interrupção da mitose, onde seguem procedimentos técnicos, relacionados a hipotonia, a fixação, o preparo do espelhamento cromossômico, e a coloração por bandas (geralmente banda G), além do pareamento e da montagem do cariótipo (HASLE, 2016; HASSERJIAN, 2019).

As alterações cromossômicas mais observadas nas SMD estão relacionadas aos cromossomos: 5, 7, 8, 11, 13, 17, 20, 21 e X. Cerca de 55% das crianças com SMD primária e 75% com secundária são encontradas um cariótipo anormal. A anormalidade citogenética mais encontrada na SMD infantil é a monossomia do cromossomo 7, atingindo 25% dos pacientes, O diagnóstico de crianças que possuem alteração cromossômica no 7 é similar ao resultado de outras crianças com SMD. Logo após a monossomia do 7, a trissomia do 8 e do 21 são as mais comuns (HASLE, 2016).

A síndrome mielodisplásica (SMD) e doenças mieloproliferativas estão divididas em SMD de baixo grau, citopenia refratária da infância (RCC), SMD avançada (anemia refratária com excesso de Blastos em transformação) e leucemia mielomonocítica juvenil (LMMJ), tendo cada uma diferentes características e estratégias no manejo. Reconhecida em número crescente de pacientes, é entendida como predisposição genética subjacente. Verifica-se mutação da linha germinal GATA2 em 705 dos adolescentes com SMD e monossomia 7. Distinguir o RCC da anemia aplástica é um grande desafio, bem como detectar insuficiência hereditária da medula óssea e condições reativas. Em muitos casos o RCC apresenta-se como hipoplásico e pode responder à terapia imunossupressora. Mas, em caso de falha desta terapia, RCC hipercelular ou RCC monossomia 7, o transplante de células-tronco hematopoiéticas (TCTH) é indicado, usando regimes de condicionamento de intensidade reduzida. A maioria dos pacientes com anemia refratária com excesso de Bastos são candidatos ao TCTH. Têm maior risco de morte crianças com 12 anos ou mais, muitas vezes relacionada ao tratamento, por isso os regimes de condicionamento devem ser bem ajustados. Pacientes com linhagem germinativa PTPN11 e mutações CBL, no desvendar da genética de JMML, demonstraram que essas mutações regridem espontaneamente, sendo a terapia raramente indicada (HASLE, 2016).

Em contrapartida, pacientes com JMML e neurofibromatose tipo 1, PTPN11 somático, KRAS e grande parte daqueles com mutações NRAS apresentam progressão rápida na doença, sendo o TCTH precoce indicado. No TCTH a recidiva é alta, por isso a profilaxia para doença do enxerto contra o hospedeiro e o monitoramento precisam ser adaptados a esse risco (HASLE, 2016).

3 I MÉTODO

A pesquisa realizada foi de caráter transversal, retrospectivo, com revisão de 29 prontuários de pacientes diagnosticados com síndrome mielodisplásica no Hospital terciário

do Distrito Federal. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa do IGESDF sob o número 54019521.5.3001.815.

A amostra foi por conveniência, sendo incluídos todos os pacientes do hospital local para realização do estudo.

Os critérios de inclusão foram todos os pacientes, acima de 18 anos, diagnosticados com SMD que foram atendidos no Hospital Terciário do Distrito Federal.

As variáveis analisadas foram: idade, gênero, níveis de hemoglobina, contagem total de leucócitos e plaquetas, as alterações no cariótipo e os marcadores imunofenotípicos encontrados nos pacientes.

A pesquisa é quantitativa e os dados foram analisados pelo Excel em uma análise descritiva simples por meio de gráficos e tabelas, cálculo da frequência e médias relativas à distribuição de cada variável utilizada.

4 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

O total de pacientes obtidos foi 29, onde a idade mínima foi de 21 anos e a máxima de 90 anos e a média 65. Quanto às características epidemiológicas da SMD, mesmo que a sua incidência não seja determinada, consta que aumenta com a idade. Os dados nacionais são indisponíveis, porém a incidência nos Estados Unidos é de 3,4 a 4,8 por 100.000 pessoas, essa síndrome é rara em pacientes com a idade inferior a 50 anos, raríssimo casos relatados em crianças e 20-50 casos/100.000 indivíduos com mais de 70 anos de idade, que está próximo com a média encontrada neste estudo. Essa faixa etária é mais afetada em razão do acúmulo gradual e ao acaso de danos no genoma, por parte de carcinógenos exógenos e endógenos ao longo da vida. Também os progenitores hematopoiéticos têm uma diminuição na capacidade de diferenciação e um aumento nos progenitores de apoptose, assim gerando a hematopoiese ineficaz. A predisposição hereditária em adultos é menos comum, mas deve ser investigada em adultos jovens ou em famílias com outros casos de Leucemia Mieloide Aguda, Anemia Aplásica e SMD. A incidência é crescente com a idade avançada e nos indivíduos expostos a agentes mutagênicos terapêuticos, ocupacionais e/ou ambientais no decorrer da vida. (BRASIL, 2015; VICHI, 2021).

Dos 29 pacientes analisados houve um predomínio do gênero feminino, cerca de 69% (20) feminno e 31% (9) pertencem ao gênero masculino. Embora a literatura ressalta que o gênero masculino têm mais probabilidade de ser afetado, por conta da exposição a riscos ambientais e ocupacionais como, benzeno, fumaça de tabaco, inseticidas e outras toxinas pode aumentar o risco de desenvolver SMD, e um excesso de casos é relatado em trabalhadores agrícolas e industriais. A predominância do gênero feminino nesta pesquisa pode ser explicado por estudos conduzidos no Brasil que mostram que o sexo femino é uma variável associada à maior procura pelo serviço de saúde, em relação aos homens.

O fato do gênero masculino utilizar com menos frequência o sistema de saúde acarreta em diagnósticos tardios, cujas as doenças poderiam ser controladas e tratadas. De acordo com estudos, as mulheres buscam mais serviços de saúde para a realização de exames de rotina, assim relacionando que a síndrome mielodisplásica é geralmente diagnosticada após exames de rotina já que não apresentam sintomas específicos. E também o gênero predominante que procura o atendimento e acompanhamento no Hospital Terciário do Distrito Federal é o feminino (LEVORATO; *et al.*, 2014; PALMEIRA; *et al,* 2019).

O total de pacientes obtidos foi 29, porém somente 25 apresentaram o perfil Imunofenotípico completo, 27 tiveram o perfil hematológico completo e apenas 12 tiveram o perfil Citogenético completo.

As tabelas 6 e 7 apresentam o desvio padrão e média do perfil hematológico, hemoglobina, leucócitos e plaquetas, analisados nos pacientes diagnosticados com SMD.

	Média e desvio padrão de Hemoglobina g/dl	**Valor de Referência por g/dl**
Feminino	8 +/- 4	12,00 - 15,8
Masculino	11 +/- 6	13,00 - 16,5

Tabela 6: Perfil Hematológico da Hemoglobina por g/dl dos pacientes diagnosticados com SMD no Hospital terciário do DF..

Fonte: Elaborada pela autora.

	Média e desvio padrão mm^3	**Valor de Referência mm^3**
Leucócitos	4.327 +/- 3.389	3.600 - 11.000
Plaquetas	120.822 +/- 148.730	150.000 - 450.000

Tabela 7: Perfil Hematológico de Leucócitos e Plaquetas por mm^3 dos pacientes diagnosticados com SMD no Hospital terciário do DF.

Fonte: Elaborada pela autora.

A SMD apresenta um defeito clonal nas células progenitoras hematopoiéticas (*stem cells*), essas células anormais são responsáveis pela displasia morfológica, por conta do excesso de citocinas inibidoras da hematopoiese, resultando em uma hematopoiese ineficaz. Esse clone possui alterações na proliferação e maturação, com aumento de apoptose (CHEN; *et al*, 2018). Isso interfere na função normal da medula óssea, que resulta em deficiência nos eritrócitos, leucócitos e plaquetas nos estágios iniciais da doença. Geralmente os pacientes com SMD são diagnosticados com uma anemia inexplicável, acompanhados de trombocitopenia e leucopenia. Contudo, a maior parte dos pacientes são assintomáticos e o diagnóstico da doença é feito durante exames clínicos de rotina ou exames laboratoriais de *check-up* (COSTA; *et al.*, 2015; WANG; *et al* 2022).

Cerca de 81% (22) apresentaram anemia, sendo que 17 eram do gênero feminino e 5 do masculino. O sexo feminino apresentou uma média de 8 g/dl de hemoglobina e o desvio padrão foi de 4 g/dl. O sexo masculino apresentou uma média de 11 g/dl de

hemoglobina e o desvio padrão foi de 6 g/dl. A anemia, hemoglobina abaixo de 12 e 13 g/dl para mulheres e homens, respectivamente, a citopenia mais comum em pacientes adultos, é hipoproliferativa com uma resposta medular insuficiente, ou seja, uma produção reticulocitária inadequada.

Pode ser macrocítica, hemácias possuem um tamanho maior que o normal, ou normocítica, eritrócitos do tamanho normal, e ocasionalmente do tipo hipocrômico, onde acontece a redução da tonalidade avermelhada da hemácia. (BUZATTO; *et al.*, 2018).

Clinicamente, os pacientes manifestam anemia que não responde a tratamentos com hematínicos, porém podem apresentar trombocitopenia e/ou neutropenia persistentes. Geralmente a anemia é progressiva de grau moderado a grave e transfusão dependente. Pode ocorrer a necessidade de transfusão de concentrados de plaquetas e leucócitos (MOHAMMAD. 2018).

Como a SMD têm a produção insuficiente de células sanguíneas, que resulta do aumento da susceptibilidade de progenitores clonais mieloides à apoptose, desencadeando citopenias. Os pacientes apresentaram uma média de 4.327 mm^3 de leucócitos e o desvio padrão foi de 3.389 mm^3 . O desvio padrão apresentou uma leve leucopenia que pode gerar complicações, menos comumente, como infecções. A média deu dentro dos valores de referência, isso pode ser explicado pelo fato de apenas 50 % dos casos apresentarem essa citopenia (ASTER; STONE, 2022).

Os pacientes apresentaram uma média de 120.822 mm^3 de plaquetas e o desvio padrão foi de 148.730 mm^3 . A plaquetopenia é menos frequente que a anemia, mas ela pode causar petéquias, aumento de hematomas, púrpura e até mesmo sangramentos moderados (FENAUX; *et al*, 2021).

Em muitos casos, por se tratar de um defeito clonal das células progenitoras, a confirmação desse diagnóstico é confiável com base na citologia, hemograma, histologia da medula óssea e cariótipo. No entanto, em alguns casos, podem ocorrer citopenias periféricas, onde os achados clínicos e patológicos não são tão evidentes, demonstrando não haver atipias de medula óssea, cariótipo normal ou ausência de mitose. Deve-se notar que nos casos de SMD, eles podem se manifestar morfologicamente de várias maneiras, o que pode facilmente levar a confusão e erros diagnósticos (LOPES; *et al*, 2006; HASSERJIAN, 2019).

No gráfico a seguir mostra a distribuição da frequência de plaquetopenia e pancitopenia nos 29 pacientes diagnosticados com Síndrome Mielodisplásica no Hospital Terciário do Distrito Federal.

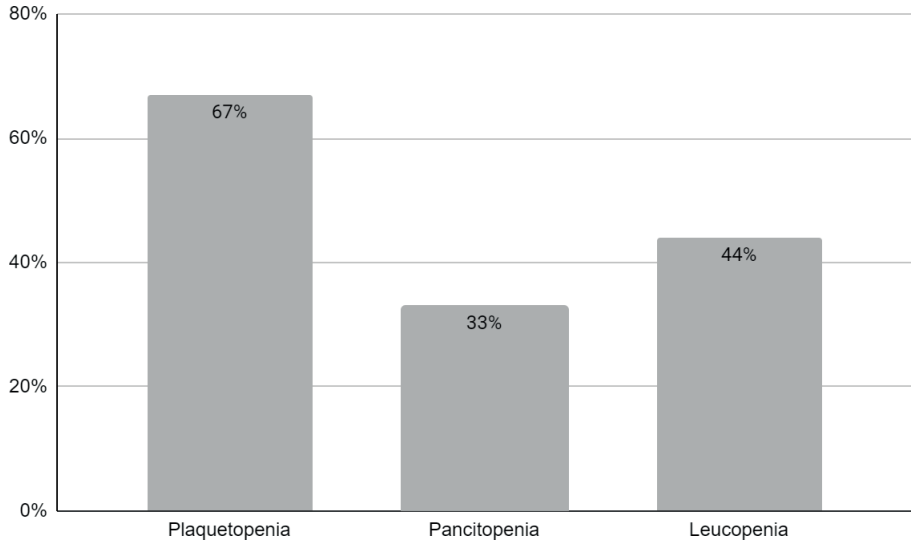


Gráfico 1: Alterações hematológicas encontradas nos pacientes com SMD.

Fonte: Elaborada pela autoras.

A plaquetopenia, segundo a literatura ocorre em 40 a 45% dos casos do diagnóstico, ela tem um impacto desvalorizado, porém cerca de 53% dos pacientes que apresentam plaquetopenia apresentam algum tipo de sangramento e 25% manifestam um sangramento mais grave no decorrer da doença. A frequência encontrada neste estudo foi de 67% (18 pacientes) que apresentaram plaquetopenia, apresentando um valor maior que a média da literatura, isso pode ter ocorrido pelo fato da amostra ser por conveniência, ou seja, não foram excluídos os que apresentaram outro tipo de doença ou distúrbio hematológico (MARTINS, 2016).

A pancitopenia é encontrada em torno de 50% dos casos diagnosticados devido a defeitos da maturação. Cerca de 33% (9) manifestaram pancitopenia, tendo um valor abaixo do apresentado na literatura, que pode ser explicado pelo fato de apenas 10 pacientes apresentaram CDRM, que é caracterizada por pelo menos duas contagens das células sanguíneas abaixo (SANTOS; *et al*, 2021).

Leucopenia está presente em 44% (12) dos casos diagnosticados no Hospital terciário. De acordo com estudos, cerca de 50% está presente na manifestação de leucopenia, cursando com um terço com neutropenia. O valor encontrado nos pacientes do estudo está próximo com o encontrado na literatura, podendo ser justificado pelo fato de 10 casos serem de CRDM, que justifica a presença da leucopenia e os outros dois sendo em casos isolados de SMD-NC e AREB-2 (HOLANDA; *et al*, 2019).

Na tabela 8 apresenta o perfil do caso de Anemia refratária:

Sexo	Imunofenotípico	Citogenético	Hematológico
Feminino	Medula óssea hipercelular com predomínio de série granulocítica normomaturativa.	Normal	Hemoglobina: 5,75 Leucócito: 5.050 Plaqueta: 445.000

Tabela 8: Perfil hematológico, citogenético e imunofenotípico da paciente com Anemia refratária.

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Nos pacientes diagnosticados com SMD teve apenas um caso com AR, que apresentou características como a medula óssea hipercelular com predomínio de série granulocítica normomaturativa, o perfil citogenético normal, hemoglobina abaixo dos valores de referência e leucócitos e plaquetas normais. Segundo a literatura a AR é caracterizada pela baixa da hemoglobina, medula óssea normal ou com hipercelularidade de uma linhagem mielóide (SILVA; NASCIMENTO, 2018).

Na Tabela 9 mostra o perfil da Síndrome Mielodisplásica secundária encontrado no Hospital Terciário do DF:

Sexo	Imunofenotípico	Citogenético	Hematológico
Feminino	Medula Óssea Heterogênea da qual 32,4% eram linfócitos T (relação CD4:CD8 = 0,8), 2,6% linfócitos B (relação kappa: Lambda = 1,38), 9,43%, CD11b (50%), CD13 forte e homogêneo, , CD105, CD117 heterogêneo (positivo/negativo).	45XX, -7, - 20	Hemoglobina: 4,99 Leucócitos: 3.370 Plaquetas: 67.100
Masculino	Medula Óssea hipercelular para idade (30-40% celularidade) Presença de < 1% blastos.	46 XY [14]	Hemoglobina: 15,7 Leucócitos: 2.800 Plaquetas: 133.000.

Tabela 9: Perfil hematológico, citogenético e imunofenotípico de pacientes com Síndrome mielodisplásica secundária.

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Na SMD-t tiveram dois pacientes, no primeiro foi encontrado no perfil imunofenotípico a medula óssea heterogênea da qual 32,4% eram linfócitos T (relação CD4:CD8 = 0,8), 2,6% linfócitos B (relação kappa: Lambda = 1,38), 9,43%, CD11b (50%), CD13 forte e homogêneo, CD14 heterogêneo (negativo/positivo), CD105, CD117 heterogêneo (positivo/negativo; o perfil citogenético foi relatado a deleção do cromossomo 7 e 20 e apresentou hemoglobina e plaquetas abaixo do valor de referência. O outro caso apresentou medula

óssea hipercelular para idade (30-40% celularidade) e presença de < 1% blastos, alteração no cromossomo 14 e leucopenia.

Por a SMD-t apresentar um curso clínico mais agressivo, em 80% dos casos apresentam anomalias citogenéticas como -5, del(5q), -7, del(7q), del(13q), del(17p) e -18, por conta dos agentes alquilantes. Geralmente a medula óssea é hipercelular e heterogênea com a linhagem mielóide mais acometida, os marcadores são os anticorpos HLA-DR, CD33, CD13, CD11b, CD117, CD15, CD16 e CD45 (MORAES; et al, 2008).

Na Tabela 10 descreve o perfil da Síndrome mielodisplásica - Leucemia mielomonocítica Crônica encontrado no Hospital Terciário do DF:

Sexo	Imunofenotípico	Citogenético	Hematológico
Maculino	medula óssea hipercelular 7,2% de blastos;	Normal	Hemoglobina: 16,8 Leucócito: 4480 Plaqueta: 49000
Masculino	Medula óssea hipercelular 8%blastos.	Normal	Hemoglobina: 12.3 Leucócito: 7200 Plaqueta: 94.000

Tabela 10: Perfil hematológico, citogenético e imunofenotípico de pacientes diagnosticados com Síndrome mielodisplásica - Leucemia mielomonocítica Crônica.

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Na SMD - LMMC apresentaram dois casos ambos do sexo masculino, com os perfis citogenéticos normais, ambos apresentaram plaquetopenia, e apenas um caso anemia. No perfil imunofenotípico foi encontrado medula óssea hipercelular com cerca de 7,2 e 8% de blastos. Os pacientes com esse tipo, apresentam um número elevado de monócitos, fazendo com que o total de células brancas seja alto. Já a medula óssea é hipercelular, mas a quantidade de blastos é inferior a 20% (SILVA; NASCIMENTO, 2018).

Na Tabela 11 retrata o perfil da Anemia refratária com excessos de blastos - 2 encontrado no Hospital Terciário do DF:

Sexo	Imunofenotípico	Citogenético	Hematológico
Feminino	Medula óssea hipocelular.	Normal	Hemoglobina: 8,37 Leucócitos: 1.180 Plaquetas: 20.300
Feminino	Medula óssea hipercelular com 10% de blastos.	Não encontrado	Hemoglobina: 4,8 Leucócitos: 1.850 Plaquetas: 68.000
Masculino	Detectadas 8,6% de células blásticas mielóides. Houve expressão aberrante do antígeno linfóide T CD7 e parcialmente da glicoproteína CD61.	Não encontrado	Hemoglobina: 6,33 Leucócitos: 3.500 Plaquetas: 7.000

Tabela 11: Perfil hematológico, citogenético e imunofenotípico de pacientes diagnosticados com Anemia refratária com excessos de blastos - 2.

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Na AREB-2 foram relatados 3 pacientes, sendo 2 do gênero feminino. O perfil citogenético do primeiro paciente na tabela X foi normal e os outros dois não estavam disponíveis no prontuário. Os valores de hemoglobina, leucócitos e plaquetas de todos os pacientes apresentaram um resultado abaixo do valor de referência. Já no perfil imunofenotípico, um paciente apresentou medula óssea hipocelular, o segundo hipercelular com 10% de blastos e o terceiro foi detectado 8,6% de células blásticas mielóides, houve expressão aberrante do antígeno linfóide T CD7 e parcialmente da glicoproteína CD61.

Nesse classificação de SMD, o perfil Imunofenotípico apresenta em média de 5 a 19% de blastos, caracterizando uma citopenia, podendo ter ou não a presença de bastonete de Auer, o CD7 pode ser encontrado e é marcador de linfócitos T anormais, já a glicoproteína CD61 é uma glicoproteína encontrada nas plaquetas, monócitos, células endoteliais, células do músculo liso, células B, macrófagos, mastócitos e fibroblastos, que desempenha papel na agregação plaquetária e também como receptor de fibrinogênio, fibronectina, fator de von Willebrand e vitronectina (SOMERSON; *et al*, 2020).

Na tabela 12 descreve o perfil da Citopenias Refratárias de multilinhagem encontrado no Hospital Terciário do DF:

Sexo	Imunofenotípico	Citogenético	Hematológico
Feminino	Medula óssea hipercelular para a idade com displasia eritróide e megacariocítica	46,XX, t(q21q31), -8.	Hemoglobina: 9,7 Leucócitos: 4.390 Plaquetas: 66.300
Feminino	Medula óssea hipercelular com alterações displásicas em todas as linhagens	Normal	Hemoglobina:8,04 Leucócitos:7.790 Plaquetas:290.000
Masculino	Medula óssea hipercelular com alterações displásicas em todas as linhagens	46,XY [20]	Hemoglobina:15,1 Leucócitos:2.500 Plaquetas:160.000
Feminino	medula óssea moderadamente hipercelular para idade.	Não encontrado	Hemoglobina: 10,8 Leucócitos: 4.600 Plaquetas: 64.000
Feminino	não encontrado	Nomal	Hemoglobina: 9,72 Leucócitos: 1.920 Plaquetas: 47.000
Feminino	Inversão CD4/CD8; Hipocelularidade.	Não encontrado	Não encontrado
Masculino	Medula óssea normocelular	46,XY l20l	Hemoglobina: 8,02 Leucócitos: 2.634 Plaquetas: 105.200
Feminino	médula óssea heterogênea sendo 83,70% células T (CD4/CD8: 0,75), progenitores hematopoéticos (CD34+); A série granulocítica estava hipogranular e apresentava assincronia de maturação CD13/CD16. A série monocítica expressava CD56(parcial).	46,XY l18l	Hemoglobina: 3,9 Leucócitos: 8.690 Plaquetas: 98.000

Feminino	Medula óssea discretamente hipercelular para idade.	Normal	Hemoglobina: 11,00 Leucócitos: 2.300 Plaquetas: Não encontrado
Masculino	Medula hipercelular para a idade.	46,XY, del(9) (q22) [20].	Hemoglobina: 13,0 Leucócitos: 2.640 Plaquetas: 199.000

Tabela 12: Perfil hematológico, citogenético e imunofenotípico de pacientes diagnosticados com Citopenias Refratárias de multilinhagem.

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Na CDRM foi constatado que 30% dos casos eram do gênero masculino e 70% do feminino. No perfil hematológico a hemoglobina de todas as mulheres está abaixo do valor de referência e a dos homens está dentro dos valores de referência. Os leucócitos cinco pacientes estão abaixo do valor de referência, cinco pacientes estão com plaquetopenia e dois não foram encontrados os valores de plaquetas. Tiveram cinco pacientes com o perfil citogenético alterado, três foram normais e um não foi encontrado. Houve uma predominância, 60%, de medula óssea hipercelular no perfil imunofenotípico.

Para ser considerada uma Citopenia refratária de multilinhagem é preciso de pelo menos duas citopenias. Na citogenética é comum encontrar t(11;19)(q23;p31) e t(11;16)(q23;p13), que geram genes quiméricos. Nos perfis dos pacientes foi encontrado a deleção do 20, 9, 22, 18, 8 e t(q21q31). Essas deleções encontradas não são totalmente elucidadas, porém sabe que a 20q apresenta um prognóstico favorável. A translocação (q21q31) está associada a doenças mieloproliferativas (HOLANDA; *et al*, 2019).

Na Tabela 13 relata os perfis dos pacientes com Síndrome mielodisplásica não classificável:

Sexo	Imunofenotípico	Citogenético	Hematológico
Feminino	Medula óssea hipercelular para a idade	47 XX, (20)	Hemoglobina: 5,36 Leucócitos: 4.610 Plaquetas: 371.000
Masculino	Células T (CD4/CD8: 2,10) . progenitores hematopoéticos (CD34+); destas, 18,92% (0,02% do total de células analisadas) eram progenitores linfóides B.	Não encontrado	Hemoglobina:6,52 Leucócitos: 2.240 Plaquetas: 25.400
Feminino	Medula óssea Heterogênea, da qual 5,5%a eram linfócitos t (relação CD4:CD8 - 1,67), 1,5%	Não encontrado	Hemoglobina: 6,7 Leucócitos: 10.000 Plaquetas: 450.000
Feminino	Não encontrado	Normal	Hemoglobina: 11,1 Leucócitos: 2.900 Plaquetas: 68.000
Masculino	Normal	46,XY[25]	Não encontrado
Feminino	Normal	46XX (20)	Hemoglobina: 14,5 Leucócitos: 8.600 Plaquetas: 66.000

Feminino	Displasia de linhagem monocítica e eritrocítica	Não encontrado	Hemoglobina: 6 Leucócitos:2.510 Plaquetas: 7.000
Feminino	Normal	Normal	Hemoglobina: 11,6 Leucócitos: não encontrado Plaquetas: Não encontrado
Feminino	5,5% de mieloblastos e alterações fenotípicas sugestivas de displasia em linhagens granulocíticas e monocíticas	46XX (12)	Hemoglobina: 10,3 Leucócitos: 3.100 Plaquetas: 73.000
Feminino	Normal	46XX (12)	Hemoglobina: 9,6 Leucócitos: 4.300 Plaquetas: 313.000

Tabela 13: Síndrome Mielodisplásica não classificável.

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Na Síndrome mielodisplásica houve um predomínio do gênero feminino, 80%, e 20% do gênero masculino. No perfil hematológico, nove dos casos apresentam anemia e apenas um está dentro dos valores de referência. Apenas quatro pacientes estão com leucopenia, quatro pacientes estão dentro dos valores de referência e dois não foram encontrados. Cerca de 50% dos casos apresentam plaquetopenia, 20% não foram encontradas e 30% estão dentro dos valores de referência. No perfil citogenético, 40% dos pacientes apresentaram deleção, entre deleções, entre elas a deleção do 20, 25, 12 e 10% dos pacientes apresentaram 30% dos pacientes não foram encontrados e 20% foram normais. No imunofenotípico 40% apresentou medula óssea normocelular, 50% alterado e 10% não foi encontrado.

Já a Síndrome mielodisplásica não classificada tem os leucócitos, hemoglobina ou plaquetas reduzidos, porém não corresponde com nenhum dos critérios das entidades pré-definidas pela OMS, o perfil citogenético ainda apresenta um prognóstico desconhecido, porém a deleção do 20 é favorável. Na maioria dos casos a medula apresenta displasia em mais 10% das células em uma ou mais linhagens mielóide e mais 5% de blastos. O CD34 é um marcador de progenitores mielomonocíticos. A presença dos linfócitos T CD4 são específicos para a maioria das infecções oportunistas e os T CD8 são citotóxicos que ajudam a eliminar células infecciosas ou neoplásicas (LINDBERG; TOBIASSON; GREENBERG, 2020).

5 I CONSIDERAÇÕES FINAIS (OU CONCLUSÕES)

Em virtude dos fatos mencionados a Síndrome mielodisplásica possui um diagnóstico complexo e sem sintomatologia específica, dessa forma este trabalho revelou as características mais frequentes no perfil hematológico, citogenético, imunofenotípico, os tipos de SMD, idade e sexo de pacientes com SMD acompanhados no Hospital Terciário

do Distrito Federal.

Foi constatado que de 29 pacientes a média de idade foi 65 anos, o gênero feminino foi o mais frequente, a Citopenia Refratária com displasia de multilinhagem (CDRM) e Síndrome mielodisplásica não classificada (SMD- NC) foram as mais recorrentes. A anemia foi a citopenia mais frequente, houve um predomínio da deleção do 20q no perfil citogenético, e a medula óssea hipercelular foi a mais predominante.

No decorrer do estudo uma dificuldade encontrada foi na coleta de dados dos prontuários, pois o Hospital Terciário não disponibilizou todos os resultados, mas foi coletado todos os dados disponíveis.

Por ser uma doença na maioria das vezes assintomática, o paciente descobre em consultas de rotina, uma anemia severa. Diante deste momento, começa uma investigação baseando-se em dados clínicos, citológicos, histopatológicos, citogenéticos e na evolução do paciente, ou seja, o diagnóstico final é através de conjuntos de achados clínicos e baseados na classificação do FAB reformulada pela OMS.

Devido às suas características heterogêneas, a SMD exige do profissional da saúde um conhecimento diferenciado sobre as características laboratoriais, avaliação do prognóstico e critério diagnóstico.

REFERÊNCIAS

BECCARI, N. *et al.* Evolução de Síndrome mielodisplásica à Leucemia aguda de linhagem ambígua. **Hematology, Transfusion and Cell Therapy**, São Paulo, v. 43, n. 1, p. 155, out, 2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2531137921004107. Acesso em: 9 jun. 2022.

BRAVO, G.; MANERO, G. Myelodysplastic syndromes: 2018 update on diagnosis, risk-stratification and management. **American Journal of Hematology**, Boston, v. 93, n. 1, p. 129-147, jan. 2018. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ajh.24930. Acesso em: 1 abr. 2022.

HASSERJIAN, R, P: Myelodysplastic Syndrome Updated. **Pathobiology,** Boston, v. 86, n. 1, p. 7-13, jul. 2019. Disponível em: https://doi.org10.1159/000489702. Acesso em: 3 mar. 2022.

HASLE, Henrik. Myelodysplastic and myeloproliferative disorders of childhood. **ASH publications.**, Denmark, v. 2016, Dec. 2016. Disponível em: <https://ashpublications.org/hematology/article/2016/1/598/21157>. Acesso em: 28 de Abril de 2021

INVERNIZZI, Rosangela; QUAGLIA, Federica; PORTA, Matteo Giovanni Della.. Importance of classical morphology in the diagnosis of myelodysplastic syndrome. **Mediterr J Hematol Infect Dis.** Mediterranean, 2015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25960863/>. Acesso em: 28 de Abril de 2021.

KENNEDY, J.; EBERT, B. Clinical Implications of Genetic Mutations in Myelodysplastic Syndrome. **Jornal Clinical Oncology,** Boston, v. 35, n. 9, p. 968-974, mar. 2017. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5455680/. Acesso em: 21 mar. 2022.

LINDBERG, E.; TOBIASSON, M.; GREENBERG, P. Myelodysplastic syndromes: moving towards personalized management. **Haematologica Journal of the Ferrata-Storti Foundation**, Califórnia, v. 107, n. 7, p. 1765–1779, maio. 2020. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/pmc7327628/. Acesso: 9 jun. 2022.

LOPES, Luiz F. et al. Síndrome mielodisplásica na infância. **Rev. Bras. Hematol. Hemoter.** São José do Rio Preto, v. 28, n. 3, p. 226-237, Sept. 2006 . Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-84842006000300016&l ng=en&nrm=iso>. Acesso em: 28 de Abril de 2021.

MACEDO, L.; MATTOS, J.; SILVA, D. Síndrome mielodisplásica: da suspeita ao diagnóstico definitivo. **SaBios-Revista de Saúde e Biologia**, Paraná, v. 11, n. 1, p. 80–89, abr. 2016. Disponível em: https://revista2.grupointegrado.br/revista/index.php/sabios/article/view/1678. Acesso em: 22 mar. 2022.

MORAES, Ana Carolina R. et al . Síndromes mielodisplásicas: aspectos moleculares, laboratoriais e a classificação OMS 2008. **Rev. Bras. Hematol. Hemoter.**, São Paulo, v. 31, n. 6, p. 463-470, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-84842009000600016&lng=e n&nrm=iso>. Acesso em: 29 Apr. 2021.

SILVA, E.; NASCIMENTO, J. O diagnóstico das síndromes mielodisplásicas: revisão da literatura. **Revista Brasileira de Análises Clínicas**, São Paulo, v. 50, n. 4, p. 312-320, nov. 2018. Disponível: http://www.rbac.org.br/artigos/o-diagnostico-das-sindromes-mielodisplasicas-revisao-da-literatura/#:~:text=As%20s%C3%ADndromes%20mielodispl%C3%A1sicas%20(SMD)%2C,todas%20as%20idades%2C%20principalmente%20adultos. Acesso em: 21 mar. 2022.

SOMERSON, M. *et al.* Síndromes mielodisplásicos: una actualización para el médico no hematólogo. **Medicina Interna de México**, México, v. 38, n. 2, p. 366-377, maio. 2020. Disponível em: https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=104946. Acesso: 9 jun. 2022

UTSCH, P.; BOECHAT, T. Síndrome Mielodisplásica: Revisão de Literatura. **Revista De Saúde**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 86-87, jan. 2017. Disponível em: https://scholar.archive.org/work/cs4yrn5xffhrpkmdytbf742mhm/access/wayback/http://edit ora.universidadedevassouras.edu.br/index.php/RS/article/download/964/pdf. Acesso: 10 jun. 2022.

CAPÍTULO 18

PROJETO DE REDE ÓPTICA DE ACESSO PARA O MUNICÍPIO DE BOM LUGAR/MA

Data de aceite: 01/09/2023

Breno Batista
Universidade Estadual do Maranhão – UEMA
São Luís, Maranhão
https://orcid.org/0009-0006-1812-0950

Paulo Fernandes da Silva Junior
Universidade Estadual do Maranhão – UEMA
São Luís, Maranhão
https://orcid.org/0000-0001-6088-6446

Carlos Magno Sousa Júnior
Universidade Estadual do Maranhão – UEMA
São Luís, Maranhão
https://orcid.org/0000-0002-3384-2672

RESUMO: Neste trabalho é proposto o projeto de infraestrutura óptica de Internet banda larga para o município Bom Lugar/MA. A internet de banda larga pode estimular o desenvolvimento econômico e social da região. No desenvolvimento do projeto é proposto um sistema de comunicação via fibra óptica através da tecnologia de Rede Óptica Passiva Gigabit. Com esta tecnologia, a fibra óptica é usada até a residência. A partir do trabalho realizado pode-se avaliar que existe viabilidade técnica e econômica para implementação da rede com dispositivos ópticos passivos.

PALAVRAS-CHAVE: Internet banda larga; fibra óptica; rede óptica passiva; fibra até a residência; infraestrutura.

OPTICAL ACCESS NETWORK PROJECT FOR THE MUNICIPALITY OF BOM LUGAR/MA

ABSTRACT: This work proposes the project of broadband Internet optical infrastructure for the city of Bom Lugar/MA. Broadband internet can stimulate economic and social development in the region. In the development of the project, a communication system via optical fiber is proposed using the technology of Gigabit Passive Optical Network. With this technology, fiber optics is used all the way to the home. From the work carried out, it can be evaluated that there is technical and economic viability for the implementation of the network with passive optical devices.

KEYWORDS: Broadband Internet; optical fiber; passive optical network; fiber to the home; infrastructure.

1 | INTRODUÇÃO

A crescente demanda por largura de banda, o aumento do tráfego de dados, impulsionado pela internet e a emergente implantação de tecnologias como internet das coisas (Internet of Things - IoT), 5G e a computação em nuvem (Cloud Computing - CC) vem tornando cada vez mais importante que redes de acesso sejam capazes de suportar essa crescente demanda. O tráfego global de internet vem dobrando a cada dois anos. A Netflix recomenda uma conexão de 25 Mbps para assistir a vídeos com qualidade Ultra HD. Isso significa que para uma família com quatro dispositivos conectados, e um plano de internet de 100 Mbps, podem facilmente atingir a capacidade máxima (COMMSCOPE, 2018). Todos esses fatores fazem a tecnologia de fibra óptica desempenhar um papel vital na construção de redes de acesso modernas e eficientes. Sua capacidade de transmitir grandes volumes de dados a altas velocidades, sua imunidade a interferências eletromagnéticas, e sua segurança a tornam a escolha ideal para atender às demandas de conectividade da sociedade.

Dentro deste contexto, pesquisadores e engenheiros de todo o mundo vêm trabalhando no desenvolvimento de tecnologias de acesso à internet com capacidade de largura de banda e latência capazes de suprir a atual e futura demanda do mercado. Devido as propriedades da luz e as técnicas avançadas de modulação e multiplexação, a capacidade de transmissão máxima de dados de uma fibra óptica é extremamente alta. Com a tecnologia atual ainda não é possível fazer uso de todo potencial da fibra óptica, mas a capacidade de uma única fibra óptica pode chegar a vários terabits por segundo (Tbps), o que fazem dela o meio de comunicação mais promissor nessa corrida.

Em Li et al (2019), é proposto a implementação de uma arquitetura de rede óptica que torne possível a comunicação direta entre ONUs (Optical Network Unit) e melhore a escalabilidade e confiabilidade das redes ópticas. Nesta arquitetura, as camadas de convergência e de acesso à rede devem se juntar através de uma topologia em anel com duas fibras e três comprimentos de ondas alocados para a comunicação entre as ONUs.

Em outro trabalho aplicável em redes PON é proposto o uso de NFV (Network Function Virtualization), SDN (Software Defined Networking) e TWDM-PON (Time Wavelength Division Multiplexing), com o intuito de tornar possível o uso de OAN (Open Access Network). Através do OAN diferentes operadores poderiam colaborar de forma eficiente no compartilhamento da infraestrutura para ofertar variados tipos de serviço (PAKPAHAN; HWANG, 2023).

Devido os custos de manutenção e demanda por localização de falhas mais eficiente em redes ópticas passivas, Jiang et al. (2023), realizou o treinamento de uma rede neural com base em Redes Neurais de Memória de Longo Prazo (LSTM – Long Short-Term Memory Networks) para realizar previsões em tempo real de falhas. Os resultados demonstraram eficácia do esquema proposto, o que pode proporcionar um monitoramento mais eficiente,

manutenção proativa e redução de custo associados a interrupções de serviço.

O uso da multiplexação por divisão de frequência ortogonal (OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing), junto ao filtro digital de acesso múltiplo (DFMA – Digital Filter Multiple Access) em redes ópticas passivas, mostrou-se através de simulações ser muito mais eficiente que redes ópticas passiva DFMA. A capacidade de recuperar múltiplos canais utilizando uma única operação FFT (Fast Fourier Transform – Transformada Rápida de Fourier) resultou em maior eficiência computacional, melhor desempenho e maior tolerância a certas interferências ópticas (TYAGI; GIDDINGS; TANG, 2022).

Neste trabalho foi elaborado um projeto de rede óptica de acesso para o município de Bom Lugar/MA. De acordo com dados da ANATEL (2023), Bom Lugar vem tendo em torno de 18 acessos à internet banda larga fixa por mês desde 2019. Destes 18 acessos, apenas 2 são através de fibra óptica. A construção de uma infraestrutura de rede óptica de acesso à internet torna possível a interconexão dos cidadãos do município a recursos tecnológicos que tornam melhor a gestão de recursos e acesso a informações em tempo real. Além dos cidadãos, funcionários públicos que trabalham na rede pública municipal de ensino e de saúde poderão usufruir de tecnologias que devem tornar mais eficiente a comunicação, agendamentos e controle de registros.

2 | SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO

Os modernos sistemas de comunicação são essenciais para o desenvolvimento cultural, econômico e científico da sociedade, pois informações estão constantemente sendo geradas e transmitidas para toda parte do planeta. De acordo com Haykin e Moher (2008), um sistema de comunicação é composto por diversos componentes interconectados que desempenham funções específicas para garantir a transmissão e recepção adequadas dos dados. Para que haja comunicação entre pelo menos dois pontos, é necessário que o sistema tenha pelo menos um transmissor, um meio de transmissão e um receptor. Além destes elementos, há outros fatores que são característicos, tais como ruído, capacidade do canal e processamento de sinal.

O transmissor é um componente essencial responsável por converter a informação em um formato adequado para a transmissão. Isso envolve processos como codificação, modulação e amplificação do sinal. Através desse processo, o transmissor garante que a informação seja transmitida de forma eficiente e compatível com o meio. Outro componente essencial é o receptor. Ele é responsável por receber o sinal transmitido e convertê-lo para sua forma original de maneira precisa e confiável, mesmo quando o sinal é afetado pelo ruído e outros efeitos indesejados. O processo realizado por ele é de demodulação, detecção de erros e filtragem do sinal.

O meio de transmissão é o canal físico por onde o sinal é propagado. Este meio pode ser um cabo elétrico, uma fibra óptica, ar ou qualquer outro meio utilizado para transportar

o sinal de ponto a outro. O meio de transmissão pode introduzir distorções, atenuação, atrasos e características que afetam a qualidade e a velocidade de transmissão do sinal.

O ruído e o processamento de sinal apropriado são elementos essenciais para garantir a qualidade da comunicação em sistemas de comunicação. Os sistemas de comunicação são projetados para minimizar os efeitos do ruído e garantir uma comunicação confiável. Enquanto o processamento de sinal é responsável por realizar a melhoria da qualidade de sinal e confiabilidade da transmissão de informações.

3 I MEIOS DE COMUNICAÇÃO

Todo sistema de comunicação realiza a sua transmissão de informações através de algum meio. Basicamente, existem dois tipos de meios de comunicação, os guiados e os não guiados. Os meios guiados de comunicação são meios físicos que fornecem um caminho definido para a transmissão de sinais. Eles são utilizados para transmitir informações em redes de comunicação e são chamados de "guiados" porque os sinais são conduzidos ao longo de um meio específico, como cabos metálicos ou fibras ópticas.

Os meios guiados oferecem vantagens como maior segurança, menor interferência e maior velocidade de transmissão em comparação com os meios não guiados, como o espaço livre. Alguns exemplos de meios guiados incluem cabos de cobre, cabos coaxiais e fibras ópticas.

- Par Trançado: A tecnologia de par trançado é um meio de comunicação muito utilizado em redes de comunicação. Sua flexibilidade, facilidade de instalação e custo-benefício tornaram-na uma escolha popular em diversos contextos, oferecendo velocidades de transmissão adequadas para várias aplicações. Embora o par trançado tenha sido inicialmente utilizado para comunicação de voz, o avanço tecnológico permitiu sua utilização em redes de dados de alta velocidade. Essa tecnologia consiste em dois fios de cobre entrelaçados, formando um par. Entrelaçar os fios faz com que as ondas se cancelem, o que ajuda a reduzir a interferência eletromagnética (TANENBAUM; WETHERALL, 2011). Com o uso de técnicas de cancelamento de ruídos e melhorias na qualidade dos materiais, o par trançado evoluiu para atender às demandas crescentes por velocidades de transmissão mais altas. Os cabos de par trançado são classificados em diferentes categorias, como Cat. 5e, Cat6 e Cat6a, cada uma com características de desempenho específicas. Essas categorias determinam a largura de banda, a taxa de transferência de dados e a distância máxima de transmissão que o cabo pode suportar.

- Coaxial: A comunicação através de cabo coaxial é uma tecnologia amplamente utilizada para transmitir sinais em diversas aplicações. Ele é comumente usado em sistemas de televisão a cabo e de acesso à internet. De acordo com Tanenbaum e Wetherall (2011, p. 60), "dois tipos de cabo são amplamente utilizados. Um deles, o cabo de 50 ohms, é comumente empregado nas trans-

missões digitais. O outro tipo, o cabo de 75 ohms, é usado com frequência nas transmissões analógicas e de televisão a cabo". O cabo coaxial consiste em um condutor interno, isolado por um dielétrico e envolvido por condutor externo, protegido por uma capa isolante. Sendo assim, tem como uma de suas principais características a capacidade de transmitir sinais de alta frequência com baixa perda de sinal.

- Fibra Óptica: É possível afirmar que atualmente a fibra óptica é a tecnologia mais promissora e avançada para transmitir informações. Essa tecnologia tem como base o princípio da reflexão interna total, onde os sinais luminosos são transmitidos através de cabos de fibra óptica, que consistem em filamentos de vidro ou plástico extremamente finos. De acordo com Tanenbaum e Wetherall (2011, p. 62), "as fibras são feitas de vidro, que, por sua vez, é produzido a partir da areia, uma matéria-prima de baixo custo e abundante". No processo de transmissão de dados, os sinais são convertidos em pulsos de luz que percorrem a fibra óptica. Esses pulsos de luz são refletidos internamente pelas paredes da fibra, permitindo que a informação seja transmitida ao longo do cabo sem perdas significativas de sinal. Esse meio de comunicação oferece vantagens em relação a outros meios de transmissão, como cabos de cobre. Em primeiro lugar, as fibras ópticas possuem uma largura de banda muito maior, o que significa que podem transmitir grandes quantidades de dados em alta velocidade. Além disso, a fibra óptica é imune a interferências eletromagnéticas, proporcionando uma transmissão mais estável e confiável. Devido a sua capacidade de transmissão de dados e baixa perda de sinal, a fibra óptica vem sendo usada em cabos submarinos que conectam continentes. Sua importância é notável em diversas áreas, como telecomunicações, internet, redes de dados, medicina e muitas outras. Os principais tipos de fibra óptica são multimodo e monomodo. A fibra multimodo possui um diâmetro maior do núcleo, o centro por onde a luz viaja, permitindo que múltiplos modo de luz se propaguem. O diâmetro do núcleo pode ser de 50 μm ou 62,5 μm. Ela é usada para distâncias mais curtas, geralmente dentro de prédios ou redes locais. A fibra multimodo é mais econômica e é adequada para aplicações com menor largura de banda. A fibra monomodo possui um núcleo menor, de 9 μm, permitindo que apenas um modo de luz se propague. Ela é usada em longas distâncias, como em redes de longa distância. A fibra monomodo oferece maior largura de banda e menor atenuação de sinal em comparação com a fibra multimodo.

4 | REDES DE ACESSO POR FIBRA ÓPTICA

As redes de acesso desempenham papel fundamental na conectividade residencial e de negócios, permitindo o acesso à internet, comunicação e interconexão de dispositivos em uma escala global. Conforme Pinheiro (2017), "com o crescimento das aplicações voltadas para a internet, a presença da fibra óptica no interior de empresas, escritórios e residências se tornou realidade, com tecnologias em que ela é o principal meio usado

para atender ao anseio dos usuários de Internet em alta velocidade". Essas redes são responsáveis por fornecer o link de conexão entre os usuários finais e as redes de longa distância, possibilitando a transmissão de dados, voz, vídeo e outros serviços.

No contexto residencial, as redes de acesso óptica viabilizam o acesso à internet de alta velocidade, permitindo a comunicação instantânea, o compartilhamento de informações, o entretenimento digital e a utilização de serviços online. Sendo então essenciais para a integração de dispositivos inteligentes em residências, possibilitando a criação de ambientes conectados, como casas inteligentes, com sistemas de segurança, controle de iluminação, automação residencial e muito mais.

5 I ARQUITETURAS DE REDE FTTX

As arquiteturas de redes de acesso por fibra óptica são classificadas conforme seu alcance. O termo FTTx é utilizado para especificar o alcance de redes ópticas de acesso. De acordo com o FTTH *Council Europe* (2018), é possível obter variações de arquitetura de rede dependendo do número de fibras, pontos de divisão e pontos de agregação.

Os principais tipos de arquitetura FTTx são:

- FTTH (Fiber to the Home): Nessa arquitetura, a fibra óptica é estendida diretamente até a residência do assinante. Isso permite uma conexão de alta velocidade e capacidade, oferecendo uma ampla gama de serviços, como internet de alta velocidade, TV digital e telefonia.
- FTTB (Fiber to the Building): Nessa arquitetura, a fibra óptica é estendida até um ponto central dentro de um edifício. A partir desse ponto, a conectividade é distribuída internamente por meio de cabos de cobre ou redes locais sem fio.
- FTTC (Fiber to the Curb): Nessa arquitetura, a fibra óptica é estendida até o meio-fio mais próximo das residências. A partir desse ponto, a conexão é transmitida para as residências por meio de cabos de cobre existentes, como o par trançado.
- FTTDp (Fiber to the Distribution Point): Nessa arquitetura, a fibra óptica é estendida a partir do POP até o ponto de distribuição, que a partir daí a comunicação é feita até as residências através de uma infraestrutura de cabo coaxial.

6 I TOPOLOGIAS DE REDE FTTX

As redes FTTx possuem basicamente dois tipos principais de topologia de rede, a ponto-a-ponto e a ponto-multiponto. Cada uma destas topologias possui suas respectivas vantagens e desvantagens de implantação e operação.

- Ponto-a-ponto: Nesta arquitetura, cada assinante possui uma conexão dedicada a um ponto central, geralmente através de fibras ópticas individuais. Isso

significa que cada assinante tem uma conexão exclusiva e não compartilha com outros usuários. Esta arquitetura é caracterizada por uma alta taxa de transmissão de dados e baixa latência. No entanto, requer um investimento maior em infraestrutura devido à necessidade de fibras ópticas dedicadas para cada assinante. Dentre as principais vantagens desta topologia está a facilidade para ampliação da largura de banda por usuário e crescimento escalonado de equipamentos e componentes passivos. E como desvantagem, há o alto investimento inicial, a alta ocupação de infraestrutura aérea ou subterrânea e o gerenciamento de fibras a partir da central.

- Ponto-multiponto: Na arquitetura ponto-multiponto, várias assinaturas são compartilhadas em um único canal de fibra óptica, reduzindo a quantidade de fibra necessária em comparação com a arquitetura ponto a ponto. Este tipo de arquitetura normalmente faz uso da tecnologia PON (*Passive Optical Network*) que faz uso de divisores ópticos passivos para realizar o compartilhamento de sinal óptico entre diversos assinantes. Para que a comunicação em uma mesma fibra ocorra entre vários assinantes, os dados são transmitidos em intervalos de tempo separados para cada assinante. Existem diferentes tipos de arquiteturas PON, como as Redes Ópticas Passivas Gigabit (*Gigabit Passive Optical Network* - GPON) e Redes Ópticas Passivas Ethernet (*Ethernet Passive Optical Network* - EPON), que oferecem diferentes capacidades e velocidades de transmissão. Algumas das principais vantagens desta topologia é o menor custo inicial de implantação e a rede óptica mínima e otimizada. Por outro lado, apresenta maior dificuldade para localização de falhas na rede.

7 | REDES ÓPTICAS PASSIVAS

As redes ópticas passivas (PON) são sistemas de comunicação baseados em fibras ópticas que viabilizam a transmissão eficiente e confiável de dados, voz e vídeo. Nessas redes, o sinal óptico é transmitido através de fibras até um ponto central de distribuição, onde é dividido e compartilhado com os usuários finais.

Uma rede óptica passiva consiste em três principais elementos: o ponto de presença (POP – *Point of Presence*), o ponto de distribuição e as unidades de terminação de rede (ONT – *Optical Network Terminal*) localizadas nos pontos dos assinantes. O POP é responsável por fornecer um sinal óptico de alta velocidade, que é transmitido até o ponto de distribuição. No ponto de distribuição, o sinal é dividido para múltiplos usuários finais usando divisores ópticos passivos. Cada usuário final é conectado à ONU, que converte o sinal óptico em sinais elétricos utilizáveis pelos dispositivos do assinante.

A alta capacidade de transmissão de dados, com possibilidade de grande velocidade de banda larga e suporte a serviços como streaming de vídeo em alta definição, videoconferência e aplicações de Internet das Coisas (IoT), a alta imunidade a interferências eletromagnéticas, o que reduz a degradação do sinal e melhora a qualidade da transmissão, são todas características que demonstram a vantagem das redes ópticas passivas.

8 | CÁLCULO DE PERDAS E POTÊNCIA

Para elaborar o projeto da rede óptica é necessário avaliar a potência de recepção que chegará em cada elemento da rede e realizar o cálculo do orçamento de potência para validar que a OLT e as ONUs serão capazes de se comunicar e que a rede será capaz de suportar expansões. Toda OLT e ONU possuem uma potência de transmissão e um nível de sensibilidade de recepção. Portanto, contanto que o sinal transmitido pela OLT chegue na ONU acima de seu limiar de recepção, e o sinal transmitido pela ONU chegue a OLT acima de seu limiar de recepção, todos os elementos serão capazes de se comunicar.

Devido à variedade de divisores ópticos disponíveis no mercado, de topologias, arquiteturas e de classes de SFP, é fundamental calcular durante a elaboração do projeto o orçamento de potência. É através do orçamento de potência que será possível determinar, antes da rede ser construída, qual potência deve chegar em cada CTO e qual a margem ficará disponível para o caso de futuras expansões na rede após a sua construção.

Para determinar a potência de recepção, é necessário calcular a perda total desde a OLT até a CTO, levando em consideração as perdas por conectores, emendas, e a distância total da OLT à CTO, e vice-versa. Sendo que diferentes tipos de conectores apresentam diferentes perdas, assim como emendas e comprimento de onda. Desta forma, para determinar a potência de recepção em uma rede óptica passiva usa-se a Fórmula (1), esta fórmula se aplica tanto para determinar a potência de recepção no sentido OLT ONU, quanto no sentido ONU OLT:

$$P_{rx} = P_{tx} - L_c - L_e - L_d - L_s \qquad (1)$$

Onde:

P_{rx} = Potência de recepção;

P_{tx} = Potência de transmissão;

L_c = Perda por conectores;

L_e = Perda por emendas;

L_d = Perda por fibra;

L_s = Perda por splitter;

Para calcular o orçamento de potência, usa-se a Fórmula (2):

$$O_p = P_{tx} - S_r \qquad (2)$$

Onde:

O_p = Orçamento de potência;

P_{tx} = Potência de transmissão;

S_r = Sensibilidade de recepção;

9 | TOPOLOGIA E ARQUITETURA PROPOSTA

A área de cobertura deste projeto ficou delimitada à região urbana do município de Bom Lugar. Dentro da área urbana, foi estimado que haja aproximadamente 1232 residências. A partir disso, foi usado como parâmetro uma taxa de penetração de 50%, fazendo com que a rede tenha a capacidade de atender até 616 residências após a sua construção. Para atender Bom Lugar com uma taxa de penetração de 50%, foi realizada a delimitação de 77 células de atendimento que posteriormente foram usadas para definir os locais de instalação de CTOs.

A rede projetada é balanceada e terá divisão primária e secundária de 1/8, totalizando 64 divisões, ou seja, a capacidade de atender 64 assinantes por porta PON. Como a tecnologia escolhida para este projeto de rede é GPON, cada porta PON poderá ser expandida para atender até 128 assinantes. Para fazer isso, basta realizar a troca do divisor secundário de 1/8 por um divisor 1/16. Conforme apresentado posteriormente na atenuação do enlace óptico, essa divisão de 1/16 não irá impactar o desempenho da rede mas terá impacto no cálculo da largura de banda.

Visando tornar mais simples o processo de construção de rede, expansões futuras e o entendimento do projeto, cada Caixa de Emenda Óptica terá dois divisores ópticos primários de 1/8. Portanto, em cada CEO será necessário realizar 18 emendas, e para cada 8 CTOs sairá um cabo óptico de 12 fibras. Em caso de expansões futuras, a CEO será capaz de suportar o acréscimo de derivações de cabos e de emendas, e o cabo óptico lançado para cada rota terá 4 fibras disponíveis.

Após definir os locais de instalação das CTOs, as rotas do cabeamento óptico e de suas respectivas Caixas de Emenda responsáveis por sua distribuição de sinal foram elaboradas.

10 | RESULTADOS

Foi verificado através do mapa que com um raio de 10Km é possível cobrir todo o município de Bom Lugar, desde a área urbana localizada no centro, até os povoados mais distantes. Logo, uma única OLT localizada em um POP na área urbana teria o alcance necessário para atender todo o município. Considerando expansões futuras, e a estimativa de que Bom Lugar tenha o total de 1400 residências, são necessárias em torno de 175 CTOs para atender todas as residências de Bom Lugar. E para instalar 175 CTOs, são necessários 22 PONs no total. Desta forma, um cabo de 36FO instalado no POP tem fibras suficientes para transportar o sinal de qualquer expansão futura de rede. No entanto, as placas PONs disponíveis no mercado costumam ser vendidas com 8 ou 16 portas, o que significa que sobrarão portas PONs e fibras que poderão ficar como reserva.

A figura 1 demonstra a distribuição das 77 CTOs conforme células de atendimento definidas.

Figura 1. Caixas de Terminação Óptica distribuídas (Autor et al., 2023).

É possível identificar na Figura 2 o local que será instalado as Caixas de Emenda e rotas do cabeamento óptico que atenderá cada CTO na rede. Os quadrados em rosa são as Caixas de Emenda, e as linhas em verde representam as rotas do cabeamento óptico secundário.

Figura 2. Rede secundária (Autor et al., 2023).

O elemento de rede adequado para acomodar emendas e divisão do sinal óptico é a Caixas de Emenda Óptica. Cada CEO foi distribuída para atender aproximadamente 16 Caixas de Terminação Óptica. Ou seja, em cada CEO deve ser instalado dois divisores ópticos e realizado 18 fusões de fibra óptica. A Figura 3 descreve a distribuição de PONs e quantidade de CTOs atendida por cada CEO.

CEO	PON	Quantidade de CTOs
1	1	8
	2	8
2	3	8
	4	8
3	5	8
	6	8
4	7	8
	8	5
5	9	8
	10	8

Figura 3. Distribuição de CTOs por PON (Autor et al., 2023).

Para que os divisores ópticos recebam sinal óptico, é necessário que haja uma rota de cabeamento primário que faça a interconexão entre cada uma das Caixas de Emenda Óptica.

A Figura 4 demonstra a rota do cabeamento óptico de alimentação responsável por atender cada Caixa de Emenda Óptica. As Caixas de Emenda Óptica estão representadas pelos quadrados em rosa, e a rota do cabeamento primária pelas linhas em amarelo. O ponto de partida de distribuição de sinal é a CEO 01.

Figura 4. Rota do cabeamento primário (Autor et al., 2023).

Os cabos ópticos escolhidos para a rede de alimentação foram dimensionados considerando as fibras necessárias para alimentação de equipamentos de rede no POP, as fibras necessárias para atendimento da área urbana de Bom Lugar e futuras expansões de rede. O cabo óptico projetado para interligar o POP a CEO 01 é de 36 FO, enquanto os cabos ópticos que interligam da CEO 01 às CEOs 02 e 03, e da CEO 01 às CEOs 04 e 05, são de 24 FO.

A rede de fibra óptica deste projeto tem como proposta usar a tecnologia GPON para realizar o compartilhamento da largura de banda. O GPON é um método eficiente de compartilhamento de largura de banda em redes de fibra óptica. Ela permite o compartilhamento de uma única fibra entre vários usuários, proporcionando altas velocidades de transmissão de dados.

O cálculo da largura de banda compartilhada leva em consideração a capacidade total do canal óptico e a alocação de tempo para cada usuário. Na tecnologia, a largura de banda compartilhada de downstream é de 2500 Mbps, enquanto a largura de banda de upstream é de 1250 Mbps. Desta forma, a Figura 5 apresenta a largura de banda dedicada

para cada usuário das PONs distribuídas neste projeto.

PON	ONU's	Uplink Bandwidth (Mbps)	Downlink Bandwidth (Mbps)
1	64	19,53	39,06
2	64	19,53	39,06
3	64	19,53	39,06
4	64	19,53	39,06
5	64	19,53	39,06
6	64	19,53	39,06
7	64	19,53	39,06
8	40	31,25	62,5
9	64	19,53	39,06
10	64	19,53	39,06

Figura 5. Largura de banda dedicada por ONU conectada à porta PON (Autor et al., 2023).

É possível concluir que todos os assinantes da rede terão no mínimo 19,53 Mbps de banda dedicada para *upstream* e 39,06 Mpbs de banda dedicada para *downstream*.

Por se tratar de um projeto de rede óptica passiva cuja arquitetura é balanceada, a potência de recepção estimada de cada CTO terá aproximadamente o mesmo resultado. Tanto fabricantes de cabos ópticos, quanto de divisores ópticos e conectores precisam garantir que a perda máxima seja conforme o estabelecido por norma. Os datasheets desses elementos trazem consigo os resultados de testes e a perda que esses elementos apresentaram. No caso da topologia de rede proposta para esse trabalho, ela consiste de divisores ópticos balanceados 1/8 tanto em 1º nível quanto em 2º nível, e a perda máxima para esse tipo de divisor é de 10,5 dB em todas as suas saídas.

CEO	PON	Potência de Transmissão (dBm)	Perda por Conector (dB)	Perda por Emenda (dB)	Perda Divisor Primário (dB)	Perda Distância OLT/CEO (dB/Km)	Potência de Recepção na CEO (dBm)	Perda Distância CEO/CTO (dB)	Perda Divisor Secundário (dB)	Potência de Recepção na CTO (dBm)
1	1	4	1,5	0,3	10,5	0,04	-8,34	0,47	10,5	-19,31
	2	4	1,5	0,3	10,5	0,04	-8,34	0,47	10,5	-19,31
2	3	4	1,5	0,3	10,5	0,23	-8,53	0,28	10,5	-19,31
	4	4	1,5	0,3	10,5	0,23	-8,53	0,28	10,5	-19,31
3	5	4	1,5	0,3	10,5	0,29	-8,59	0,37	10,5	-19,46
	6	4	1,5	0,3	10,5	0,29	-8,59	0,37	10,5	-19,46
4	7	4	1,5	0,3	10,5	0,34	-8,64	0,20	10,5	-19,34
	8	4	1,5	0,3	10,5	0,34	-8,64	0,20	10,5	-19,34
5	9	4	1,5	0,3	10,5	0,51	-8,81	0,21	10,5	-19,53
	10	4	1,5	0,3	10,5	0,51	-8,81	0,21	10,5	-19,53

Figura 6. Cálculo de perda e de potência de recepção por PON (Autor et al., 2023).

11 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho é proposto o projeto de uma rede óptica de acesso GPON cuja topologia é ponto-multiponto distribuída e a arquitetura é FTTH (*Fiber to The Home*) balanceada com divisão de 1:64 por porta PON que poderá vir a ser usada para acesso à internet. O projeto foi desenvolvido a partir da ferramenta Google Earth, que permitiu elaborar a melhor estratégia de rotas de cabeamento e distribuição dos elementos passivos de rede para o município de Bom Lugar/MA. Para que fosse atendida a total demanda por internet da região urbana de Bom Lugar/MA foi necessário dimensionar a área de cobertura e fazer o levantamento da quantidade de residências a partir do escopo estabelecido. Com as 77 caixas de terminação ópticas de divisão 1:8 propostas no projeto, a rede terá a capacidade de atender a região urbana com uma taxa de penetração de 50%. A partir do trabalho foi possível observar que este projeto seria tecnicamente e economicamente viável de atender a atual demanda por internet e futuras expansões consequentes do surgimento de novas tecnologias e do aumento na demanda por velocidade de internet em Bom Lugar/MA. Em trabalhos futuros é possível elaborar um projeto de implantação de rede 5G usando a infraestrutura deste projeto, ou projeto de expansão da rede para atendimento de residências da área rural.

REFERÊNCIAS

ANATEL – AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. Acessos Banda Larga Fixa. Disponível em: < https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/acessos/banda-larga-fixa>. Acesso em: 02 jun. 2023.

COMMSCOPE. **Fiber to the X Fundamentals**. Commscope, 2018. Disponível em: <https://www.commscope.com/resources/eBooks/FTTX-Fundamentals-eBook/>. Acesso em: 24 mai. 2022.

FTTH Council Europe. **FTTH Handbook**. 8° Ed. Ftthcouncil, 2018. Disponível em: <https://www.ftthcouncil.eu/knowledge-centre/all-publications-and-assets/215/ftth-handbook>. Acesso em: 27/05/2021.

HAYKIN, Simon; MOHER, Michael. **Introdução aos sistemas de comunicação**. 2. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

JIANG, Wei; QIAN, Qiulin; YONG, Wangwen; KUMAR, Rajesh; WU, Junrui; ZHANG, Hanwen. Application of no-light fault prediction of PON based on deep learning method. **Computer Communications**, vol. 208, 210-219, aug. 2023.

LI, Xingfeng; GAN, Chaoqin; CHEN, Yujie; QIAO, Hubao; YAN, Yuqi. Dual-Fiber-Ring Architecture Supporting Discretionary Peer-to-Peer Intra-Communication and Bidirectional Inter-communication in Metro-Access Network. **IEEE Access**, vol. 7, 52360-52370, abr. 2019.

PAKPAHAN, Andrew Fernando; HWANG, I-Shyan. Flexible Access Network Multi-Tenancy Using NFV/SDN in TWDM-PON. **IEEE Access**, vol. 11, 42937-42948, abr. 2023.

PINHEIRO, José Maurício dos Santos. **Redes ópticas de acesso em telecomunicações**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

TANENBAUM, Andrew S.; WETHERALL, David. **Redes de computadores**. 5. Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

TYAGI, Tushar; GIDDINGS, Roger; TANG, J.M. Real-time experimental demonstration of a computationally efficient hybrid OFDM DFMA PON. **Optical Fiber Technology**, vol. 74, dez. 2022.

CAPÍTULO 19

TÉCNICAS DE RECONHECIMENTO FACIAL COM MACHINE LEARNING

Data de aceite: 01/09/2023

Diogo Francisco Borba Rodrigues

Ezequiel Gomes Lopes

RESUMO: Para o ser humano, reconhecer o rosto de pessoas por determinadas características faciais é uma habilidade natural. Porém, implementar a capacidade de reconhecimento facial em máquinas não é uma tarefa fácil. A linguagem de máquinas, conhecida como machine learning, para reconhecimento facial envolve muitos cálculos matemáticos e exige grande poder de processamento. Com a evolução dos algoritmos e o aumento da capacidade de processamento dos computadores, o desenvolvimento de máquinas dotadas de tecnologia de reconhecimento facial já é possível. Atualmente esta tecnologia está sendo utilizada em diversos setores, como segurança, saúde, setores governamentais entre outros. Assim, o presente trabalho visa realizar um estudo mais amplo sobre o funcionamento de machine learning. Será abordado também o funcionamento das redes neurais artificiais, técnica desenvolvida para simular o funcionamento da própria rede neural humana. Por fim, será apresentado um comparativo de algoritmos de reconhecimento facial disponibilizados pela biblioteca OpenCV. Para fins de avaliação do desempenho entre os algoritmos Eigenface, Fisherface e LBPH foi necessário o desenvolvimento de uma aplicação em Python com a capacidade de identificar faces utilizando representações globais da imagem facial, os códigos serão testado e desenvolvido no google colab um serviço em nuvem que possibilita a execução de código nos servidores em nuvem do google.

INTRODUÇÃO (RELEVÂNCIA DO TRABALHO E REVISÃO DA LITERATURA)

A Inteligência Artificial (IA) vem ganhando popularidade e está cada vez mais presente na vida das pessoas, gerando um grande impacto social e econômico (SHEIN, 2020), mesmo muitas vezes passando despercebida. Diariamente é utilizado diferentes IA sem nem perceber, como conversar com algum chatbot, as sugestões de palavras do teclado do celular e até os assistentes pessoais virtuais. Atividades complexas

também fazem uso de IA como a navegação de carros autônomos, soluções de simulações computacionais, algoritmos com a finalidade de descobrir exoplanetas (ADAMS, 2020) e até mesmo soluções para auxiliar na vacina para a COVID-19 (ROBY, 2020). A IA pode ser caracterizada como a concepção e construção de agentes inteligentes que recebem percepções do ambiente e executam ações que afetam esse ambiente (RUSSEL; NORVIG, 2009).

IA representa uma ampla área de conhecimento que pode ser desmembrada em diversas outras, cada uma destas utilizando uma metodologia e/ou abordagem com diferentes finalidades e muitas vezes complementando umas às outras. Uma destas áreas de conhecimento é o Machine Learning (ML), que permite que computadores tenham a capacidade de aprender a partir de exemplos e dados (SAMUEL, 2000). Ao permitir que computadores consigam realizar tarefas específicas de maneira inteligente, os sistemas de ML podem realizar processos complexos a partir de dados, em vez de seguir apenas regras pré-programadas (ROYAL SOCIETY, 2017). Algumas tarefas típicas solucionadas com ML são o reconhecimento de fala e a classificação de imagens (KRIZHEVSKY et al. 2012), aumentando cada dia mais o seu uso em aplicações de segurança, diagnóstico médico por imagem, entre muitas outras.

O reconhecimento facial utiliza técnicas de aprendizado de máquinas, chamada machine learning, em conjunto com as redes neurais artificiais é uma tarefa desafiadora, pois a cada dia cresce a exigência por uma assertividade maior, principalmente nos sistemas de segurança. Devido a vários tipos de cenários como o ponto de vista da câmera, iluminação e a expressão facial podem dificultar esse reconhecimento. Após a extração das características obtidas no processamento, são analisados se é um padrão de uma face, fazendo parte do padrão de face é possível realizar a diferenciação das características, analisando pelos padrões obtidos e comparando com as demais faces (LI; JAIN, 2004).

PROBLEMÁTICA

O reconhecimento facial tem auxiliado em diversas questões, como a entrada de pessoas autorizadas em determinado local, identificação de possíveis terroristas, fraudes ou pessoas desaparecidas. Sendo assim, um falso reconhecimento facial pode ocasionar muitos problemas como por exemplo, autorizar a entrada de pessoas não permitidas ou transações bancárias não consentidas.

De acordo com Valente Mafei (2019), quanto menos o sistema for treinado e inserido uma menor diversidade dos dados, o sistema pode ser falho, diminuindo a capacidade de uma correta identificação dos tipos de face, como por exemplo as faces de uma mulher negra tem maior quantidade de falhas comparado com uma mulher branca, podendo gerar assim falsos positivos, tomando uma ação que pode prejudicar a vida de uma pessoa inocente.

Dessa forma é necessário ter o conhecimento do algoritmo a ser utilizado de acordo com o cenário, para identificar se o algorítmo X é o melhor para certa aplicação comparado com o algorítmo Y, se o mais importante para o cenário é alta porcentagem de assertividade ou a confiança, dessa forma esse trabalho visa apresentar algumas características importantes sobre o funcionamento de três algoritmos da biblioteca OpenCV para mostrar que deve ser realizado um grande estudo sobre os algoritmos de reconhecimento facial, diminuindo assim os riscos de escolher um algorítmo que não atenda o cenário a ser implementado.

OBJETIVOS

Objetivos Geral

O objetivo deste trabalho é mostrar a aplicações de técnicas de machine learning no reconhecimento facial, avaliando a assertividade das diferentes técnicas encapsuladas nos métodos da biblioteca open source OPENCV.

Objetivos Específico

Para atingir o objetivo principal será realizado os seguintes procedimentos

- Verificar as técnicas de machine learning para reconhecimento facial
- Conhecer o funcionamento da biblioteca OpenCV, sua estrutura e performance
- Realizar a implementação com os métodos da biblioteca OpenCV.
- Analisar os resultados de reconhecimento facial e identificar a assertividade e confiança em diferentes tipos de faces.

JUSTIFICATIVA

Conforme Li e Jain (2004, p. 4), o desempenho de muitos métodos de reconhecimento facial são altamente sensíveis a alterações de iluminação e expressões faciais. Além disso, diante de falsos positivos, ocorreu a necessidade de se aprofundar sobre o reconhecimento de padrões focado no reconhecimento facial para que seja possível identificar a assertividade de cada técnica utilizada no reconhecimento facial.

Dessa forma este trabalho veio para deixar mais claro sobre esse assunto e auxiliar nas futuras escolhas de algoritmos com melhor desempenho de aplicações, voltadas ao reconhecimento de faces.

ESTRUTURA

O trabalho é organizado em X capítulos, sendo que no primeiro será dado uma breve introdução sobre o tema de machine learning aplicado em reconhecimento de padrões,

assim como as justificativas para o desenvolvimento do trabalho.

No capítulo 1 é apresentado sobre as técnicas de inteligência artificial, machine learning e deep learning, para o reconhecimento de padrões.

No capítulo 2 será apresentado o tipo de pesquisa metodológica que foi realizada no desenvolvimento do trabalho.

No capítulo 3 é apresentado a biblioteca OpenCV que é a base desse trabalho, a implementação de algoritmos de reconhecimento de padrões através do uso dessa biblioteca.

O capítulo 4 apresenta também o protótipo desenvolvido e os resultados obtidos, com as considerações finais do trabalho, para compreender as técnicas que podem ser utilizadas para o reconhecimento facial baseando-se nas comparações realizadas.

Para finalizar o **capítulo 5**, apresenta as conclusões do trabalho e os trabalhos futuros.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão abordados, os conceitos e fundamentos da inteligência artificial, machine learning, deep learning e redes neurais que formam a base de conhecimento do trabalho. O estado atual das áreas de conhecimento citadas, as principais aplicações e suas técnicas, também são abordadas.

Ao longo da história vários filósofos e cientistas se dedicaram na análise dos vários aspectos constitutivos da inteligência humana. Posteriormente a inteligência, passou a ser estudada por outros campos do saber humano, como pela engenharia, psicologia, pedagogia, ciência cognitiva, neurologia, linguística, computação, entre outros, visando aspectos práticos e comerciais.

Assim como ocorreu com outras ciências que antes pertenciam ao campo de estudo da filosofia e depois se tornaram ciências independentes ou ramo de outras ciências, o mesmo ocorreu com o estudo da inteligência que hoje é alvo do estudo, na computação, pela ciência conhecida como Inteligência Artificial (IA) .

Os primeiros estudos sobre IA surgiram na década de 40, juntamente com os primeiros grandes projetos de construção de computadores, e até o final do século 20, a IA estava restrita às universidades, laboratórios e instituto de pesquisa, e as aplicações práticas existentes eram em contexto muito restritos e específicos e embarcados com hardware (LUGER, 2004).

Em especial nesta última década, e fortemente amparada pela evolução do poder computacional das máquinas, a IA vem sendo aplicada nas mais diversas áreas da atividade econômica, sendo atualmente uma das áreas de maior pesquisa e estudo pelos diversos setores econômicos que descobriram aplicações práticas de grande valor comercial e social (FACELI et al., 2011)

Conforme Figura 1 o termo Inteligência Artificial, surgiu nos Estados Unidos, em 1956, quando John McCarthy reuniu em uma conferência proferida ao Dartmouth College, na Universidade de New Hampshire, vários pesquisadores que estudavam como dotar as máquinas de comportamentos inteligentes. Desde seu início, a IA tem atravessado períodos de euforia e de depressão, como mostra a figura a seguir, onde em cada fase desse histórico apresenta evoluções com novas técnicas e novas aplicações, onde ocorreram diversos pontos interessantes, como o teste de Turing, a Eliza que foi o primeiro chatbot desenvolvido em 1964, e em 1997 a Deep blue desenvolvimento pela IBM ganhou o jogo de Xadrez do melhor jogador à época Kasparov.

Por exemplo, os sistemas ou máquinas baseados em *deep learning* são capazes de aprender e se aperfeiçoar quanto mais são expostas ao uso. Alguns exemplos são reconhecimento facial em tempo real, sistemas de busca na internet e chatbots vistos na Figura 1.

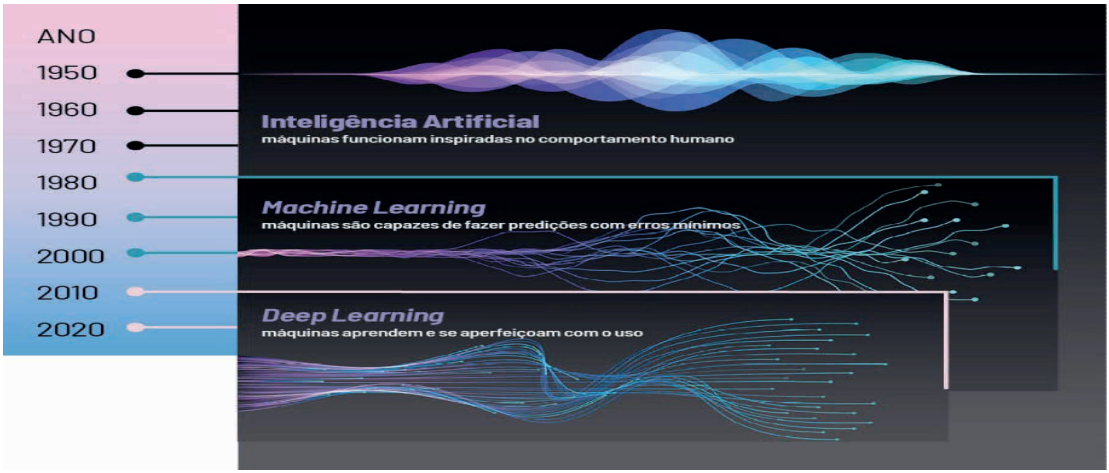


Figura 1: Fonte: CienciaHoje

Desde os primórdios, o termo IA foi associado a parte da Ciência da Computação que faz com que os sistemas ou máquinas exibem atributos ou comportamentos considerados como parte da inteligência humana, tais como: aprender, adquirir conhecimentos, entender linguagens, raciocinar e resolver problemas.

Sendo assim, o objetivo central da IA, é a criação de modelos para a inteligência e a construção de sistemas computacionais baseados nesses modelos. Este objetivo é simultaneamente teórico, (a criação de teorias e modelos para a capacidade cognitiva), e prático, a implementação de sistemas computacionais baseados nestes modelos. Em outras palavras, a IA tem se destacado na busca por compreender a inteligência e por englobar diversos campos do conhecimento com o objetivo prático de simular a inteligência (LUGER, 2004).

O caráter dual deste objetivo levou, naturalmente, a pesquisa e desenvolvimento em IA cristalizaram-se em torno de três linhas de pesquisa:

- IA cognitiva: consiste no desenvolvimento de modelos formais para a inteligência humana, tema da ciência cognitiva, também chamada de psicologia computacional;
- IA básica: consiste na exploração e experimentação de técnicas computacionais que apresentem potencial para a simulação do comportamento inteligente;
- IA aplicada: é o desenvolvimento de aplicações nas mais diversas áreas das atividades econômicas (comerciais, industriais, educacionais) utilizando técnicas de IA.

As técnicas da IA básica, desde seus primórdios foram divididas em dois grandes grupos ou paradigmas: IA simbólica e IA biológica.

- Abordagem Simbólica (ou cognitiva): dá ênfase aos processos cognitivos, ou seja, os métodos simbólicos em IA, procuram emular o raciocínio do ser humano na solução de problemas.
- Abordagem Biológica: dá ênfase aos modelos naturais (por exemplo, o funcionamento do cérebro, dos neurônios e das suas conexões e o processo de evolução natural), para construir técnicas que tenham potencial de emular o comportamento inteligente.

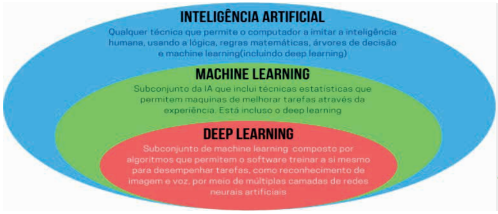
O presente trabalho está enquadrado na IA básica, na sua abordagem biológica e na IA aplicada. Serão utilizadas técnicas computacionais biológicas, mais precisamente redes neurais, para emular o comportamento inteligente e aplicadas em um estudo de caso (RUSSELL; NORVIG, 2004).

Desde uma perspectiva histórica, a IA básica e aplicada, podem ser abordadas também olhando para as técnicas utilizadas e as aplicações resolvidas com essas técnicas, como mostram as figuras a seguir na Figura 2.

Figura 2

Fonte: Atualidade parlamento Europeu

Na figura **X** é possível identificar os subconjuntos, Deep Learning é um subconjunto de Machine Learning e Machine Learning sendo um subconjunto de Inteligência Artificial.



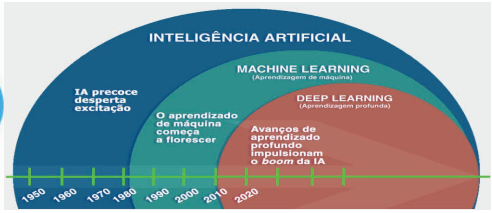


Figura 3.1 Figura 3.2

Fonte: Portal Comunica UFU Por: Thiago “Zina” Crepaldi*

Na Figura 3.1 e 3.2, apresenta uma breve explicação sobre cada subconjunto de Inteligência Artificial, da qual a Inteligência Artificial é qualquer técnica utilizada em computadores para simular o comportamento humano, Na figura x mostra como esses subconjuntos evoluíram com o passar dos anos.

Machine Learning sendo qualquer método de máquina que aprenda com as experiências e por último Deep Learning que possui múltiplas redes neurais.

Considerando que IA é um sistema que exibe atributos ou comportamentos inteligentes, aprendizado de máquina é um termo mais específico que se refere a sistemas projetados para receber dados, geralmente em um domínio específico e aprende e descobre padrões ou tendências nos dados. Esses sistemas utilizam a capacidade para avaliar e categorizar os dados recebidos e depois desenhar inferências.

Na figura 4 a seguir é apresentado três aplicativos baseados no machine learning. Por exemplo, quando a entrada é uma imagem carregada para uma plataforma de mídia social. O software analisa o conteúdo dos pixels da imagem para padrões conhecidos usando algoritmos de aprendizado de máquina, e produz uma saída identificando a foto carregada. É capaz de fazer isso com base na probabilidade estatística de que características da imagem se assemelham às imagens existentes, conjunto de imagens de treino para “calibrar” a rede (IBM, 2018).

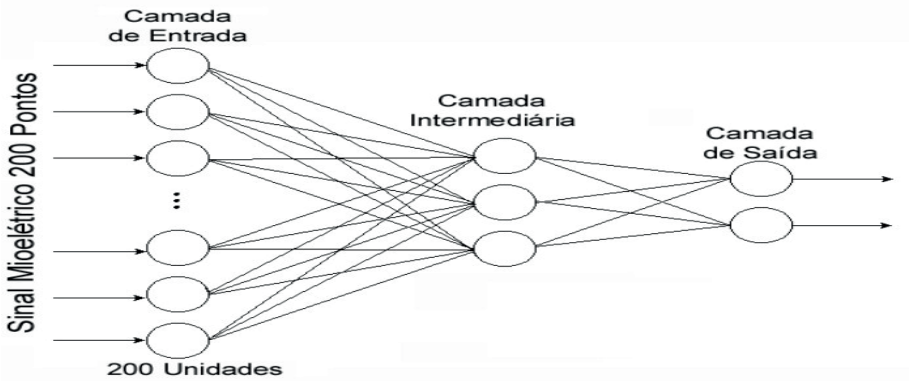


Figura 4 Diagrama de uma Rede Neural

Fonte:ResearchGate (Thesis for: MasterAdvisor: Alberto Cliquet Jr. 2002)

De acordo com a Data Science Academy (2019) Machine learning possui dois principais tipos de aprendizado, o aprendizado supervisionado e o não supervisionado. O objetivo é reproduzir o procedimento que os seres humanos fazem para aprender e tentam replicar em máquinas, o aprendizado supervisionado é aquele que ensina a máquina através de algoritmos o que é uma face e a partir disso ele consegue reconhecer novas faces através das fórmulas criadas.

O não supervisionado é aquele que possui um conjunto de dados e a máquina localizar as imagens que são semelhantes, dessa forma sem saber a saída dessa análise tenta localizar as imagens que possuem um mesmo tipo de padrão, ou também a tentativa e erro, a máquina tenta realizar uma ação, dependendo dessa ação se for uma ação errada, ela faz uma nova tentativa, até encontrar a melhor solução para o problema. Todas essas ações da máquina são realizadas através de fórmulas matemáticas.

Segundo IBM (2018), o deep learning leva o conceito de machine learning a um pouco mais longe. Deep learning é sobre aprender continuamente, isto é, a intenção do sistema é aprender com o mundo real e ajustar o modelo de aprendizado à medida que recebe novas informações e criar novas ideias.

Deep learning geralmente é realizado com redes neurais. Redes neurais são uma tentativa de imitar a estrutura e funcionamento do cérebro humano. Com novos dados alimentando uma rede neural, as conexões entre nós são estabelecidas, fortalecidas ou diminuídas de maneira semelhante às conexões entre neurônios no cérebro humano. Além disso, cada conexão em uma rede neural pode ser sintonizada, atribuindo maior ou menor importância a um atributo, para alcançar a qualidade da saída.

De forma simplificada, a figura 5 a seguir mostra como os algoritmos da aprendizagem profunda podem distinguir o conteúdo de uma imagem, como bem como onde os elementos da imagem estão em relação uns aos outros, analisando dados de pixel.

Esse é o tipo de sistema que é mais útil em enfrentar os desafios de dados do mundo real, e é por isso que sistemas de aprendizagem são aqueles direcionados para conjuntos de dados extremamente grandes e de movimentação rápida, normalmente encontrados em plataformas de mídia social e em veículos autônomos.

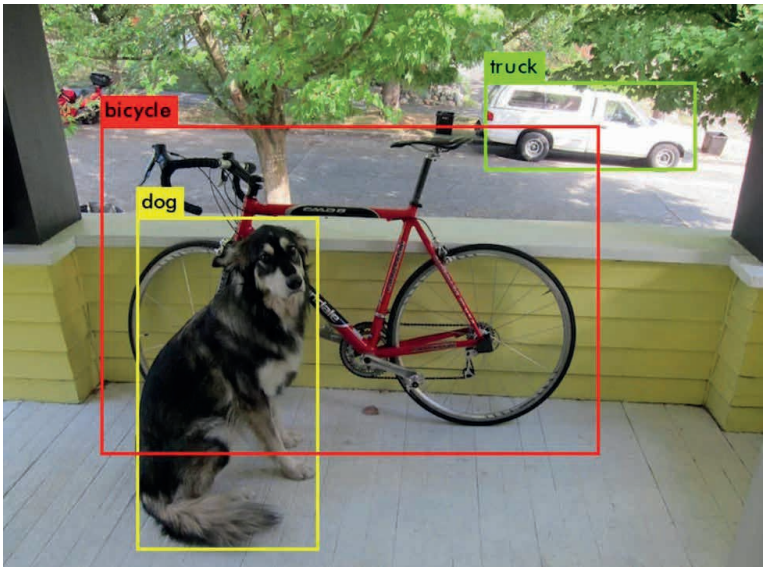


Figura 5 Classificação de Objeto

fonte : dobitaobyte 2019

A técnica do deep learning está avançando rapidamente devido ao grande volume de dados que são gerados todo dia, esses dados estão duplicando a cada ano, esse avanço também está relacionado a grande melhoria das máquinas que são utilizadas para a análise dessa técnica, onde houve um aumento de desempenho de hardware, facilitando a coleta de informações e de forma mais eficaz, essa técnica é muito utilizada, pois ela é flexível no uso dos dados, realizando assim a melhor combinação deles, gerando o resultado mais eficaz, os dados de forma isolada são apenas dados, porém quando esses dados são analisados e aplicados uma técnica, eles geram informações e as informações são importantes para tomadas de decisão. (DATA SCIENCE ACADEMY, 2019)

De acordo com Russell e Norvig (2004), os modelos tradicionais de machine learning sempre foram muito poderosos para lidar com dados estruturados e têm sido amplamente utilizados pelas empresas para classificação de crédito, previsão de rotatividade, segmentação por consumidor e assim por diante. O sucesso desses modelos depende muito do desempenho da fase de engenharia de recursos: quanto mais trabalhamos perto do negócio para extrair conhecimento relevante dos dados estruturados, mais poderoso será o modelo.

Quando se trata de dados não estruturados (imagens, texto, voz, vídeos), os

recursos de engenharia manual são demorados, frágeis e não escalonáveis na prática. É por isso que as redes neurais se tornam cada vez mais populares, graças à sua capacidade de descobrir automaticamente as representações necessárias para a detecção ou classificação de recursos a partir de dados brutos. Isso substitui a engenharia de recursos manual e permite que uma máquina aprenda os recursos e os use para executar uma tarefa específica (MIT 6.S191, 2020) A base do deep learning, são as redes neurais, em particular a rede neural convolucional(CNN), destaca-se no reconhecimento de padrões e é a principal tecnologia para carros autônomos, reconhecimento facial, transcrição de fala entre outras aplicações.

REDES NEURAIS

Conforme Braga, Carvalho, Ludermir (2000) as Redes Neurais Artificiais – RNAs tentam reproduzir as funções das redes biológicas, buscando implementar seu comportamento básico e sua dinâmica

Haykin (2001) descreve o sistema nervoso humano como um sistema de três estágios, receptores, redes neurais e atuadores. Neste sistema o cérebro, representado pela rede neural, figura como componente central, tendo como função, a análise dos impulsos elétricos convertidos pelos receptores a partir de estímulos do corpo humano e o envio dessa informação aos atuadores que a converteram em respostas discerníveis ao sistema.

Coppin (2017) afirma que “o cérebro humano possui mais de dez bilhões de neurônios, cada qual conectado, em média, a milhares de outros neurônios”, Cada um destes neurônios processa e se comunica com milhares de outros continuamente e em paralelo, complementa Braga, Carvalho, Ludermir (2000).

> Segundo Lippmann(1997) as Redes Neurais Artificiais são sistemas físicos que podem adquirir, armazenar e utilizar conhecimentos experimentais, que podem alcançar uma boa performance, devido a sua intensa interconexão entre os nós da rede. Elas também são conhecidas por modelos conexionistas, modelos de processamento paralelo distribuído e sistemas neurofisiológicos.

O neurônio é constituído por 3 partes principais: a soma ou corpo celular, do qual emanam algumas ramificações denominadas de dendritos, e por uma outra ramificação descendente da soma, porém mais extensa, chamada de axônio. Nas extremidades dos axônios estão os nervos terminais.

RN BIOLÓGICAS

Os neurônios são divididos em três seções: o corpo da célula, os dendritos e o axônio, cada um com funções específicas, porém complementares. (BRAGA; CARVALHO; LUDERMIR, 2000)

Os dendritos têm por função receber as informações, ou impulsos nervosos, oriundas de outros neurônios e conduzidas até o corpo celular. Aqui a informação é processada, e novos impulsos são gerados. Estes impulsos são transmitidos a outros neurônios, passando através do axônio até os dendritos dos seguintes neurônios. O ponto de contato entre a terminação de um axônica de um de um neurônio e o dendrito de outro é chamado de sinapse. É pelas sinapses que os nodos se unem funcionalmente, formando redes neurais. As sinapses funcionam como válvulas e são capazes de controlar a transmissão de impulsos, isto é, o fluxo da informação entre os nodos na rede neural.

Figura 6 Componentes Biológicos

Fonte: https://adrielcabral.medium.com

Na figura 6 apresenta um exemplo dos componentes de um neurônio biológico, onde foi a base para desenvolvimento do neurônio artificial. Os pulsos chegam nos dendritos, esses pulsos são processados pelo corpo celular ou núcleo e são passados para o axônio até chegar nas suas terminações e passando para outros neurônios.

Cada parte do cérebro tem uma função determinada e uma arquitetura diferente, variando quantidade de neurônios, sinapses e pesos podendo ser pela criação dos pensamentos, processamento de imagens, áudios, desejos entre outros, esses pensamentos são devidos às redes interligadas da qual realizam um processamento paralelo. Cada peso possui um valor e esse valor é dado através dos treinamentos a chamada memorização (DATA SCIENCE ACADEMY, 2019).

A Data Science Academy (2019) informa que o ponto de contato entre a terminação axônica de um neurônio e o dendrito de outro é chamado sinapse. É pelas sinapses que os neurônios se unem funcionalmente, formando as redes neurais. As sinapses funcionam como válvulas, sendo capazes de controlar a transmissão de impulsos, isto é, o fluxo da informação entre os neurônios na rede neural. O efeito das sinapses é variável e é esta variação que dá ao neurônio capacidade de adaptação. Um neurônio recebe sinais através de inúmeros dendritos, os quais são ponderados e enviados para o axônio, podendo ou não seguir adiante (threshold). Na passagem por um neurônio, um sinal pode ser amplificado ou atenuado, dependendo do dendrito de origem, pois a cada condutor, está associado um

peso pelo qual o sinal é multiplicado. Os pesos são o que chamamos de memória (DATA SCIENCE ACADEMY, 2019).

RN ARTIFICIAIS

Em 1943 McCulloch e Pitts propõem um modelo simplificado do funcionamento de um neurônio, conforme Braga, Carvalho e Ludermir (2000):

> Sua descrição matemática resultou em um modelo com n terminais de entrada x1, x2, ..., xn(que representam os dendritos) e apenas um terminal de saída y (representando o axônio). Para emular o comportamento das sinapses, os terminais de entrada do neurônio têm pesos acoplados w1, w2, ….,wn cujos valores podem ser positivos ou negativos, dependendo de as sinapses correspondentes serem inibitórias ou excitatórias. O efeito de uma sinapse particular no neurônio pós-sináptico é dado por x1w1. Os pesos determinam em que "grau" o neurônio deve considerar sinais de disparo que ocorrem naquela conexão.

Uma descrição do modelo está ilustrada na figura abaixo:

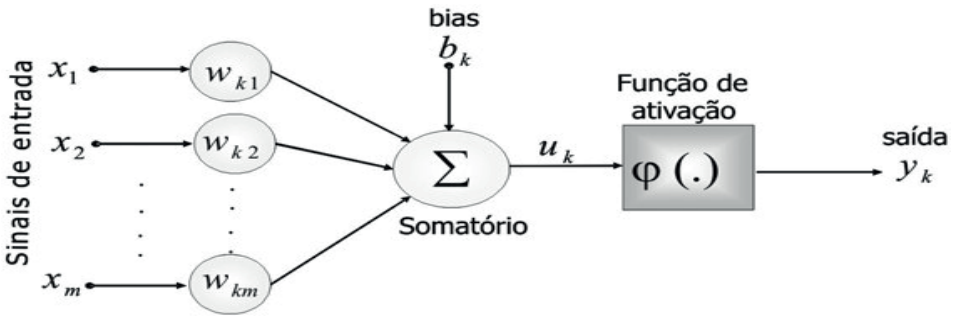


Figura 7 : Neurônios Artificiais

Fonte : ResearchGate (by Mauricio Roberto Veronez 2009)

As redes neurais geralmente são constituídas através de camadas, que podem ser conectadas em outras camadas (FERNANDES, 2003).

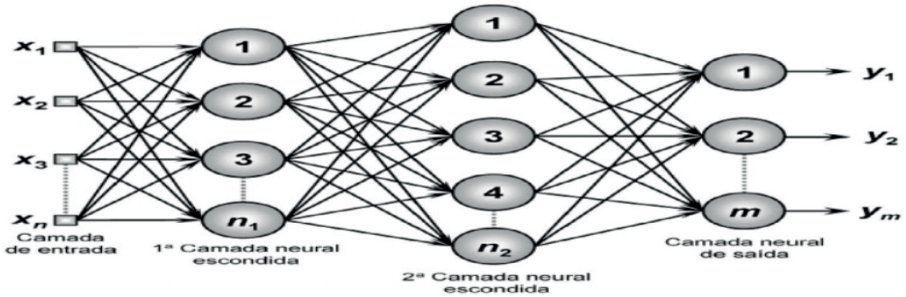


Figura 8- Camadas de uma Rede Neural Artificial (RNA)

Fonte : O embarcados (Redes Neurais Artificiais para engenharia e ciências aplicadas)

Fernandes (2003) afirma que cada camada da rede neural artificial possui uma função específica, as camadas de entrada descrevem os padrões que serão encaminhados para os outros neurônios, a camada intermediária irá extrair as características dos padrões, nessa camada é onde ocorre a maior parte do processamento da rede e por último a camada de saída que irá mostrar o resultado final a partir das camadas anteriores, baseando-se nos padrões de entradas e os pesos atribuídos para cada neurônio.

Segundo Hackley(2001) a aprendizagem ocorre quando a rede neural responde de uma maneira nova ao ambiente no qual está inserida através de um processo de ajustes de parâmetros aplicados a seus pesos sinápticos. O processo de aprendizagem é gradativo e seu desempenho melhora com o conhecimento adquirido do ambiente em que está inserido.

Denomina-se algoritmo de aprendizado a um conjunto de regras bem definidas para solução de um problema de aprendizagem, existem duas maneiras básicas de aprendizagem de uma RNA, o aprendizado supervisionado e não-supervisionado (FERNANDES, 2003).

Segundo (BRAGA; CARVALHO; LUDERMIR, 2000) no aprendizado supervisionado o processo de treinamento é direcionado por um agente externo. Já no aprendizado não supervisionado não há um supervisor acompanhando o processo de treinamento.

Baseando-se em um neurônio biológico que geram a Inteligência humana, foi criado o neurônio matemático para simular essa inteligência, esse neurônio matemático é a base da Inteligência artificial, da qual realizam vários cálculos, se baseando nas entradas de informações através dos canais de comunicação, a partir desses dados são gerados um resultado através das funções aplicadas sobre os dados recebidos e encaminhando esse resultado para o próximo neurônio (DATA SCIENCE ACADEMY, 2019).

> De acordo com a Data Science Academy (2019) a soma ou corpo da célula é representado por uma composição de dois módulos, o primeiro é uma junção aditiva, somatório dos estímulos (sinais de entrada) multiplicado pelo seu fator excitatório (pesos sinápticos), e posteriormente uma função de ativação, que definirá com base nas entradas e pesos sinápticos, qual será a saída do neurônio. Assim como no modelo biológico, o estímulo pode ser excitatório ou inibitório, representado pelo peso sináptico positivo ou negativo respectivamente.
>
> O neurônio matemático é um modelo simplificado do neurônio biológico. Tais modelos foram inspirados a partir da análise da geração e propagação de impulsos elétricos pela membrana celular dos neurônios. O neurônio matemático recebe um ou mais sinais de entrada e devolve um único sinal de saída, que pode ser distribuído como sinal de saída da rede, ou como sinal de entrada para um ou vários outros neurônios da camada posterior (que formam a rede neural artificial).

RN CONVOLUCIONAIS

- Inspiradas no modelo biológico da visão

- Conceito de Deep Learning (Multi-Camadas)
- Idealizada no início do anos 90 [Lecun], e vasta aplicação após 2006 devido a "popularização" de GPUs (Custo ~$ 3000,00)
- Treinamento requer alto custo computacional e numerosa base de dados

As Redes Neurais Convolucionais são usadas para diversas finalidades, entre elas a classificação de imagens, podendo associá-las por semelhança entre elas. Essas redes artificiais são profundas, são algoritmos que identificam diversos padrões, como placas e faces por exemplo. Esse tipo de rede é muito voltado para o reconhecimento de imagens, onde está surgindo muitos avanços no quesito de visão computacional, podendo ser utilizada em diversos problemas, como na área da segurança em reconhecimento de faces, diagnósticos médicos e carros autônomos por exemplo, a rede convolucional obtém a imagem com extratos separados de cores, entre elas são o vermelho, verde e azul e com largura e altura que são medidos pela quantidade de pixels, onde a profundidade é de três camadas, uma de cada cor, essas camadas também são chamadas como canais.

Em uma CNN são realizadas várias operações matemáticas, onde ocorrem os filtros, nesses filtros se obtém as informações da imagem e no final como saída, terá uma probabilidade para identificar se a imagem pode ser um animal, pessoa ou objeto por exemplo Cada parte da CNN possui funções distintas, cada filtro em uma área dos pixels é gerado um peso para o que foi analisado (DATA SCIENCE ACADEMY, 2019).

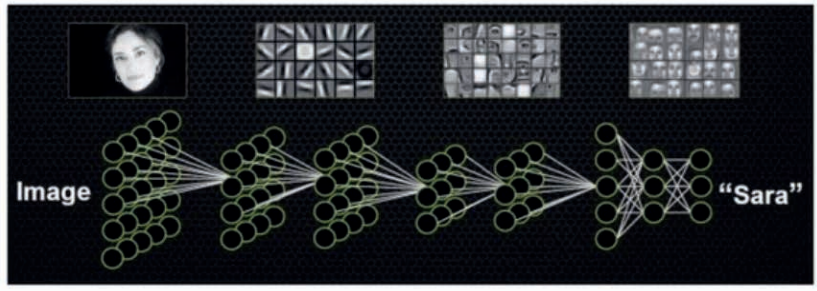


Figura 9 - Funcionamento do reconhecimento facial

Fonte: Fonte: www.datascienceacademy.com.br

A combinação das entradas de um neurônio utilizamos pesos respectivos de cada uma de suas conexões, produz uma saída, que é passada para a camada seguinte, os pesos atribuídos às conexões de um neurônio podem ser interpretados como uma matriz que representa um filtro de uma convolução de imagens de um domínio espacial, o que também conhecido como kernel ou máscara. Enquanto a formulação clássica de perceptrons, um neurônio é conectado a todos os neurônios da camada anterior, as CNNs apenas um subconjunto de entradas é conectado a cada neurônio, com essa mudança de arquitetura as redes neurais convolucionais passam a realizar a análise de campos receptivos locais.

Os neurônios da mesma camada,são agrupados em mapas, um mapa é produzido pelo agrupamento das saídas de neurônios e juntos cobrem uma parte da imagem que tenha sido processada com filtro em comum (DATA SCIENCE ACADEMY, 2019).

A imagem é transformada em uma matriz numérica, essa matriz é encaminhada para várias camadas, onde são aplicadas primeiro a convolução, coletando assim detalhes da rede, onde irá gerar uma saída, essa saída é passada para a camada posterior que geralmente é a camada de pooling onde é realizado o ajuntamento, esse processo é realizado em várias camadas e no final na terceira transformação essas saídas são passadas para um classificador que é um machine learning da qual irá dar a probabilidade do que é a imagem que foi analisada, rede neural é treinada para aprender pesos e bias, dessa forma para que um mapa aplique o mesmo filtro em diversas partes da matriz é realizado um compartilhamento desses pesos durante esse processo de treinamento, isso ajuda a diminuir o tempo de treinamento da rede (DATA SCIENCE ACADEMY, 2019).

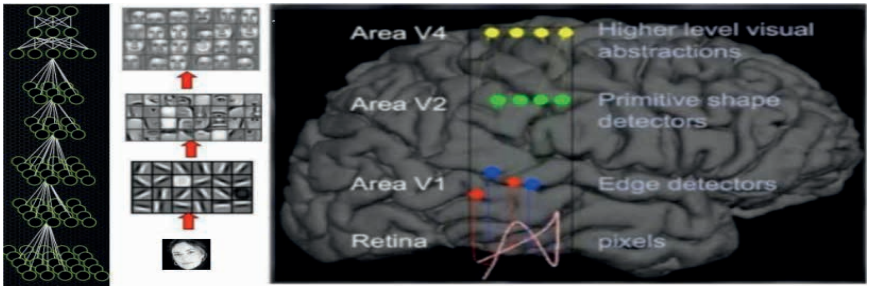


Figura 10 Rede neurais convolucionais

Fonte: (inforQ by Poliana Reis Ufpr 2021)

A redes Neurais convolucionais no seu processo existem duas etapas, a extração de características pelas camadas convolucionais e a Classificação

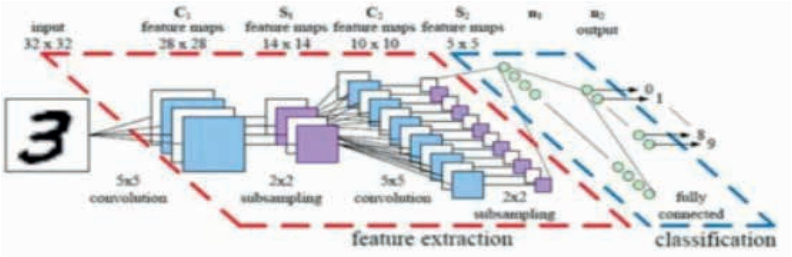


Figura 11 : Etapas da redes neurais convolucionais

Fonte: (infoQ por Poliana Reis Ufpr 2021).

MÉTODO

O presente trabalho é uma pesquisa de finalidade básica pura, com objetivos

descritivos, com abordagem qualitativa e executada por meio de levantamento bibliográfico. Inicialmente, buscou-se a base teórica sobre reconhecimento facial, com a realização de fichamentos de obras doutrinárias e trabalhos acadêmicos mais atuais. Posteriormente, foi realizado um estudo teórico, no que se refere ao uso de machine learning que é um subcampo da Inteligência Artificial.

Depois, vislumbra-se um texto dissertativo, em que as informações serão confrontadas, a fim de que seja viabilizado uma análise na biblioteca OpenCV com foco em reconhecimento de padrões faciais e consequentemente uma resposta ao objetivo de avaliar o algoritmo apresentado nessa biblioteca e o índice de assertividade e confiança.

CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

De fato, o estudo foi realizado para produzir mais do que conhecimento meramente teórico, porém não esteve presente a ambição de desenvolver uma aplicação que resolvesse definitivamente a situação do problema.

Conforme ensina Gil (2010, p. 26), “pesquisas que procuram desenvolver os conhecimentos científicos sem a preocupação direta com suas aplicações e consequências práticas” são classificadas como puras.

Nesse sentido, o presente trabalho visa apresentar uma contribuição para a ciência, proporcionar um aumento do conhecimento por meio de uma pesquisa detalhada em bibliografia específica, caracterizando-se, portanto, como uma pesquisa pura.

Quanto ao objetivo, percebe-se que foi realizado um levantamento bibliográfico, a fim de descrever o conhecimento mais atual já catalogado pela ciência sobre reconhecimento de padrões faciais, que é o assunto principal da pesquisa.

Nesse sentido, pode-se afirmar que a pesquisa se enquadra na caracterização apresentada por Duarte e Furtado (2014, p. 26), quando sustentam que “a pesquisa descritiva restringe-se a constatar o que já existe’’. Os acontecimentos são narrados. Procura-se conhecer a natureza, as características, a composição e os processos que constituem o fenômeno”. Por esse motivo, a pesquisa apresentada tem cunho estritamente descritivo.

Silva (2005, p. 86) explica que “a pesquisa qualitativa não apresenta, necessariamente, linguagem matemática ou estatística. Ela utiliza a análise e interpretação da análise estudada, muitas vezes sem fazer uso de amostragem, tabelas e gráficos”.

ETAPAS METODOLÓGICAS

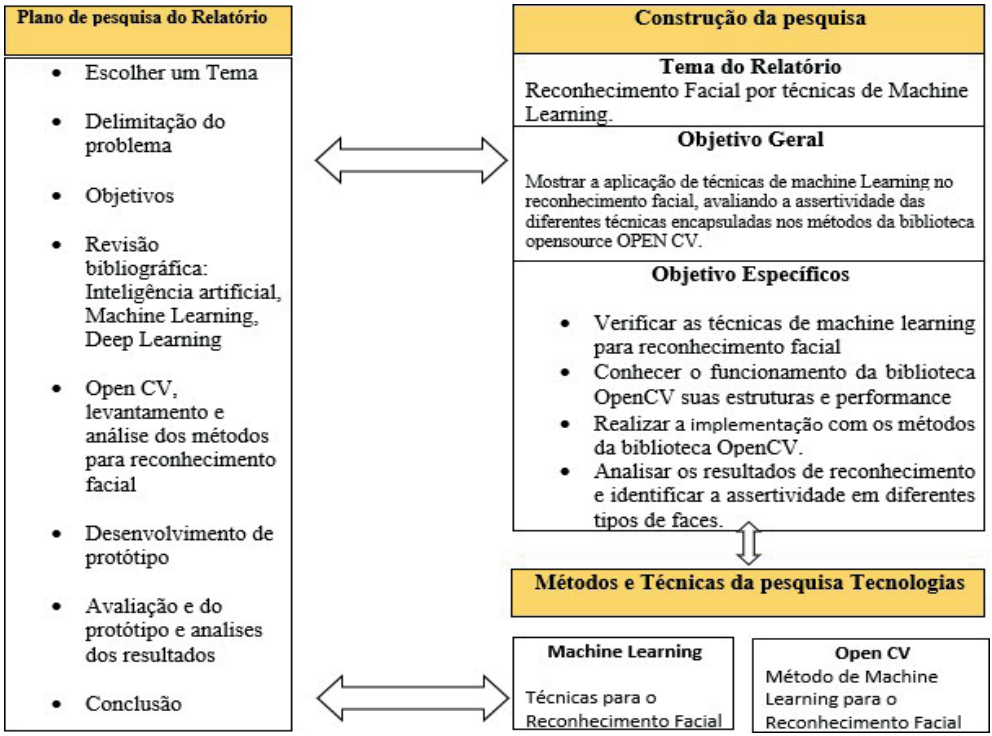


Tabela 01

PROPOSTA DA SOLUÇÃO

A proposta da solução do Relatório é a utilização de uma câmera webcam para captação de face em diferentes ângulos e iluminação, onde essas faces detectadas serão analisadas com o banco de dados para verificar a porcentagem de assertividade e confiança, descobrindo os pontos fortes e fracos dessa implementação da qual será utilizada a biblioteca open source chamada OpenCV.

DELIMITAÇÕES

Esse Relatório delimitou-se a análise de detecção de faces de apenas um software na área de reconhecimento de padrões atualmente e de distribuição gratuita.

DESENVOLVIMENTO

O OpenCV é uma biblioteca de software de visão computacional e machine learning de código aberto. O OpenCV foi desenvolvido para fornecer uma infraestrutura comum para aplicativos de visão computacional e acelerar o uso da percepção da máquina nos

produtos comerciais. Sendo um produto licenciado pela BSD, o OpenCV facilita para as empresas a utilização e modificação do código. O OpenCV é a maior biblioteca do mundo na área de visão computacional, ele possui código aberto, facilitando assim na utilização e alteração do seu código, possuindo uma infraestrutura comum para o desenvolvimento de aplicativos na área da visão computacional e é gratuito para uso comercial (EQUIPE OPENCV, 2020).

O lançamento do OpenCV (Open Source Computer Vision Library) foi em 1999, onde até hoje tem sido utilizado em aplicativos de análise de objetos, sistemas de monitoramento, de inspeção, reconhecimento de padrões entre outras finalizadas (BRADSKI; KAEBLER, 2008).

De acordo com Bradski e Kaebler (2008) o OpenCV fornece as ferramentas necessárias para resolução de problemas na área de visão computacional, tanto para problemas mais simples quanto complexos também.

Essa biblioteca possui tanto algoritmos básicos quanto avançados na área de machine learning, usado para diversas finalidades, como a detecção e reconhecimento de faces, rastreamento de movimento em câmeras, classificação de ações humanas, entre outros. Essa biblioteca é muito utilizada em áreas, como universidades, pelos governos e empresas (EQUIPE OPENCV, 2020), De acordo com a Equipe Opencv (2020) o OpenCV "possui interfaces C ++, Python, Java e MATLAB e suporta Windows, Linux, Android e Mac OS".

No OpenCV é possível encontrar a documentação, tutoriais, fóruns para auxílio no desenvolvimento, retirando dúvidas sobre implementações, o próprio GitHub para compartilhamento de códigos e também possuem cursos. Sendo assim é possível encontrar no próprio site do OpenCV materiais para iniciar a implementação na área de visão computacional (EQUIPE OPENCV, 2020).

O OpenCV iniciou com a ajuda de grupos de desempenho de software em um laboratório da Intel e foi implementado e otimizado na Rússia onde Vadim Pisarevsky foi quem codificou grande parte do OpenCV, ele era chefe da equipe Rússia onde teve ajuda também de Victor Eruhimov na parte da infraestrutura inicial e Valey Kuriakin que auxiliou dentro do laboratório russo. (BRADSKI; KAEBLER, 2008).

De acordo com Bradski e Kaebler (2008) o OpenCV tinha muitas finalidades para o seu desenvolvimento, dentre eles.

- Avanço na pesquisa de visão, fornecendo código não apenas aberto, mas também otimizado para a infraestrutura de visão traseira. Não há mais reinvenção da roda.
- Disseminar o conhecimento da visão, fornecendo uma infra-estrutura comum em que os desenvolvedores possam construir, para que o código seja mais facilmente legível e transferível.
- Avanço na aplicação comercial baseada em visão, disponibilizando gratuitamente código portátil e otimizado para desempenho - com uma

licença que não exigia que a aplicação comercial fosse aberta ou livre.

ESTRUTURA DO OPENCV

O OpenCV possui em sua estrutura diversos módulos podendo esses serem estáticos ou compartilhados (EQUIPE OPENCV, 2020), De acordo com a Equipe Opencv (2020) os principais módulos do Open CV são:

- Módulo de estruturas básicas de dados.
- Processamento de imagem, realiza o processamento das imagens separando as imagens lineares e não lineares • Análise de vídeo que inclui algoritmos para rastrear objetos.
- Calibração de câmera e reconstrução 3D, é um módulo que possui algoritmos de geometria e de reconstrução 3D.
- Detecção de objeto, detecta diversos objetos, como por exemplo pessoas e veículos • Gui de alto nível, utilizado para interfaces do usuário
- Entrada e saída de vídeo, possui codecs de vídeo e é responsável pela captura do vídeo
- Módulo de rede neural profunda (DNN) é um módulo processador de imagem que utiliza algoritmos de deep learning.
- ML - é a biblioteca de machine learning

Aplicações DNN muitas vezes exigem quantidades significativas de treinamento em grandes clusters para determinar os pesos associados com os nós ou neurônios dentro de uma rede neural. O lado positivo é que a rede resultante pode ser implementada em hardware muito mais simples (DEEP...)

PROTÓTIPO DESENVOLVIDO

Para fins de avaliação do desempenho entre as bibliotecas OpenCV Eigenface, Fisherface e LBPH foi necessário o desenvolvimento de um protótipo de software com a capacidade de identificar faces utilizando representações globais da imagem facial

O algoritmo foi implementado com a linguagem de programação Python em conjunto com as bibliotecas OpenCV

A técnica de reconhecimento facial que o software utiliza é o método de correspondência holística, conforme caracterização proposta por (Zhao, et al., 2006), onde através da análise de componentes principais (PCA) e técnicas de machine learning, as imagens capturadas serão comparadas com as imagens contidas no banco de dados do software.

Ferramentas utilizadas

Para o desenvolvimento do software foram utilizadas as seguintes ferramentas:

a) PyCharm Community Edition versão 2019.3 Desenvolvida pela empresa JetBrains a ide PyCharm proporciona maior produtividade nos projetos em linguagem de programação Python. Além da edição gratuita Community, a empresa também disponibiliza a edição completa Profissional com suporte para HTML, JS e SQL

b) Webcam com resolução imagem estática 0,92 megapixel, integrada ao notebook DELL Inspiron modelo 5458

Linguagem utilizada

Quanto a linguagem, nesse protótipo de software foi utilizado a seguinte linguagem de programação:

a) Python

O Python é uma linguagem de programação orientada a objetos, multiplataforma, versátil e popular. Foi criado no início dos anos 90 por Guido Van Rossum no Centro de Matemática e Ciência da Computação da Holanda (CWI).

Algoritmos OpenCV

Os algoritmos que serão utilizados para extração das características faciais e já implementados na biblioteca OpenCV, serão os métodos Eigenface, Fisherface e LBPH (Local Binary Patterns Histograms).

a) Eigenface

O rosto humano possui partes que não são essenciais no processo de reconhecimento facial. Podemos reconhecer uma pessoa apenas por algumas características do rosto, como formato dos olhos, nariz, testa, etc

O Eigenface utiliza o mesmo princípio. O algoritmo analisa as imagens de treinamento das faces, mantém todas as características importantes e necessárias para o reconhecimento e descarta as demais. Este processo é conhecido como Análise de Componentes Principais (PCA).

Assim, no método Eigenface o algoritmo irá extrair as características principais do conjunto de imagens de treinamento e de acordo com a variação dos valores dos pixels irá gerar diversas eigenface, ou fotos “fantasmas”. A soma dessa variação de valores irá gerar uma face média. Com base na combinação linear dos componentes das diversas eigenfaces juntamente com a face média será possível a reconstrução da face original.

A figura abaixo representa as eigenfaces extraídas das faces de um banco de dados, assim como a face média que será a base para a reconstrução das diversas faces.

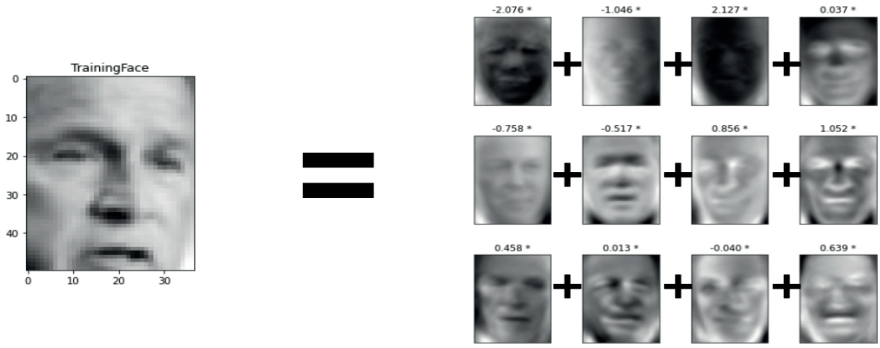


Figura 12- Face Média e eigenfaces

Fonte : Acervo lima (ALGORITMO PCA 2021)

O algoritmo Eigenface classifica as faces com base no cálculo das distâncias dos próximos pixels (KNN), da imagem original com as diversas eigenfaces. Faces detectadas com valor de distância fora do limite de confiança (threshold) serão consideradas desconhecidas

a) Fisherface

O PCA não é um método ideal para realizar a separação entre as classes das faces, pois considera a iluminação como fator importante no reconhecimento. Assim, faces de uma mesma pessoa que possuem alteração na iluminação, podem ser consideradas como a face de uma pessoa diferente. O Fisherface não captura variações de iluminação tão obviamente quanto o método Eigenfaces.

Diferentemente do Eigenface que utiliza o PCA, o Fisherface emprega o método LDA (Linear Discriminant Analysis) para o reconhecimento das faces.

A técnica utilizada no LDA foi desenvolvida pelo matemático R.A. Fisher na década de 1930 e visa encontrar uma combinação linear de recursos que separa duas ou mais classes. O objetivo é maximizar a proporção da matriz de dispersão entre classes e a matriz de dispersão dentro da classe.

b) LBPH

O algoritmo Histograma de Padrões Binários (LBPH) é amplamente utilizado no reconhecimento facial, devido a simplicidade e poder classificativo. Ele é baseado no Operador binário local (LBP) que rotula os pixels de uma imagem limitando a vizinhança de cada pixel e considera o resultado como um número binário.

O LBPH possui quatro parâmetros

- Radius: usado para construir um padrão binário circular local e representa o raio ao redor do pixel central
- Neighbors: o número de pontos de amostra para construir o padrão binário local circular

- Grid X: número de células na direção horizontal
- Grid Y: número de células na direção vertical

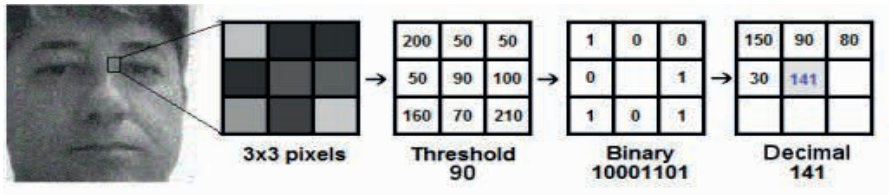


Figura 13 - Aplicação da operação LBP.

Fonte: TCC UNISUL(by JÉSSYCA LUIZ ROZAR 2020)

Usando o valor do pixel central como limite, ele compara um pixel com os 8 pixels mais próximos. Se o valor do vizinho for maior ou igual ao valor central, ele será definido como 1, caso contrário, será definido como 0. Assim, obtemos um total de 8 valores binários dos 8 vizinhos. Em seguida, o valor binário é convertido em um valor decimal e o definimos como o valor central da matriz, que na verdade é um pixel da imagem original.

No final deste procedimento, será obtida uma nova imagem que representa melhor as características da imagem original. A partir da imagem gerada na última etapa, podemos usar os parâmetros Grade X e Grade Y para dividir a imagem em várias grades e extrair os histogramas como pode ser visto na imagem a seguir:

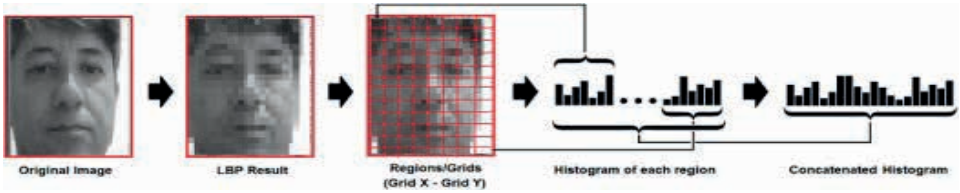


Figura 14 - Histogramas de Padrões Binários Locais

Fonte: TCC UNISUL(by JÉSSYCA LUIZ ROZAR 2020)

Após a criação do histograma para cada região, todos os histogramas são mesclados para formar um único histograma. O resultado é então concatenado em um vetor que será utilizado pelo classificador na detecção de faces.

Códigos no OpenCV

```
import cv2

xml_haar_cascade = 'haarcascade_frontalface_alt2.xml'

#classificador de faces

faceClassifier = cv2.CascadeClassifier(xml_haar_cascade)

#inician a camera

capture =cv2.VideoCapture(0)

#Definimos tamanho da imagem

capture.set(cv2.CAP_PROP_FRAME_WIDTH, 620)

capture.set(cv2.CAP_PROP_FRAME_HEIGHT, 340)

while not cv2.waitKey(20) & 0xFF == ord('q'):

    ret, frame_color = capture.read()

    gray = cv2.cvtColor(frame_color, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

    faces = faceClassifier.detectMultiScale(gray)

    for x, y, w, h in faces:

     cv2.rectangle(frame_color, (x, y), (x + w, y + h),(0,0,255), 2 )

    cv2.imshow('color', frame_color)

    cv2.imshow('gray', gray)
```

Resultado dos códigos apresentados em teste

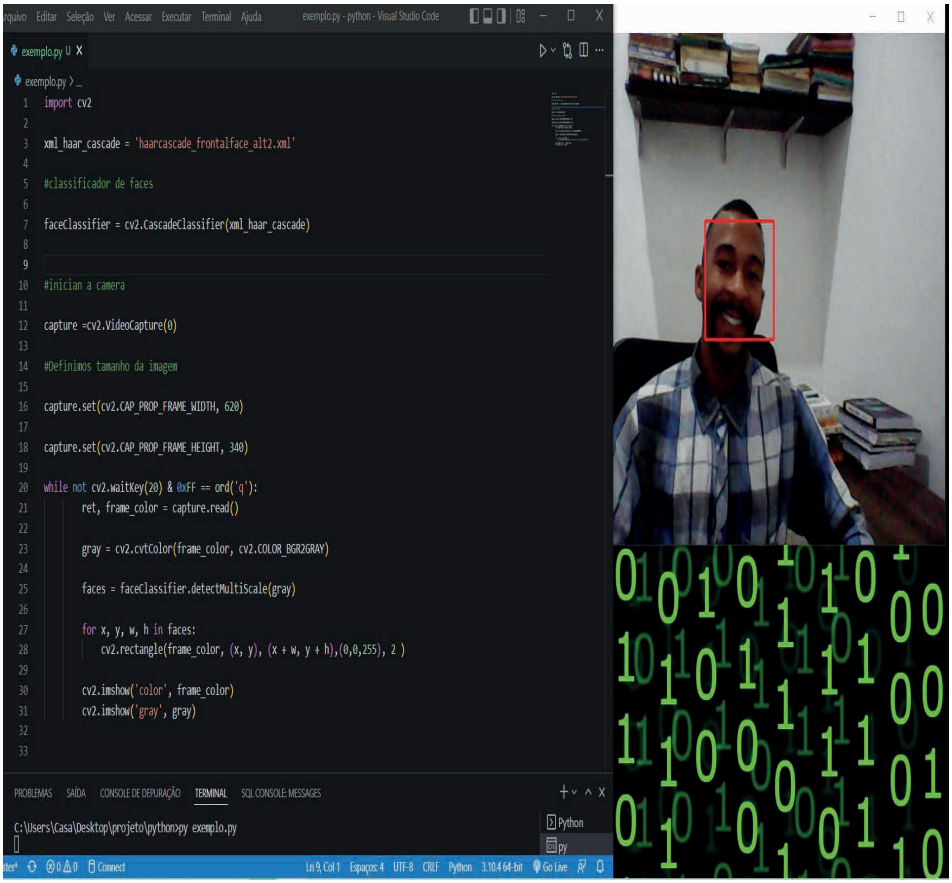


Figura 15

VALIDAÇÃO DO PROTÓTIPO

Para fins de análise de desempenhos dos algoritmos Eigenfaces, Fisherfaces e LBPH foram utilizados o banco de imagens do pacote Yale Face, amplamente difundido na internet, como mostrado na figura abaixo:

Figura 16 : Pacote de face Yale

Fonte: TCC UNISUL(by JÉSSYCA LUIZ ROZAR 2020)

Foram utilizadas para treinamento 135 imagens, sendo 9 imagens de cada indivíduo, totalizando 15 pessoas. Na fase de treinamento foram utilizados os parâmetros PCA, Threshold, Radius, Grid X e Grid Y. Para obtenção de uma melhor acurácia nos resultados, foram alterados os valores para maior quanto para menor do valor padrão dos parâmetros.

Eigenfaces

A tabela abaixo mostra os resultados obtidos nos testes com o algoritmo Eigenfaces. A primeira coluna representa a porcentagem dos acertos obtidos nos testes, representada pela média aritmética simples do número de acertos com o somatório do número das faces. A segunda coluna representa o valor da confiança, representada basicamente pelo valor da distância para encontrar a face mais semelhante no conjunto de dados, ou seja, quanto menor o valor da distância maior é o nível de certeza que o algoritmo possui sobre o reconhecimento. Por fim, na terceira coluna temos os valores dos parâmetros utilizados.

Eigenfaces		
Acertos %	Confiança	Parâmetros
70.0	6860.46	Padrão
50.0	3611.65	40, 8000
60.0	4549.91	45, 9000
63.33	4826.14	45, 10000
66.66	5197.90	45, 20000
66.66	5197.90	45, 50000
56.66	3719.85	30, 8000
40.0	3996.87	134, 8000
33.33	3314.64	134, 7000
33.33	3314.64	134, 6000
6.66	1470.06	134, 2000
70.00	6860.46	134, 100000
70.00	6860.46	134, 200000
70.0	6860.46	140, 100000
70.0	6860.46	150, 100000
40.00	3996.87	150, 8000
70.0	6452.80	100, 100000

Fonte: TCC UNISUL(by JÉSSYCA LUIZ ROZAR 2020)

Conforme tabela acima, nos testes com o algoritmo Eigenfaces o melhor resultado de acertos obtidos foi 70%, com valores dos parâmetros: números de PCA variando entre 134 a 150 e Threshold 100.000.

Fisherfaces

Nos testes com o algoritmo Fisherfaces, o melhor resultado de acertos obtidos foi 96.66%, com valores dos parâmetros: números de PCA 13 e Threshold 8.000.

Fisherfaces		
Acertos	Confiança	Parâmetros
86.66	2259.16	Padrão
56.66	403.91	3, 2000
70.0	655.68	4, 2000
40.0	847.47	15, 2000
86.66	2259.16	15, 8000
86.66	2259.16	15, 7000
86.66	2259.16	15, 6000
93.33	2148.95	14, 8000
93.33	2148.95	14, 9000
93.33	2148.95	14, 10000
93.33	2148.95	14, 50000
96.66	1973.94	13, 8000
96.66	1894.92	12, 8000
96,66	1810.18	11, 8000
93.33	1645.19	10 , 8000
93.33	1645.19	10, 7000
93.33	1645.19	10, 6000

Fonte: TCC UNISUL(by JÉSSYCA LUIZ ROZAR 2020)

LBPH

Nos testes com o algoritmo LBPH, o melhor resultado de acertos obtidos foi 60%, com valores dos parâmetros: Radius 1, Neighbors 8, Grad X 8, Grad Y 8 e Threshold 50

LBPH		
Acertos %	Confiança	Parâmetros
60.0	11.61	Padrão
60.0	1.25	2, 2, 7, 7, 50
60.0	3.15	3, 3, 7, 7, 50
60.0	11.61	1, 8, 8, 8, 50
60.0	11.61	1, 8, 8, 8, 40
60.0	7.53	1, 8, 7, 7, 50
60.0	4.53	1, 8, 6, 6, 50
60.0	15.71	2, 8, 8, 8, 50
56.66	17.32	3, 8, 8, 8, 50
56.66	18.98	4, 8, 8, 8, 50
56.66	20.78	5, 8, 8, 8, 50
29.99	40.0	50, 8, 8, 8, 50
26.66	30.08	100, 8, 8, 8, 50
60.0	13.84	1, 10, 8, 8, 50
60.0	13.84	1, 10, 8, 8, 54
cv::OutOfMemoryError		1, 20, 8, 8, 50
60.0	20.33	1, 14, 8, 8, 50

Figura/tabela x: - Resultados do teste do algoritmo Eigenface

Fonte: TCC UNISUL(by JÉSSYCA LUIZ ROZAR 2020)

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Finalmente diante dos resultados obtidos podemos considerar que o algoritmo com melhor desempenho no reconhecimento das faces foi o Fisherfaces com valor de 96.6% de acertos. Porém, apesar de ter obtido um valor menor que o Fisherfaces no número de acertos, o LBPH com 60% de acertos saiu-se melhor no item confiança. O algoritmo Eigenfaces com valor 70% de assertividade obteve o pior resultado dos três algoritmos no item confiança. Assim, cabe ao usuário avaliar o grau de importância desejada e optar entre um algoritmo com maior assertividade ou maior confiança.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No início do trabalho, um dos grandes objetivos era apresentar a relevância do uso das técnicas de Machine Learning, Deep Learning e Inteligência Artificial aplicadas ao reconhecimento facial. Constata-se, após a realização da pesquisa, que o uso destas novas tecnologias têm proporcionado grandes avanços na área de reconhecimentos de padrões.

Estabeleceu-se também como objetivo, avaliar o grau de acurácia dos algoritmos Eigenface, Fisherface e LBPH da biblioteca OpenCV.

Percebe-se que todos os objetivos foram atingidos pois para tais fins, o presente trabalho apresentou um rico estudo bibliográfico, assim como, o desenvolvimento de um protótipo de software com a capacidade de identificar faces a partir de banco de imagens

do pacote Yale Face A partir da análise dos resultados obtidos através do protótipo, foi possível comparar os algoritmos e constatar que o algoritmo Fisherfaces obteve maior assertividade no reconhecimento das faces, porém com menor taxa de confiança que o LBPH.

Diante da metodologia definida, ou seja, uma pesquisa com abordagem qualitativa e executada por meio de levantamento bibliográfico, nos deparamos com a dificuldade em encontrar publicações literárias relacionadas ao tema em língua portuguesa. O tempo também foi um grande limitador para o aprofundamento dos trabalhos de pesquisa e desenvolvimento do projeto de software, visto que, as tecnologias abordadas envolvem assuntos complexos e inovadores.

REFERÊNCIAS

BRADSKI, Gary; KAEBLER, Adrian. **Aprendendo OpenCV**: visão de computador com a biblioteca opencv. Visão de computador Com a biblioteca openCV. 2008. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=seAgiOfu2EIC&pg=PA16&dq=openCV&hl=ptBR&sa= X&ved=0ahUKEwiEvM6J2_ToAhVBIrkGHbKVDAAQ6AEIKzAA#v=onepage&q=o penCV&f=false. Acesso em: 19 abr. 2020.

BRAGA, Antônio de Pádua; LUDERMIR, Teresa Bernarda; CARVALHO, André Carlos Ponce de Leon. Redes Neurais Artificiais: Teoria e aplicações. Rio de Janeiro: Ltc, 2000. COPPIN, Ben**. Inteligência Artificial.** Rio de Janeiro: Ltc, 2013. DATA SCIENCE CADEMY (Org.). **Introdução à Ciência de Dados 2.0.** Disponível em:https://www.datascienceacademy.com.br/ . Acesso em: 01 nov. 2019.

DATA SCIENCE CADEMY (Org.). **Python Fundamentos para Análise de Dados.** Disponível em:https://www.datascienceacademy.com.br/ . Acesso em: 20 out. 2019.

DEEP Learning Book. Disponível em: https://www.deeplearningbook.com.br/o-que-sao-redes-neurais-artificiais-profundas/ . Acesso em: 03 set. 2019.

DEEP LEARNING BOOK (Org.). **Campos Receptivos Locais em Redes Neurais Convolucionais.** Disponível em: https://www.deeplearningbook.com.br/campos-receptivos-locais-em-redes-neurais-convoluciona is/. Acesso em: 17 nov. 2019.

Convolucionais. Disponível em: <http://deeplearningbook.com.br/campos-receptivos-locaisem-redes-neurais-convolucionais/>. Acesso em: 17 nov. 2019.

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO UNIVERSIDADE DE STANFORD (Stanford). **Redes neurais convolucionais para reconhecimento visual.** 2020. Disponível em: http://cs231n.github.io/neural-networks-1/. Acesso em: 24 maio 2020.

EQUIPE OPENCV (org.). **OpenCV**. Disponível em: https://opencv.org/. Acesso em: 18 abr. 2020.

EQUIPE OPENCV. OpenCV: Visão computacional de código aberto. 2020. Disponível em: https://docs.opencv.org/4.3.0/d1/dfb/intro.html. Acesso em: 20 maio 2020.

FACELI, Katti et al. **Inteligência Artificial:** Uma Abordagem de Aprendizado de Máquina. Rio de Janeiro: Ltc, 2011.

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2010.
GOODFIRMS (Org.). **As 8 melhores soluções de software de detecção de rosto de código aberto e gratuito.** Sarah Rose Miller. Disponível em:https://www.goodfirms.co/blog/best-free-open-source-face-detection-software-solutions . Acesso em: 07 dez. 2019.

KLEINA, Nilton. **Como funcionam os sistemas de reconhecimento facial**. 2011. Disponível em:https://www.tecmundo.com.br/camera-digital/10347-como-funcionam-os-sistemas-de-recon hecimento-facial.htmNil . Acesso em: 17 nov. 2019.

IBM, **Artificial Intelligence in Logistics.** DHL Customer Solutions & Innovation, Troisdorf, Germany, 2018.

LI, Stan Z.; JAIN, Anil K. (Ed.). **Manual de Reconhecimento Facial.** A: Springer, 2004. Disponível em: https://epdf.pub/queue/handbook-of-face-recognition6b3f024d0c27687be20b89933aa7d7b7808 95.html. Acesso em: 02 nov. 2019.

LUGER, GEORGE F. - **Inteligência Artificial: Estruturas e Estratégias para a Solução de Problemas Complexos** - 4ª Edição -Bookman Companhia Editora – 2004

MAFEI, Rafael. **Tecnologias de reconhecimento facial são usadas em 37 cidades no país**. 2019. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-09/tecnologias-de-reconhecimento-facial-sao-usadas-em-37-cidades-no-paishttps://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-09/tecnologia s-dereconhecimento-facial-sao-usadas-em-37-cidades-no-pais. Acesso em: 21 jun. 2020.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria**. Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

MIT 6.S191. **Introdução ao Deep Learning.** 2020. Disponível em: http://introtodeeplearning.com/. Acesso em: 24 maio 2020.

ROSA, João Luís Garcia. Fundamentos da Inteligência Artificial. Rio de Janeiro: Ltc, 2014

SILVA, Mary Aparecida Ferreira da. **Modelos e técnicas de pesquisa**. 2. ed. Curitiba: Ibpex 2005. 263 p. Disponível em: . Acesso em: 17 nov. 2019.

TECTUDO (Org.)**. Facebook melhora reconhecimento facial e chega quase ao nível humano.** 2014. Milena Pereira. Disponível em:https://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2014/03/facebook-melhora-reconhecimento-fa cial-e-chega-quase-ao-nivel-humano.html . Acesso em: 07 dez. 2019.

A ERA DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL artigo publica em 2020 encontrado em: https://cienciahoje.org.br/artigo/a-era-da-inteligencia-artificial/

O que é a inteligência artificial e como funciona? **Sociedade Atualizado: 26-03-2021 - 15:43** Criado: 04-09-2020 - 14:09 encontra em : https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/society/20200827STO85804/o-que-e-a-inteligencia-a rtificial-e-como-funciona

UFU, em 2019, o professor da Faculdade de Computação da UFU, Paulo Henrique Gabriel,: **A inteligência artificial não** é **uma questão de escolha: já está entre nós** encontra em:https://comunica.ufu.br/noticia/2020/07/inteligencia-artificial-nao-e-uma-questao-de-escolha-ja-esta-entre-nos

YOLO: Detecção de objetos em tempo real (22 de janeiro 2019) encontra em : https://www.dobitaobyte.com.br/yolo-deteccao-de-objetos-em-tempo-real/

TCC estruturas dos neurônios aritificias de Mauricio Roberto Veronez https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Estrutura-dos-neuronios-artificiais-utilizados-na-R NA-Adaptada-de-Haykin_fig1_262445431

CAPÍTULO 20

UM MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DA VARIABILIDADE DE CONJUNTOS DE PARTIÇÕES

Data de aceite: 01/09/2023

Nayara G. Ribeiro
Graduação em Ciência da Computação
Universidade Federal de Uberlândia – Uberlândia, MG – Brasil

Daniel D. Abdala

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo produzir um algoritmo para geração automática de conjuntos de partições para servir como etapa de geração de dados em processos de agrupamento de dados via combinação de partições. O algoritmo visa gerar um conjunto de partições utilizando diferentes algoritmos de agrupamento de dados, utilização de parametrizações distintas no processo de agrupamento, com o intuito de gerar o conjunto de partições o mais variável possível. Resultados experimentais demostram a viabilidade da proposta.

PALAVRAS-CHAVE: Ensemble Clustering, variabilidade, agrupamento

1 I INTRODUÇÃO, MOTIVAÇÃO E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Ensemble clustering (combinação de partições) surgiu como uma opção de agrupamento de dados. Esta técnica é uma maneira de lidar com o problema da escolha do algoritmo de agrupamento em casos em que pouco ou nada se sabe sobre o conjunto de dados [Abdala 2010]. Ele também suaviza o resultado final quando partições diferentes apresentam distribuições consideravelmente distintas.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo desenvolver um método para análise de variabilidade intra-partições e recomendação de partições para fins de combinação de modo que a variabilidade seja maximizada ou minimizada.

Para realizar o agrupamento de dados, utilizamos algoritmos aproximados. Atualmente, há uma infinidade de algoritmos aproximados, que utilizam diferentes heurísticas para encontrar resultados sub ótimos. Estes algoritmos são desenvolvidos especialmente para conjuntos de dados específicos. Dado um novo conjunto a ser agrupado, não se sabe, a priori, qual o melhor algoritmo a ser aplicado.

A utilização da técnica de clustering determina o agrupamento intrínseco em conjuntos de dados. O processo de organização dos dados surge da semelhança entre os dados de alguma forma. Um cluster é, portanto, coleções de dados que são semelhantes entre eles, e que são diferentes dos dados pertencentes a outros clusters.

As etapas que serão seguidas para o desenvolvimento de um trabalho de seleção de partições que priorize aquelas que apresentam maior variabilidade entre si, podem ser observadas na figura 1.

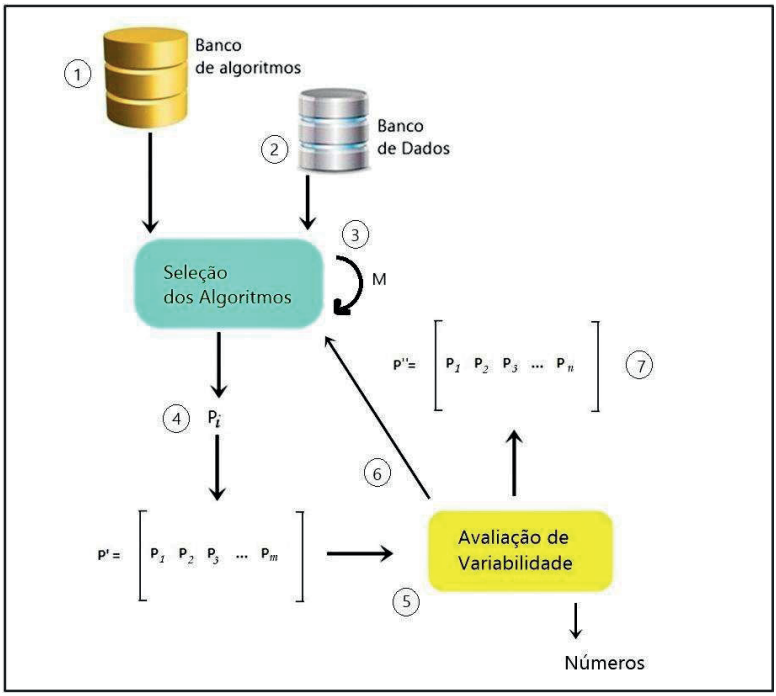


Figura 1. Visão de alto nível das etapas do processo de ensemble clustering.

Fazem-se necessários dois bancos de dados, um de algoritmos de clustering, conforme etapa 1, e outro de dados, conforme etapa 2. Os dados saõ processados pela base de algoritmos, de acordo com etapa 3, e após M iterações serão geradas M partições P_i. Cada partição gerada, conforme etapa 4, será colocada em uma matriz P'. A matriz P' e avaliada na etapa 5, onde são selecionadas as partições com mais alta variabilidade. Nesta etapa, caso uma partição não tenha uma de boa variabilidade, seleciona-se um novo algoritmo para a geração de uma nova partição para substituí-la. Finalmente na etapa 7 uma matriz P'' é produzida com mais alta variabilidade.

A escolha dos algoritmos na etapa 3 é dada aleatoriamente entre algoritmos de clustering dos tipos: algoritmos algomerativos, algoritmos de densidade e algoritmos hierárquicos. Caso o algoritmo selecionado não garanta uma partição com uma boa variabilidade, o algoritmo prevê a troca do algoritmo para geração de uma nova partição.

A permuta deste algoritmo pode ser por outro algoritmo do mesmo conjunto, ou pode ser trocado por um algoritmo dos outros conjuntos.

2 | CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO

O desenvolvimento de um algoritmo de seleção de partições que priorize aquelas que apresentam maior variabilidade entre si resolve o problema de bias introduzido pela pré-existência de partições similares no ensemble.

Estes métodos de agrupamento de dados via combinação de partições, encontram aplicações nos mais diversos segmentos da ciência. Métodos confiáveis de seleção de conjunto de partições diminuirão problemas de bias. Em estatística o conceito de bias está associado à diferença entre a média dos resultados e o valor verdadeiro. Ou seja, é a diferença entre o valor esperado e o valor produzido pelo estimador.

Técnicas de agrupamento de dados visam combinar partições geradas a partir de diversos algoritmos com o intuito de eliminar a necessidade de um estudo prévio acerca dos dados a serem agrupados de modo a definir qual o algoritmo de agrupamento mais adequado. Embora esta seja uma área ativa e recente em reconhecimento de padrões pouco se sabe acerca do impacto da variabilidade do ensemble no resultado final. Acredita-se que este trabalho se configurará como uma contribuição válida de modo a se entender melhor as restrições e áreas de aplicação da metodologia de agrupamento de dados via combinação de partições.

3 | ANÁLISE DE RESULTADOS

Atualmente, as etapas de pesquisa bibliográfica e modelagem do sistema foram finalizadas. Os algoritmos que comporão a base de algoritmos já foram pré- selecionados, foram prospectados conjuntos de dados que comporão a base de dados de testes, e, também desenvolvido os algoritmos para compor a matriz de partições e a analisar a variabilidade das partições.

A etapa em desenvolvimento compõe a matriz de partições escolhendo M algoritmos aleatoriamente e executa uma métrica para análise da variabilidade entre as partições. Caso o algoritmo selecionado não garanta uma partição com uma boa variabilidade, de acordo com a métrica escolhida, o algoritmo é então trocado para geração de uma nova partição.

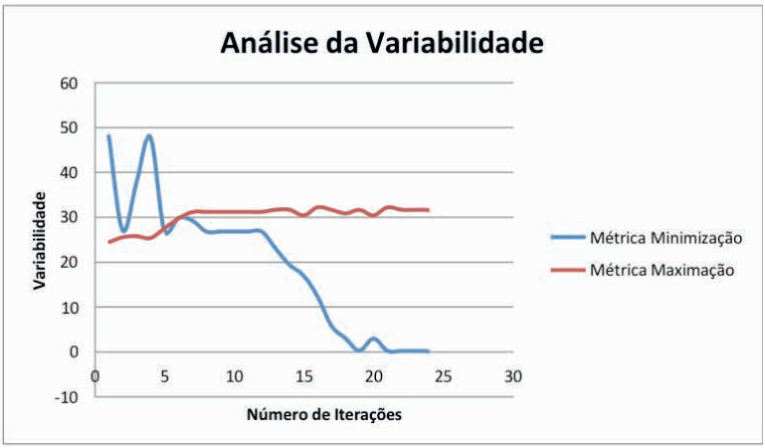


Gráfico 1: Resultado da execução de duas métricas diferentes para análise da variabilidade.

As métricas de variabilidade podem maximizar ou minimizar a variabilidade dependendo do método escolhido para avaliação. Cada métrica avalia uma partição com todas as partições pertencentes a matriz e tem como resultado números. Os resultados dessas aplicações podem ser analisados de duas maneiras como maximização e minimização. O intuito da execução de uma métrica de maximização é aumentar a variabilidade das partições, já à execução de uma métrica de minimização é diminuir a variabilidade das partições.

Com os resultados preliminares demonstrados no gráfico 1, chegamos a conclusão preliminar que a execução do algoritmo maximiza/minimiza a variabilidade intra- partições. O próximo passo para compor os resultados finais, é avaliação do método proposto, ou seja, dado os ensembles com alta variabilidade, serão aplicados métodos de ensemble clustering para verificar se eles realmente geram resultados superiores aos obtidos por métodos ingênuos de geração de partições.

4 | TRABALHOS RELACIONADOS

4.1 A Mixture Model for Clustering

Inúmeros algoritmos de agrupamento são capazes de produzir partições diferentes dos mesmos dados que capturam vários aspectos distintos dos dados [TOPCHY; PUNCH,2004]. O foco nesse artigo é a pesquisa em ensemble clustering, buscando uma combinação de múltiplas partições que proporcionam maior agrupamento geral dos dados fornecidos. No mesmo, relata sobre a maior dificuldade em encontrar uma partição consenso das partições de saída dos vários algoritmos de agrupamento. Outra questão difícil é a escolha do algoritmo de agrupamento para o conjunto.

4.2 Combining Multiple Clusterings Using Evidence Accumulation

O objetivo do agrupamento é particionar um conjunto de objetos não rotulados em grupos homogêneos ou clusters [FRED; JAIN, 2005]. Nesse artigo é relatada a existência de centenas de algoritmos de agrupamento, e a produção de resultados distintos até para o mesmo algoritmo. A abordagem proposta é o conceito de evidência de acumulação de clustering, que mapeia as partições de dados individuais em um conjunto de cluster em uma nova medida de similaridade entre os padrões.

REFERÊNCIAS

Jain M.N. Murty, P. F. A. Data clustering: A review ,1999.

Abdala, D. D. Ensemble and constrained clustering with applications. 2010. TOPCHY, A. K. J. A.; PUNCH, W. A mixture model for clustering ensembles. 2004.

FRED,A. L.; JAIN, A. K. Combining multiple clusterings using evidence accumulation. 2005.

CAPÍTULO 21

VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DE BIG DATA E SMALL DATA NO AUMENTO DA COMPETITIVIDADE DE MICRO & PEQUENAS EMPRESAS

Data de aceite: 01/09/2023

Murilo Tavares Palos
Universidade Virtual do Estado de São Paulo – Univesp

Vanessa Silva Garcia
Universidade Virtual do Estado de São Paulo – Univesp

Marcos Vinícius Henrique da Silveira
Universidade Virtual do Estado de São Paulo – Univesp

Cirillo Moreno Tavares Palos
Universidade Virtual do Estado de São Paulo – Univesp

Fernando Henrique de Oliveira
Universidade Virtual do Estado de São Paulo – Univesp

Helena de Carvalho
Universidade Campos Elíseos

Nelma Paula Vieira Ramos
Universidade Virtual do Estado de São Paulo - Univesp

RESUMO: No fim do século XVIII, o homem mudou a base da sociedade e da economia com a revolução industrial, houve aperfeiçoamento do processo de produção e de suas linhas de montagem, já com o avanço tecnológico da computação foi possível aperfeiçoar a produção e prestação de serviços. Utilizando os conceitos e teorias, do que é a revolução industrial 4.0, juntamente com o uso das ferramentas Big Data e Small Data pelas micro e pequenas empresas, visando identificar se houve ou não o aumento da competitividade usando tais ferramentas. Também foca os estudos na compreensão de forma objetiva e simplificada do que de fato é Big Data e Small Data e suas variáveis como métodos de captação de informações. Houve uma pesquisa estatística, com uma pequena amostra quantitativa sobre micro e pequenas empresas e as metodologias que elas utilizaram para captar informações e se essas informações foram uteis para o aumento da competitividade. De caráter exploratório e descritivo, este estudo teve como sustentação as revisões bibliográficas, estudos analíticos e estatísticos.

PALAVRAS-CHAVE: Big Data, Small Data, Competitividade, Informações.

ABSTRACT: At the end of the 18th century, man changed the basis of society and economy with the industrial revolution, there was an improvement in the production process and its assembly lines, otherwise

the technological advance of computing it was possible to improve production and service provision. Using the concepts and theories of the industrial revolution 4.0, and the use of Big Data and Small Data tools by micro and small companies, in order to identify if there was or not an increase in competitiveness using such tools. It also focuses an objective and simplified understanding of what Big Data and Small Data really are and their variables as methods of capturing information. There was a statistical survey made with a small quantitative sample on micro and small companies and the methodologies they used to capture information and if this information was useful to increase competitiveness. Exploratory and descriptive, this study was supported by bibliographical reviews, analytical and statistical studies.
KEYWORDS: Big Data, Small Data, Competitiveness, Information.

1 I INTRODUÇÃO

Desde a primeira revolução industrial no século XVIII, com a criação da máquina a vapor, a segunda revolução no século XIX com o avanço da eletricidade que possibilitou a produção em massa com as linhas de montagem, a terceira revolução industrial no século XX, mesclou o computador às linhas de montagem, facilitando a produção mais inteligente, e no século XXI uma nova revolução industrial se torna realidade, a chamada Revolução 4.0 (MARTINS, 2016).

O conceito de quarta revolução industrial surgiu em meados de 2010, através do governo alemão em uma feira de tecnologias e inovações, desde então o conceito tomou forma e princípios, a conectividade entre processos automatizados, internet e seres humanos, I.A- Inteligência Artificial, nunca antes fora vista de forma tão explicita e acessível ao consumidor. Produções que antes eram padronizadas e fabricadas em massa se tornaram coisas do passado, agora com a revolução 4.0, é possível realizar produções de forma que atinja a quantidade exata demandada e produzida individualmente de acordo com as exigências do consumidor (PEARCE, JOSHUA, 2012).

Com o aumento da competitividade entre as corporações num mundo cada vez mais globalizado e conectado, qualquer percentual de vantagem se torna um diferencial sobre o concorrente, fazendo com que a empresa sobreviva neste cenário. O estudo de dados quantitativos se torna cada vez mais relevante na tomada de decisão.

Big Data é a ferramenta primordial na coleta e análise de grandes volumes de dados, porém, para que sejam funcionais, as informações precisam ser filtradas e estruturadas, no mesmo sentido, existem os chamados Small Data, nas quais, pequenas informações possibilitam formatar estratégias nos negócios com detalhes sobre as informações coletadas, necessitando assim de uma mente bem treinada e uma capacidade da empresa para inovar (MARTIN, 2016).

De acordo com o SEBRAE, em 2014, as MPEs (Micro e Pequenas Empresas) corresponderam por 98% das empresas registradas no estado de São Paulo, e geraram 50% dos empregos formais no estado, ainda de acordo com esses dados, sua representatividade no produto interno bruto (PIB) do estado fica em torno de 27% do total que o estado gera.

Para pequenas empresas, se torna difícil o acesso a grandes volumes de dados relevantes para as tomadas de decisões.

Por se tratar de um estudo de viabilidade no uso de ferramentas que aumentam a competitividade empresarial em São Paulo, não serão aprofundados temas como programações de softwares, programas especialistas na coleta e análise de dados via Big Data e Small Data, nem questões de ética relacionados com a coleta de dados virtuais, direitos e deveres empresariais sobre isso. Assim as revisões bibliográficas e os estudos quantitativos de dados se tornaram fundamental para a realização deste trabalho juntamente com questionário voltado a CEO"s, diretores e empresários que possibilitaram coletar dados quantitativos, mantendo o sigilo e ética profissional.

1.1 Desafio

O grande desafio encontrado neste estudo foi a complexidade da revolução industrial 4.0 e a sustentabilidade, pois sua conectividade se torna fundamentada para torná-la eficiente e lucrativa. Também optamos por demonstrar estatisticamente a dificuldade da coleta de dados via Big Data e Small Data dos pequenos e micro negócios para que possam aprimorar sua competitividade.

1.2 Objetivo geral

O objetivo deste estudo a visa compreender como as aplicações dessas ferramentas nas micro e pequenas, podem ajudar a elevar o grau de competitividade entre elas, apresentando conceitos e diferenças existentes entre Big Data e Small Data e discutir os resultados do questionário e a verificação por meios teóricos da viabilidade do uso de dados para a tomada de decisões mediante estudo exploratório.

O objetivo também será apresentar de forma evolutiva os conceitos das revoluções industriais e suas mudanças evolutivas, novos conceitos, metodologias e aplicações na revolução 4.0.

1.3 Objetivo especifico

- Apresentar o conceito de revolução industrial 1.0, 2.0, 3.0 e 4.0;
- Demonstrar a metodologia empregada na revolução industrial 4.0 e suas mudanças na forma de fazer negócio;
- Aplicar a revolução 4.0 e seus pilares no mundo dos negócios;
- Mostrar como funciona o BIG DATA e SMALL DATA;

1.4 Justificativa

Desde o início da revolução industrial, por volta de 1760, até a indústria 4.0, a competitividade tem sido fundamental para sobrevivência, lucratividade e inovação nas corporações. Desta forma, o uso de ferramentas tende a melhorar a competitividade,

economia e a troca de informações, assim como ocorrem com as ferramentas de Big Data e Small Data, que tem ajudado as pequenas e micro empresas a se tornarem cada vez mais competitivas no mercado.

A revolução industrial 4.0, conecta toda a cadeia produtiva de transformação de produto até a chegada ao consumidor final. A experiência metodológica explica como isso é feito, de tal forma que se torna eficiente à produção individual e diminuição dos custos usando a informação como fonte de dados, os chamados Big Data para aperfeiçoar esta metodologia.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A primeira revolução industrial era considerada a escravidão moderna, apesar dos grandes problemas sociais, gerenciamento de recursos, tecnologia e política, a primeira revolução trouxe o avanço para a sociedade humana nunca antes vista no mundo (HOBSBAWM, 2012).

Já por volta de 1890 a 1950, a segunda revolução teve início, Henry Ford com sua linha de montagem revolucionou o mundo, tornando a produção muito mais barata, rápida e eficiente, sendo possível produzir mais com muito menos desperdícios e força de trabalho, a energia elétrica se tornou predominante nas indústrias, possibilitando a criação de novos produtos e tecnologias.

Houve grandes pensadores e pesquisadores como Weber e Taylor que desenvolveram teorias e estudos para melhor eficácia nas linhas de produção, nessa época também surgiram teorias econômicas como Marx voltado para a esquerda, lutando em prol da classe operária, e Adam Smith, que defendia o livre mercado, alto reajuste da oferta e demanda e a mínima interferência do estado.

Em 1950 a 1970 surgiu o termo terceira revolução industrial, foi nesse período que surgiram os primeiros computadores voltados para a indústria, também surgiram estudos relacionados ao bem-estar dentro do ambiente de trabalho e sua eficiência em prol da melhor qualidade de vida e rendimento da mão de obra. Sistemas automatizados e substituições de mão de obra humana por computadores e máquinas já eram realidades, assim como segmentos de negócios foram extintos, novos ramos foram criados, globalização e parcerias econômicas pelo mundo tornaram-se fundamentais para o crescimento econômico e surgimento de novas tecnologias.

A terceira revolução industrial é a última das grandes revoluções industriais e estabelecerá as infraestruturas para a fundação de uma era colaborativa [...] A sua concretização assinalará o fim de uma saga comercial com 200 anos, caracterizada pelo pensamento industrial, operando em mercados empresariais e modelos de trabalho massificado (JEREMY RIFKIN, 2012).

A partir da terceira revolução industrial, a mão de obra passou da massificação

para a intelectual, qualificada e de qualidade, alterando assim a cadeia de comando de produção, tornando as qualificações requisitos para ocupar um cargo chave dentro das empresas.

A Quarta Revolução Industrial é também conhecida como a era das máquinas livres assim tomando parte do movimento, faça você mesmo, saltando de tarefas domésticas para os laboratórios de pesquisa e indústrias. E o salto foi impulsionado pelos motivos de economia de dinheiro e obtenção dos resultados necessários (PEARCE, JOSHUA, 2012).

A Indústria 4.0 procura descrever a combinação de diversas tendências tecnológicas que unem o mundo virtual e o mundo físico, que têm surgido nos últimos anos e que se espera que, combinadas, transformem totalmente o modo como conhecemos o setor da indústria atualmente (MARTINS, 2016).

A Revolução 4.0 é a união da chamada internet das coisas com a rápida automatização, desenhando um novo cenário dentro das fábricas de todo o mundo. A indústria 4.0, ou manufatura avançada, deve revolucionar as linhas de montagem e gerar produtos inovadores e customizados em um futuro próximo (SIEMENS, 2016).

- Micro & Pequenas Empresas

Micro e pequenas empresas representam 27% do PIB do Brasil, juntos representam aproximadamente 9 milhões de empresas no país, onde geram mais de 52% dos empregos em carteira assinada. Entre 2008 e 2018, os valores de produção gerados por essas empresas passaram de R$ 144 bilhões de reais para R$ 600 Bilhões de reais (SEBRAE, 2019).

As MPEs paulistas têm grande importância para o desenvolvimento do Brasil, porém, ainda segundo dados do SEBRAE, apenas 25,4% dessas empresas sobrevivem a mais de 2 anos. Muitos desses motivos estão relacionados a vantagem competitiva que envolve alguns princípios básicos, como produtos ou serviços com qualidade superior aos demais concorrentes, menores preços, construção de uma boa reputação e ter uma marca reconhecida no mercado.

O termo “vantagem competitiva”, foi popularizado após a publicação da obra de Porter em 1999, que se refere às vantagens competitivas das organizações como sucesso estratégico, ou como o próprio autor diz em sua obra, a conquista de uma posição que possibilitam ganhos acima da média (PORTER, 1999).

Uma empresa gera vantagens competitivas quando aborta uma estratégia onde se cria valor, onde paralelamente não seja copiada total ou parcialmente pelos concorrentes. Assim, a vantagem competitiva pode ser medida pelo desempenho ao estabelecer alguns parâmetros entre seus concorrentes, normalmente, abaixo do normal e acima do normal, tais parâmetros são capazes de mensurar o grau de concorrência e aumento da competitividade do setor (BARNEY CLARK, 2007).

A vantagem competitiva deve ser sustentável e com a sustentabilidade dos princípios

da corporação. Segundo ele, as habilidades que a empresa deve ter para aumento da competitividade estão ligadas a essência da sobrevivência, onde a vantagem ante o concorrente define sua sobrevivência ou morte (PORTER, 1999).

A vantagem competitiva está ligada ao gerenciamento estratégico, indiferente das definições deste conceito, a sustentabilidade das ações que garantem a vantagem competitiva entre seus concorrentes deve ser perene até o momento em que a vantagem seja ultrapassada, sendo necessária adaptação de novas estratégias corporativas, a fim de aumentar a vantagem sobre a concorrência (FAHY, 2000).

- Big Data

O conceito de Big Data pode ser considerado como grande conjunto de dados, ou grandes volumes de informações acumuladas em servidores físicos ou em nuvens, além de estar diretamente interligada a tecnologia e a conectividade das coisas (MITI, 2019).

A expressão Big Data, equivale à análise de dados digitais, que pode ser definida como o uso das tecnologias para a compreensão, comunicação e a utilização de dados estruturados e não estruturados. Trata-se da possibilidade da obtenção de dados em tempo real, fundamental para a tomada de decisões rápida e precisa (MICHEL L. S. 2018).

O mundo produziu aproximadamente 2,7 Zettabytes de dados no ano de 2015, isso é o equivalente a 200 bilhões de filmes full HD com duração de 2 horas cada (O"HAIR & BERTSIMAS, 2016).

O faturamento das empresas que oferecem serviços de dados e o uso dos servidores que coletam e armazenam Big Data no Brasil, tem a perspectiva de faturar U$ 3,2 bilhões no ano de 2019 (SAP, 2020).

Assim o Big Data tem como conceito captação e armazenagem de grandes volumes de dados, porém há o que os autores denominam de produtos estruturados e não estruturados. Dados estruturados são dados que passam por uma filtragem e podem ser utilizados para suprir as necessidades do requerente, já dados não estruturados são dados brutos, coletados das mais variadas formas e armazenados sem qualquer filtragem (MICHEL L. S., 2018).

A manipulação de dados variados pode gerar quantidades ilimitadas de informações para as empresas, onde requerem softwares e programas para mensurar e separar tais dados afim de utilizá-los nas tomadas de decisões. Os grandes volumes de dados coletados, podem ser aproveitados pelas empresas para a produção de novos produtos, serviços ou conhecimentos com valores significativos (FURLAN E LAURINDO, 2017).

Outro ponto importante é a conectividade entre produtos que se aglomeram dentro do termo Big Data, segundo estudos da empresa Gartner, até 2020, cerca de 95% dos produtos eletrônicos no mundo estarão conectados à internet, isso graças a diminuição dos custos de produção em massa dessas tecnologias e do armazenamento em nuvem de dados móveis. Ainda neste estudo, as empresas serão capazes de coletar e armazenar

insights gerados pelos rastros digitais dos usuários, tornando possíveis nutrir informações relevantes à criação de novos produtos afim de suprir as necessidades dos usuários sem que eles percebam.

O grande aumento de informações e volume de dados, assim como a velocidade e variedade necessitam de grande poder de processamento por parte das empresas que os coletam, levando as questões essenciais para o completo funcionamento. Capaz de influenciar diretamente o mercado consumir, a informação no século XXI tem sido o grande destaque diferencial, capaz de gerar rupturas no mercado e altos lucros, basta saber utilizar tais informações (HENKE, 2016).

A mesma tecnologia capaz de diagnosticar doenças recomendando tratamentos adequados, assim como identificar criminosos antes mesmo de cometerem o crime. A tecnologia Big Data com a incorporação da inteligência artificial mudou o mundo radicalmente, adicionando a capacidade da conectividade em tempo real das informações, possibilitando transformar a sociedade humana mensurável em suas informações, tornando-as quantitativas e utilizáveis (SCHONBERGER & CUKIER, 2013, P. 194).

O conceito de Big Data pode ser dividido em cinco partes para melhor compreende-lo e estuda-lo (TOTVS, 2020).

Figura 1: Adaptação dos 5v do Big Data

Fonte: TOTVS, 2020.

1. Volume: Pode ser representado como a grande quantidade de dados que o termo Big Data se refere, sendo aproximadamente 2,5 quintilhões de bytes por dia até o ano de 2020;

2. Velocidade: A velocidade é a chave para a coleta de dados em tempo real, possibilitando a utilização desses dados para a tomada de decisões;

3. Variedade: Dados dispersos significam informações após a passagem pelos filtros, tornando- se uteis nas compilações de informações padronizadas e utilizáveis. Além do mais, todos os tipos de dados podem ser utilizados, desde uma simples compra na internet até uma postagem de foto numa rede social.

4. Valor: Representando o valor monetário da comercialização de grandes volumes de dados, representa o comércio bilionário mundial, com expectativa de girar em torno de U$ 4 bilhões em 2020, tornando-se um dos mercados mais promissores para as próximas gerações.

5. Veracidade: Dados coletados de fontes confiáveis como redes sociais, rastros digitais, histórico de consumo, pesquisas online e dados pessoais.

Ao considerar alguns pontos dos 5V"s do Big Data, veracidade e valor entram em conflito com a privacidade pública dos dados digitais, podendo acarretar em comércio ilegal de dados, outro fator importante a ser mencionado é a veracidade, onde as informações são difusas e dispersas, podendo acarretar erros durante o processamento dos dados (Filho, C. G, 2014).

Para a universidade da Pensilvânia o aumento da granularidade de tempo e espaço em que grandes volumes de dados são coletados, torna as informações com menos veracidade, pois trata os dados com menor fidedignidade as informações e fenômenos observados. Sendo assim a veracidade dos dados coletados podem ser considerados positivos quando são coletados por redes sociais, pesquisas online, rastros digitais, ou mesmo histórico de consumo (WHARTON, 2016).

- Small Data

O termo Small Data pode ser traduzido no português claro como “pequenos dados”, ao contrário do Big Data, trata-se de um conceito onde o pouco significa muito, o simples significa complexo, o pequeno significa grande, ou seja, é um termo que busca identificar pequenos detalhes insignificantes e invisíveis em dados quantificados, onde possa ser utilizado para nutrir informações úteis durante a gestão de negócios, produtos ou serviços.

Para o gerente de planejamento e consultoria da empresa Valuenet Incentive Solutions, Renato Carbone, (2018); o Small Data é a continuação do Big Data, sendo inicialmente coletadas informações simples e pequenas e repassadas para um grande conjunto posteriormente, dando a característica da coleta de pequenos dados.

Já para o autor Clayton Cunha, (2019); Small Data é o conjunto de pequenas informações que podem ajudar na tomada de decisões, diferente do Big Data, o Small Data não coleta grandes volumes de dados e não necessita de supercomputadores para analisá-los, basta uma mente humana treinada capaz de processar pequenas informações, utilizando a lógica racional é capaz de usar tais informações para suprir as necessidades

no gerenciamento de processos.

O autor Martin L. (2016); com sua obra Small Data, como poucas pistas indicam grandes tendências, tem se destacado no estudo deste termo por possuir maior aprofundamento sobre o tema, aplicações práticas em sua obra, o leitor é capaz de identificar como usar o Small Data em seu ramo de atuação, a obra de Martin L. é a única traduzida para o português que fala sobre o assunto.

Um pequeno dado isolado quase nunca é suficiente para montar um caso ou criar uma hipótese. Porém, misturados a outros insights e observações reunidos ao redor do mundo, os dados podem formar uma solução capaz de criar a base de uma nova marca ou negócio. (Martin L., 2016, p. 15)

Ainda segundo o autor Martin L. (2016); em seu livro ele diz que, para se conhecer os animais, não basta apenas ir ao zoológico, mas sim, conviver com eles na natureza livre, e que o processo de recolhimento de Small Data tem como fim destrinchá-los com observações e recolher todas informações possivelmente úteis para gerar a base de um novo negócio, uma nova marca ou um produto inovador, assim aquela pequena informação passada despercebida aos olhos, podem ser a chave do sucesso ou do fracasso. Para ele, 60% a 65% das inovações tecnológicas atuais se originaram por Small Data, onde essas inovações foram criadas para suprir a necessidade de poucos, que logo ganhou proporção e consequentemente passou a utilizar Big Data para aprimoramento e expansão.

Para Miti, (2019); o Small Data é a cultura local generalizada minimizada, ou seja, cultura do ambiente da loja, cultura dos moradores locais, cultura do bairro e cultura de consumo local, assim a influência da cultura como um todo, gera loops de pequenas informações, que podem gerar certos padrões com a constância.

O Antropólogo Fraz Boas, (2004); cunhou durante seus estudos sociais a palavra Kulturbrille, na livre tradução para o português, “lentes culturais”, onde representa diretamente a maneira como os nativos enxergam o próprio país e sua cultura. Este termo permite que o indivíduo veja sua cultura, porém o torna cego, enquanto ao mesmo tempo um forasteiro nota a cultura local imediatamente.

- Revolução 4.0 e a inteligência artificial

Com a chegada da revolução 4.0 o modo de fazer negócios mudou, não há mais necessidades de estar presente para fechar um negócio ou comercializar um produto, basta o toque na tela de um celular para realizar uma compra, transferências bancárias, comprar ou vender um imóvel, a conectividade entre aparelhos tornou possível mudar o jeito de fazer negócios, criou oportunidades para novos meios de comercialização.

Há aproximadamente duas décadas os celulares têm feito a diferença na sociedade humana, com a chegada dos smartphones as oportunidades de negócio aumentaram significativamente, negócios como Uber, Waze, WhatsApp, Facebook, só se tornaram possíveis graças às tecnologias de conectividades da revolução 4.0.

Inteligências artificiais (I.A) já é uma realidade, substituindo a mão de obra humana, torna-se mais eficiente no tomado de decisões importantes, utilizando dados complexos e estatísticos de informações pessoais coletadas pelo cyber espaço.

Segundo estudo do Bank Of America Merril Lynch, sistemas dotados de I.A. movimentarão US$70 bilhões já nos próximos quatro anos, começando pelo próprio setor bancário, com redução de custos, ganhos de eficiência, automatização, mudança de processos e sistemas antifraude. Até 2025, 75% das equipes de desenvolvedores devem incluir inteligência artificial em um ou mais serviços e o mercado de computação cognitiva deverá representar mais de US$ 2 trilhões (RICARDO AMORIN, 2018).

[...] A evolução tecnológica não pára. Com a disseminação dos dispositivos móveis com alta capacidade de processamento, a Internet passa dos computadores pessoais para os smartphones e dispositivos menores ainda. Chegamos à era da Internet das coisas (IoT) e da captura de informações em larga escala ou Big Data (KAGERMANN ETAL, 2013).

Para Hermann, as principais características da revolução 4.0 nos negócios são:

6. Interoperabilidade: Linhas de produções, logísticas, vendas, estão diretamente virtualmente conectados e trabalham de forma coordenada entre si.

7. Virtualização: Criação de um sistema conectado por meios de monitoramento através de sensores e modelos virtuais das linhas de produções, processados e analisados por computadores para melhorar a eficácia da produção.

8. Operação em tempo real: A coleta de dados é feita em tempo real, caso seja analisado alguma falha o computador automaticamente corrigi para evitar percas e prejuízos.

9. Orientação de serviços: A mão de obra humana fica à disposição da demanda dentro da organização, sendo desnecessário durante a linha de produção, sendo requerido apenas caso haja necessidade. Possibilita a alteração nas configurações da linha de produção a qualquer instante.

10. Aumento da produtividade: a automatização da produção possibilita a economia de custos, redução dos desperdícios, aumento da lucratividade.

Essas características possibilitam eficácia na produção de forma coordenada e altamente produtiva, eliminando desperdícios e mão de obra desnecessária, além de poder criar produtos de acordo com as exigências a qualquer hora sem a necessidade.

Através da Internet das Coisas, também conhecida como (IoT), do inglês Internet of Things, é o conceito de conectar a maior quantidade de aparelhos e proporcionar melhor conectividade entre produtos e consumidor, melhorando a comunicação e inteligência de mercado. Indústrias 4.0 atuam de forma inteligente, mesclando máquinas, robôs e humanos, utilizando dados complexos disponíveis em Big Datas, onde informações coletadas de usuários de internet são feitas, muitas vezes de forma ilegal, possibilitando as empresas a terem acesso às preferências dos consumidores. A indústria 4.0 permite empresas a obter o máximo de informações em tempo real, obtendo vantagens competitivas entre si.

- Consumidor 4.0

O consumidor 4.0 é aquele que possui acesso ilimitado a internet, possibilitando comparações de produtos e preços num toque, é exigente, e tem as grandes redes sociais para dividir suas opiniões a respeito de empresas e produtos, querem se sentir únicos e não aceitam produtos de baixa qualidade, porém está disposto a gastar mais em comprar pela internet (RUBENS C. 2017).

O novo consumidor não tem tempo a perder, exige atenção, educação, respeito, qualidade nos produtos, além de preço baixo e comodidade na hora de efetuar a compra, deseja ser tratado com mais humanização, e não com mensagens automáticas e robotizadas. Sabendo desses conceitos são possíveis empresas de todos os setores utilizarem as tecnologias para atingir o público-alvo de suas publicidades de forma eficaz, identificando comportamentos e características de seus consumidores ficam fáceis criar uma experiência "única" e produtos relevantes para seus clientes, assim como criar layout de lojas físicas e com isso atrair um nicho especifico (SEBRAE, 2019).

Com mais oferta a disposição e menos tempo para perder, o consumidor alterou a cadeia de negócio linear, antes predominante pelo derivativo de indústria > distribuidor > varejo e, por fim, no consumidor final, a tendência é de que o distribuidor e o varejo sejam inutilizados já nos próximos anos, o consumidor 4.0 junto com a evolução das tecnologias e a interação nas fábricas, será possível o próprio consumidor demandar produtos e serviços individuais sobre demanda sem excesso (BAUMAN, Z. 2008).

A cadeia de negócios linear – indústria/distribuidor/varejo/cliente, perde força com a chegada da revolução 4.0, os consumidores estão mais ligados a indústria, por sua vez, informações estão mais flexíveis e acessíveis em toda à cadeia, tornando possível tanto produtor, fornecedor ou cliente, estar a par de dados essenciais sobre produtos e serviços (CLOVIS B. 2019).

3 I MÉTODO

O estudo empregou a utilização da metodologia exploratória e descritiva, além de revisões bibliográficas, complementado por um estudo de caso real. A metodologia utilizada para a elaboração e desenvolvimento deste estudo foi o processo de pensamento, no qual o grupo se baseou na abordagem do pensamento divergente e pensamento convergente, além dos pensamentos indutivos.

Os dados de revisão bibliografia contaram com o acesso a portais como, biblioteca virtual, Scientific Electronic Library Online, DataCamp e Google Acadêmico.

No brainstorming ocorreram muitas ideias de metodologias, porém que não fugissem do escopo exploratório e demonstrativo deste estudo. No entanto, as sessões mais interessantes de brainstorming aconteceram nas fases de aproximação ao tema, escolha do assunto central e definição do estudo e solução para o problema.

O questionário conta com 15 questões, porém apenas 10 são significativas para o estudo deste trabalho, girando em torno dos termos de Big Data e Small Data, estratégia que os gestores utilizam em suas tarefas para alavancar a competitividade da organização, identificação dos cargos e atuação da empresa, já as outras 5 questões são de identificação e aceitação dos termos para respondê-lo, por questões éticas e de política de privacidade. Todos os nomes, empresas e contatos dos que responderam ao questionário, não serão publicados aqui, tendo em vista que somente dados quantitativos e informativos serão aproveitados, preservando a LEI Nº 13.709, De 14 De Agosto De 2018, que tange a proteção geral de dados.

4 I RESULTADO E DISCUSSÃO

A pesquisa sobre o uso de ferramentas Big Data e Small Data, que ficou on-line por uma semana, e tinha como objetivo analisar de forma quantitativa o que os empresários e microempreendedores sabem, e/ou utilizam ferramentas como Big Data e Small Data na gestão de seus negócios. Os questionados foram pré-selecionados de acordo com suas ocupações profissionais, captados via networking de feiras e eventos que o autor deste trabalho participou ao longo de sua carreira profissional e acadêmica.

De acordo com a Lei Nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Os dados como nome, e-mail e empresa dos participantes que foram coletados durante este estudo via questionário, não serão divulgados afim de preservação do identificado, ética, profissionalismo em respeito à universidade. Porem dados analíticos e quantitativos, que julgam ser necessários para a realização deste estudo, será apresentado de forma coerente e sem manipulação, respeitando todos os resultados possíveis.

Todos os 30 participantes, concordaram com os termos apresentados a eles para responder tais questões, ver questionário em anexo I.

Na primeira questão relevante ao estudo, é perguntado o cargo de ocupação do questionado, tendo em vista que o objetivo deste trabalho é procurar identificar quais cargos têm maior adaptação e responsabilidades na gestão do negócio e nas tomadas de decisões, envolvendo as ferramentas base deste estudo.

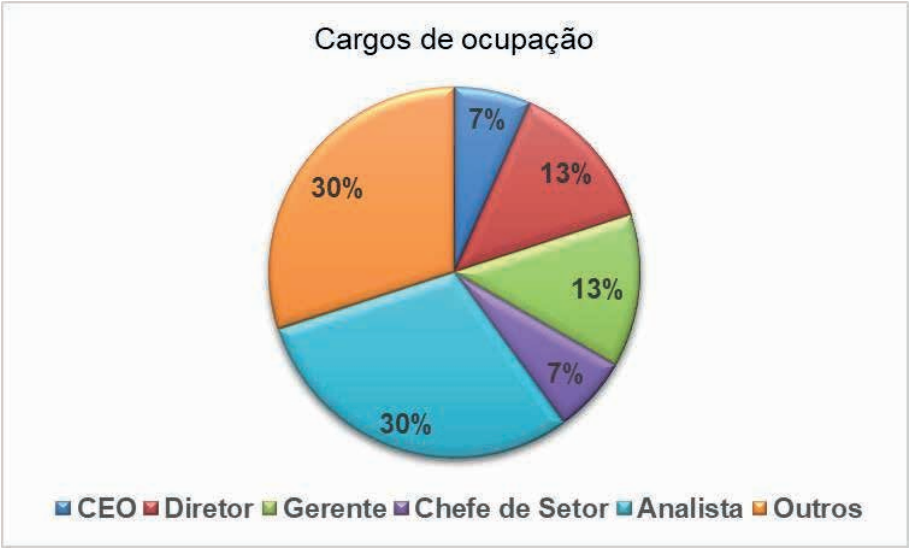


Figura 2: Cargos de Ocupação

Fonte: Autores

Os cargos de chefe de setor, analistas e outros não representam peso significante na tomada de decisões finais dentro de uma empresa, sendo assim não há como considerá-los de tal importância neste estudo, porém seus dados foram compilados a fim de aprimoramento de estudo.

Na segunda questão, fora perguntado a atuação da empresa, dentro dos segmentos de indústria, comércio ou serviço.

Figura 3: Segmento de atuação das empresas

Fonte: Autores

Importante notar que nestes dados, a prestação de serviço se sobressai entre o comércio e a indústria. Dado este que demonstram claramente a participação dos micro e pequenos negócios do estado de São Paulo na economia, as distribuições segundo dados do SEBRAE, (2018) apresentam participação de 41% em serviços, 37% do comércio e 12% da indústria, 11% seria representado por outros setores como agropecuária e construção.

Em seguida, na questão três, a pergunta girou em torno do faturamento médio anual da empresa, e os dados apresentados sugerem que a empresa de aproximadamente 13 questionados bate no limite da considerada empresa de pequeno porte.

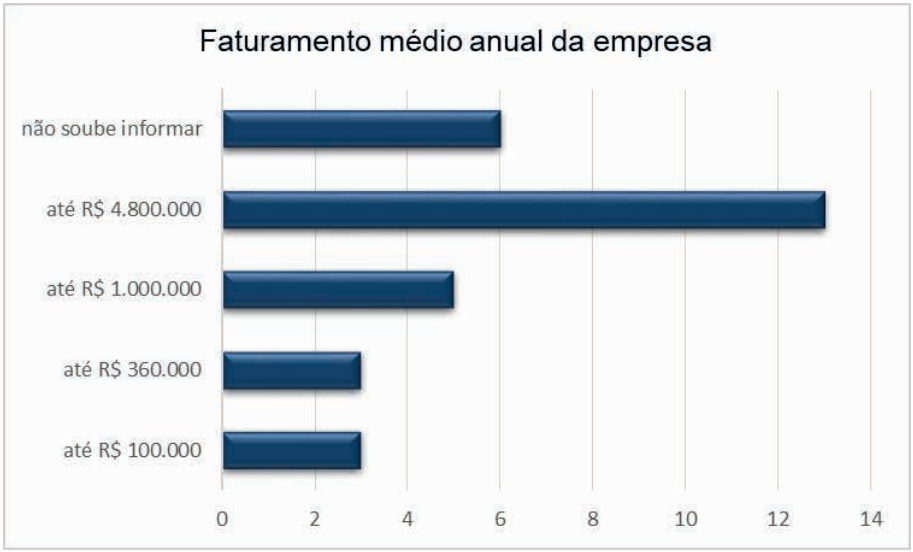


Figura 4: Faturamento médio anual das empresas dos questionados

Fonte: Autores

De acordo com dados do SEBRAE, (2019); para ser considerado microempreendedor individual, o faturamento médio anual não deve ultrapassar R$ 81 mil reais, já para uma microempresa, o faturamento anual não deve ultrapassar os R$ 360 mil reais, já para empresas de empresas consideradas pequeno porte o faturamento deve ser no máximo, R$ 4,8 milhões de reais.

A quarta pergunta e voltada à identificação dos participantes e das empresas que eles atuam, antes de iniciar as questões voltadas ao Big Data e Small Data e suas utilizações dentro da empresa, foi perguntado a região de atuação das empresas, apesar do estudo focar somente no âmbito regional do estado de São Paulo, algumas empresas podem conter filiais, ou representante em outros estados, como também podem ser multinacionais.

Figura 5: Região onde a empresa atua

Fonte: Autores

Nas regiões onde as empresas atuam, a região sudeste teve maior prevalência entre os demais, representando 70%, seguido das multinacionais com 13% de representatividade, e 7% nas regiões Sul e Norte, já a região Nordeste, não teve nenhuma atuação, sendo descartado neste estudo. Entretanto, no assunto central da pesquisa, as perguntas a seguir focam somente no quesito conhecimento Big Data, Small Data e a utilização dessas ferramentas dentro do âmbito empresarial atuante pelo entrevistado.

A pergunta sobre se os questionados conhecem as ferramentas Big Data e Small Data, resultaram nos seguintes resultados, 9 pessoas desconhecem o termo, já 21 conhecem.

Já na quinta questão, fora perguntado se a empresa utiliza as ferramentas de Big Data e Small Data nas tomadas de decisões, resultando nos seguintes dados:

Figura 6: Coleta e análise de dados na tomada de decisões

Fonte: Autores

Dos 30 pesquisados, aproximadamente, 7% dos pesquisados, não sabem se a empresa utiliza ou não ferramentas para a coleta de dados e a utilização dos mesmos para a tomada de decisão final. Já 83% responderam que sim, a empresa utiliza métodos como Big Data e Small Data para a coleta e análise de dados e consequentemente a tomada de decisão baseado em dados.

Na sexta questão foi perguntado qual ferramenta para a coleta de dados a empresa utiliza, levando em conta o resultado da questão anterior, apenas 83% puderam responder à pergunta. A pergunta ficou em aberto para o questionado escrever quais ferramentas a empresa utiliza, o resultado foi o seguinte:

Figura 7: Ferramentas utilizadas para coletar dados

Fonte: Autores

Outros representam outras empresas, atividades que fogem do padrão, os restantes dos dados representam a padronização das respostas, grande parte utiliza o Google como fonte primaria de coleta de dados, já 20% das empresas, utilizam empresas terceirizadas para a coleta de dados, apenas 17% tem setor próprio dentro da empresa para a coleta e análise de dados.

A sétima questão envolve a competitividade empresarial, onde a questão pergunta se a empresa utiliza algum método diferente para aumentar a competitividade ante os concorrentes.

Para alguns autores, como é o caso do Porter, (1999); as empresas definem como percepção de valor pelo consumidor aquilo que agrega valor a suas utilidades, sendo que, para suprir a necessidade do consumidor, a empresa deve oferecer não somente um produto, mas uma experiência de compra para este cliente.

Já para a empresa TOTVS, 2019, responsável pela comercialização de Big Dadas para micro e pequenos negócios, as empresas de pequeno porte tem a obrigação de trabalhar em cima de dados práticos e simples que possam ser utilizados para aumentar o desempenho perante os concorrentes e poder aumentar suas vendas.

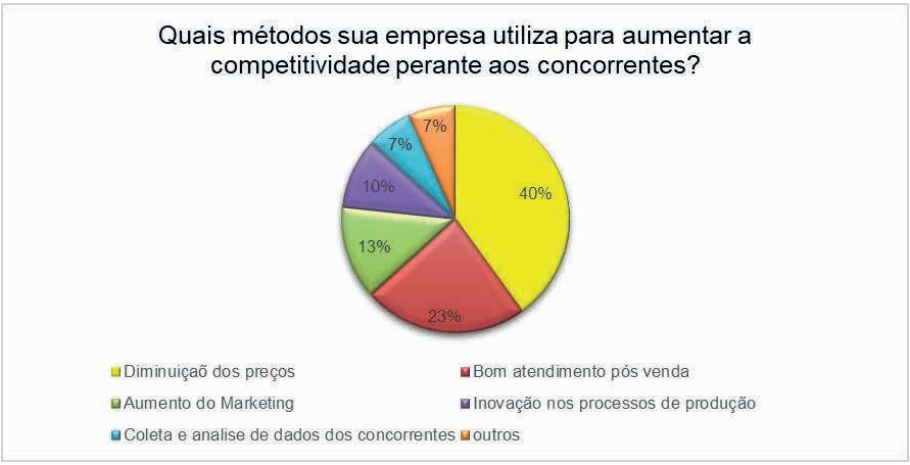


Figura 8: Métodos utilizados para aumento da competitividade

Fonte: Autores

Podemos notar que os resultados são homogêneos, 86% das respostas estão todos voltados em atingir diretamente o consumir, exceto 7% que diz que sua empresa analisa dados coletados dos seus concorrentes, 7% que representa outros, não foram contabilizados por conter muita variância entre suas respostas.

Segundo uma pesquisa referente a estratégia empresarial do SEBRAE, 2019, as mais utilizadas pelos micro e pequenos empreendedores no estado de São Paulo, tem sido em ações de marketing e inovações nos processos de produção, como demonstra a tabela

a seguir.

Figura 9: Ações de estratégia para aumento das vendas nas MPEs

Fonte: Autores

Considerando a comparação entre os resultados obtidos pela pesquisa própria do autor, com os disponibilizados pelo SEBRAE em sua pesquisa envolvendo mais de 3.920 micro e pequenas empresas paulistas, podemos notar que ambos resultam nos principais princípios onde, o marketing, redução de preços e melhoramento na produção estão entre os que mais se destacam nas tomadas de decisões que os empresários tomam para lidar com o aumento da competitividade entre empresas.

A nona questão trata-se sobre a percepção dos questionados referente aos resultados obtidos através das ferramentas que é utilizado dentro das empresas que eles atuam, levando em consideração apenas as ferramentas que aumentam a competitividade.

Figura 10: Satisfação dos resultados após metodologias da coleta e análise de dados

Fonte: Autores

A competitividade fundamental começa com a percepção de dentro para fora e de fora para dentro, onde fatores estruturais, princípios e ideias preponderam à forma em que a empresa irá atuar mediante a seus concorrentes, já os fatores externos, aqueles ligados ao concorrente, motiva a empresa em si a buscar constante evolução (PORTER, 1999).

A última questão sobre o estudo, trata-se de uma pergunta simples e objetiva, onde foi questionado se a empresa aplica algo ligado a sustentabilidade na cadeia produtiva ou de serviços, 29 dos 30 responderam que sim.

O estudo ainda completa os dados analisados aqui com estudo da empresa TOTVS, onde o autor deste trabalho fora a uma apresentação do portfólio de produtos da empresa, voltados a entregar Big Dados já filtrados para as micro e pequenas empresas por um preço acessível. Segundo a empresa TOTVS, (2019), os dados coletados são por via de duas mãos, onde o cliente da empresa obtém dados de outros concorrentes através da mesma plataforma que a utiliza, assim os dados coletados no caixa das empresas são enviados aos servidores da TOTVS e compartilhados com os outros clientes, podendo ter total acesso aos produtos comercializados, preços, localidade e datas.

Ao perguntar para a empresa sobre questões de privacidade, a empresa respondeu que a coleta é apenas quantitativa, sem exposição de clientes, não ferindo assim a Lei Nº 13.709, de 14 de agosto de 2018.

No que tange ao Small Data e suas aplicações, o Small Data é o contrário do Big Data, podendo oferecer ao microempresário detalhes que podem ser utilizados para se destacar ante seus concorrentes, basta coletar essas informações relevantes à tomada

de decisão, por questionários diretamente aos clientes, uma análise da vestimenta, um detalhe nas bijuterias das mulheres clientes que entram nas lojas, ou até mesmo um tênis velho, é capaz de gerar informações uteis para quem saiba interpretar tais dados (MARTIN L, 2016).

5 I CONSIDERAÇÕES FINAIS

Toda empresa necessita de competitividade para sobressair perante seus concorrentes e desta forma assim sobreviver ao mercado, com as MPEs não é diferente, o grande problema encontrado neste estudo foi que, apenas 25,4% delas sobrevivem a mais de dois anos, porém a sua importância significa números expressivos na economia nacional e estadual. Mais da metade dos empregos formais em São Paulo, aproximadamente 51%, é gerado por MPEs, e sua representatividade no PIB do Brasil foi de 27% em 2014.

As MPEs tem grande representatividade de todo CNPJ registrado no Brasil, o faturamento máximo para microempresas no valor de R$ 360 mil e para ser consideradas pequenas empresas o faturamento máximo é de R$ 4.8 milhões, 1% fica por conta das médias empresas, essas caracterizadas por faturamento entre R$ 6 milhões até R$ 20 milhões e 1% fica com empresas de grande porte, isto é, aquelas que faturam acima dos R$ 50 milhões de reais.

A ferramenta Big Data é formada por grande volume de dados, que por sua vez são estruturados e não estruturados, onde o estruturado é aqueles dados já filtrados e utilizáveis para uso da empresa, os não estruturados são dados brutos, que envolvem arquivos, vídeos, imagens, e todo tipo de arquivos existentes. Também Big Data significa a complexa rede de internet que move o mundo global e sua conectividade entre aparelhos moveis e fixos, assim como toda informação coletada de formas diversas. O Small Data é o oposto do Big Data, são detalhes que podem servir como fonte de inspiração para inovação, que por sua vez, aumenta a competitividade da empresa, tais informações ou observações são coletados de formas diversas, desde anotações em papéis, como pequenas conversas interpessoais, observações diárias, questionários físicos e virtuais ou até mesmo preferências pessoais dos clientes.

No que diz respeito a pesquisa estatística da amostra coletada, o setor de serviços seguido do comércio, são os setores que tem sua maior relevância na atuação do mercado e são os que mais geram empregos. Apesar de 83% das empresas coletarem dados para análise, apenas 10% possuem setor próprio e 20% terceirizam a captação de dados relevantes.

O método mais utilizado pelas empresas para aumento da competitividade é a diminuição dos preços e o bom atendimento em pós-vendas, seguindo pelo marketing. Todos os dados coletados, filtrados e utilizados são presentes em 28 empresas da pesquisa.

Seja pela grande quantidade de dados, Big Datas, ou pelos detalhes do Small Data,

a informação no século XXI e sua interpretação é fundamental para a tomada de decisões dentro das empresas e consequentemente pelo aumento da competitividade entre seus concorrentes. O mais importante além da informação é a mensuração e a interpretação dessas informações, pois, a quantidade de dados não determina o sucesso, por isso ter uma equipe bem qualificada para tratar desses assuntos dentro das MPEs é fundamental para que a informação seja transformada em uteis e assim agreguem valores e informações a empresa de forma que provem benefícios tangíveis.

As MPEs movimentam o PIB brasileiro de acordo com dados do SEBRAE, com grande representatividade, movimentando setores produtivos e principalmente de serviços, e com investimento, conhecimento e aplicação das ferramentas Big Data e Small Data na tomada de decisões e estratégias de mercado a tendência é crescer de forma sustentável, agregando valor e se mantendo no mercado com competitividade. Essas empresas têm de estar totalmente em sintonia com essas ferramentas e com isso aptas a ter um atendimento diferenciado e personalizado aos seus consumidores a pequenas cooperativas, catadores de recicláveis e promovendo o desenvolvimento sustentável dentro das grandes corporações, movido por lucros e reutilização de produtos.

REFERÊNCIAS

AGUINALDO, A. F.; Vladimir, F. A.; 2014. Implantando a governança em ti, da estratégia a gestão dos processos e serviços. 4ed. Editora Brasport. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

BAUMAN, Z. 2008. Vida para o consumo: a transformação das pessoas em mercadoria. 1ed. Editora: Jorge Zahar. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

CLAYTON Cunha. Big Data e Small Data: Há Semelhanças e Diferenças, mas é tudo CRM. Disponível em: <https://www.implantandomarketing.com/big-data-e-small-data-ha- semelhancas-e-diferencas-mas-e-tudo-crm/>. Acesso em 01, mai. 2021.

CLOVIS B. 2019. Ruptura No Modelo Tradicional Das Empresas. 1ed. Editora Clovis Bergamo. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

CUKIER, Kenneth & Schonberer, Mayer. 2014. Big Data: como extrair volume, variedade, velocidade, e valor das informações do cotidiano. 1ed. Editora: Marinerbooks. Bussines of Science. Canadá. p. 44-51.

Data Sciences Group [DSG]. Big Data Solutions & Analysts. Disponível em<http://www.datasciencesgroupinc.com/big-data.html>. Acesso em 02 abr. 2021.

FILHO, C. G. 2014. Entendendo o comportamento do consumidor na era do Big Data: Tendências, oportunidades e desafios para a pesquisa de marketing. 1ed. Editora: ANPARD. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

JAY b.; Willian S. H. 2017. Administração estratégica e vantagem competitiva. 5ed. Editora Pearson. São Paulo, SP, Brasil.

FLEURY, Afonso C.C; Maria Tereza Leme. 2003. Estratégia competitivas e competências essenciais. Gestão & produção, v.10, n2, p. 129-135.

HENKE, Nicolaus. 2016. The age of analytics: Data-Driven word. 1e. Editora: McKinsey Global Institute report, New York, Estates of American.

KENNETH, C.; Laudon; Jane P. L. 2014. Sistema De Informação Gerenciais. 11ed. Editora Pearson. São Paulo, SP, Brasil.

LUIZ G. A.; Flávia F. 2019. Administração, sistema e ambientes. 1ed. Editora Intersaberes. São Paulo, SP, Brasil.

MARTIN L. 2016. A Lógica Do Consumo. 1ed. Editora Harpes Collins, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

MARTIN L. 2016. Small data, como poucas pistas indicam grandes tendências. 1ed. Editora Harpes Collins, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

MACMILLAN; Scott Shane, S.; S. Venkataraman. 1995. Cultural Differences in Innovation Championing Strategies. Ed.21, Editora: Strategic Entrepreneurship. New York, Estates of American.

MICHEL L. S. 2018. Big Data, capacitações dinâmicas e valor para o negócio. Monografia. Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. São Paulo, SP, 2018.

MOURA; Margarida Maria. 2004. Nascimento da antropologia cultural: a obra de Franz Boas. 1ed. Editora: Hucitec, São Paulo, SP, Brasil.

Next Gurukui. Small Data is as Important as Big Data in K-12 Sector. Disponível em<https://www.nextgurukul.in/KnowledgeWorld/technology-in-education/big-data-k-12- sector/>. Acesso em: 25 Abril 2021.

PORTER, M.E. 1999. Strategy and the internet. Harvard Business Review, v. 79, n. 3, p. 55-64.

PLÍNIO R. R. M. 2015. Percursos, oportunidades e desafios para a modelagem em marketing na era da big data. Revista interdisciplinar de marketing, Universidade Federal de Minas Gerais. Mai. 2015. Pag. 01 – 07.

PLÍNIO R. R. M. 2018. Fatores críticos de sucesso para ferramentas de business analytics. Dissertação de Mestrado. Escola politécnica. São Paulo, SP, Brasil.

Revista EXAME. As emoções e o poder do Small Data. Disponível em: <https://exame.abril.com.br/economia/numeros-vs-emocoes-o-poder-do-small-data/>. Acesso em: 15 Abril 2021.

RUBENS C. 2017. Modelagem de processos de negócios, roteiro para realização de projetos de modelagem de processos de negócios. 1ed. Editora Brasport. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Renato Carbone. 2018. A hora e a vez do Small Data. Disponível em: < https://monitordigital.com.br/a-hora-e-a-vez-do-small-data>. Acesso em: 04 Maio 2021.

Lohr, S. 2012. The age of Big Data. 1ed. Editora: The New York Times. New York, Estades of American. P. 1 – 3.

SEBRAE. 2013. Inovação nos pequenos negócios. Disponível em: < http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/sebraeaz/cadernos-de-inovacao-em-pequenos-negocios,d2212a1b5635a410VgnVCM2000003c74010aRCRD>. Acesso em: 27 Abril 2021.

SEBRAE. 2016.Relatório especial: benefícios de ser empreendedor. Disponível em: <https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/d74857fda860592cc2f794c772fd3e0e/$File/7202.pdf>. Acesso em: 30 Abril 2021.

SEBRAE. 2017. Pequenos negócios com potencial de alto impacto. Disponível em: < http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/ea939504f8fba7a982d13c4ce90a3f93/$File/7605.pdf>. Acesso em: 01 Abrl 2021.

SEBRAE. 2018. Expectativa de micro e pequenos negócios para 2018. Disponível em: <https://www.sebraemg.com.br/atendimento/bibliotecadigital/documento/Diagnostico/Expect ativa-dos-pequenos-negocios-para-2018>. Acesso em: 30 Março 2021.

SEBRAE.2018. Panorama dos pequenos negócios, 2018.Disponível em: <https://m.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/SP/Pesquisas/Panorama_dos_Pequenos_Negocios_2018_AF.pdf>. Acesso em: 12 Maio 2021.

SEBRAE. 2019. Quem são os pequenos negócios? Disponível em: <https://m.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/estudos_pesquisas/quem-sao-os-pequenos-negociosdestaque5,7f4613074c0a3410VgnVCM1000003b74010aRCRD>. Acesso em: 04 Abril 2021.

O'Hair Allison & Bertsimas, Dimitris. 2016. The analytics Edge. 1ed. Editora: Dynamic ideas LLC.
Henke, Nicolaus. 2016. 1ed. Editora: The age of analytics: Data-Driven word. Estates of American.

TOTVS. 2019. Entenda o potencial da Internet das Coisas para transformar os seus resultados hoje. Disponível em: <https://www.totvs.com/espaco-omnichannel/<. Acesso em: 15 Maio 2021.

TOTVS. 2019. Entenda o potencial do Omnichannel para transformar os seus resultados. Disponível em: <https://www.totvs.com/internet-das-coisas/<. Acesso em: 15 Abril 2021.

Tristán Elósegui. Small Data, el paso previo al Big Data. Disponível em: <https://tristanelosegui.com/2014/04/06/small-data-el-paso-previo-al-big-data/>. Acesso em: 17 Abril 2021.

Tudo sobre Incentivos [TSI]. Small Data: as causas e os motivos nas pequenas informações. Disponível em: <https://tudosobreincentivos.com.br/small-data/<. Acesso em: 06 Abril 2021.

VIVIAN P. C. 2013. A tomada de decisões no contexto Big Data. Monografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Brasil.

VLAD Brener. What is The Difference Between Big Data and Small Data. Disponível em: <http://www.312analytics.com/what-is-the-difference-between-big-and-small-data/>. Acesso em 22 Abril 2021.

Wharton University of Pennsylvania, Revista Amanhã. Por que o Small Data é o novo Big Data. Disponível em: <http://www.amanhã.com.br/posts/view/2092<. Acesso em: 26 Abril 2021.

Wharton University of Pennsylvania. 2016. Por que o Small Data é o novo Big Data. Disponível em: <http://www.knowledgeatwharton.com.br/article/por-que-o-small-data-e-o- novo-big-data/>. Acesso em: 15 Abril 2021.

CAPÍTULO 22

VULNERABILIDADES DE NUVENS COMPUTACIONAIS

Data de aceite: 01/09/2023

Jhoyce Kelly Bonfort Santos
Universidade de Vassouras
Vassouras-RJ

David Caravana de Castro Moraes Ricci
http://lattes.cnpq.br/5353303642350569

RESUMO: A segurança na nuvem é uma disciplina de segurança cibernética dedicada a proteger sistemas de computação em nuvem. Isso inclui manter os dados privados e seguros em toda a infraestrutura, aplicativos e plataformas online. Proteger esses sistemas envolve os esforços dos provedores de nuvem e dos clientes que os utilizam. Os provedores de serviços em nuvem hospedam os serviços em seus servidores por meio de conexões de Internet sempre ativas. Como sua empresa depende da confiança do cliente, os métodos de segurança na nuvem são usados para manter os dados do cliente privados e armazenados com segurança. No entanto, a segurança na nuvem também está parcialmente nas mãos do cliente. Compreender ambas as facetas são fundamentais para uma solução de segurança em nuvem saudável. Sendo assim, o objetivo do presente trabalho é apresentar a vulnerabilidade de nuvens computacionais. A metodologia é de referencial bibliográfico.

PALAVRA-CHAVE: Computação em nuvem. Segurança cibernética. Provedor de nuvem.

COMPUTING CLOUD VULNERABILITIES

ABSTRACT: Cloud security is a cybersecurity discipline dedicated to protecting cloud computing systems. This includes keeping data private and secure across infrastructure, applications and online platforms. Securing these systems involves the efforts of cloud providers and the customers who use them. Cloud service providers host the services on their servers over always-on internet connections. As your business depends on customer trust, cloud security methods are used to keep customer data private and securely stored. However, cloud security is also partly in the hands of the customer. Understanding both facets are critical to a healthy cloud security solution. Therefore, the objective of this work is to present the vulnerability of computational clouds. The methodology is based on a bibliographic reference.

KEYWORDS: Cloud computing. Cyber security. Cloud provider

1 I INTRODUÇÃO

A segurança na nuvem é o conjunto de estratégias e práticas para proteger dados e aplicativos hospedados na nuvem. Assim como a segurança cibernética, a segurança na nuvem é uma área muito ampla e é impossível evitar todos os tipos de ataques. No entanto, uma estratégia de segurança em nuvem bem projetada reduz muito o risco de ataques cibernéticos.

A computação em nuvem normalmente, diante de tanto risco ainda é considerada mais segura quando comparada a computação local, visto que, os provedores de nuvem possui mais recursos de segurança e é capaz de manter os dados mais seguros, o que de fato obriga os provedores de nuvem a manter uma infraestrutura mais atualizada, com constante correção de possíveis vulnerabilidade de maneira mais rápida.

A segurança na nuvem é toda a tecnologia, protocolos e práticas recomendadas que protegem os ambientes de computação em nuvem, os aplicativos executados na nuvem e os dados armazenados na nuvem. A segurança na nuvem começa com a compreensão exata do que está sendo protegido, bem como quais aspectos do sistema precisam ser gerenciados.

O desenvolvimento do suporte contra vulnerabilidades de segurança está, em grande parte, nas mãos dos provedores de serviços em nuvem. Além de escolher um provedor preocupado com a segurança, os clientes precisam se concentrar acima de tudo na configuração adequada do serviço e nos hábitos de uso seguro, devem garantir que o hardware e as redes do usuário final estejam devidamente protegidos.

Uma segurança de nuvem fraca pode expor usuários e provedores a todos os tipos de ameaças de segurança cibernética. Algumas ameaças comuns à segurança na nuvem incluem: riscos de infraestrutura baseados em nuvem, incluindo plataformas de computação herdadas incompatíveis e interrupções em serviços de armazenamento de dados de terceiros; ameaças internas devido a erro humano, como configuração incorreta dos controles de acesso do usuário; e ameaças externas causadas quase exclusivamente por agentes mal-intencionados, como malware, phishing e ataques DDoS.

Diante disso surge a seguinte questão: Quais são os problemas de segurança na nuvem? Para responder à questão o objetivo do presente trabalho é apresentar a vulnerabilidade de nuvens computacionais. A metodologia é referencial bibliográfico.

2 I DESENVOLVIMENTO

As principais tecnologias voltadas para a segurança na nuvem, possui estratégias tecnológicas como a criptografia, cujo sistema embaralha todos os dados para que somente as partes autorizadas podem entender as informações que estão guardadas. Sendo assim, se invasor tentar invadir a nuvem de um cliente ou empresa e não encontrar a criptografia,

terá a oportunidade de fazer qualquer tipo de ação maliciosa com esses dados, como vende-los, vaza-los, ou usar os mesmos para um ataque, entre outras coisas. (MELO, 2022).

Contudo, se esses dados estiverem criptografados o invasor somente encontrará os dados protegidos, ou seja, criptografados e não poderá fazer nada, exceto se de alguma maneira encontrar a chave da criptografia, o que praticamente é impossível. Por isso a criptografia ajuda a prevenir ataques de invasores evitando divulgação ou vazamento dos dados, mesmo diante de falhas de outras medidas de segurança. (SILVA, 2019).

A criptografia dos dados pode ocorrer de duas formas, ou seja, em trânsito – que seria no mesmo tempo que estiver sendo enviado a outro lugar e em repouso, que seria o momento que está sendo armazenado. É importante que a criptografia seja realizada dessas duas maneiras, pois isso evitará que possíveis invasores possam intercepta-los e ainda realizar a leitura. (PETER; CHRISTIAN, 2019).

A modalidade da criptografia em trânsito precisa abordar os dados que trafegam entre um usuário e em nuvem. Esses dados que trafegam de uma nuvem para outra é como uma nuvem híbrida ou ambiente *multicloud.* Sendo assim, os dados tem que ser criptografados quando estão sendo armazenados dentro de um banco de dados ou ainda a partir de serviços de armazenamento de nuvem. (MELO, 2022).

Vale mencionar que, se as nuvens multicloud ou híbrida estiverem conectadas diretamente na camada de rede, a criptografia pode acorrer em trafego por VPN. E se a conexão for por camada de aplicativo, essa criptografia ocorre em SSL/TLS, pois o mesmo precisa criptografas o tráfego entre nuvem e usuário. (SILVA, 2019).

De acordo com Peter e Christian (2019), no Gerenciamento de Identidade e Acesso (GIA) o rastreamento é na identificação do usuário e o que o mesmo pode fazer, como também ocorre a autorização e negação do acesso para aqueles que não são autorizados. O GIA é de grande importância na computação da nuvem devido a identificação do usuário e o privilégio de acesso aos dados, e não permite que a localização e ou dispositivo do usuário.

Sendo assim, o GIA reduz a ameaça de usuários que não estão autorizados em acessar ativos internos ou ainda de não fazer uso de forma excessiva aos privilégios. Para Peter e Christian (2019), o GIA de certa forma ajuda a mitigar diversas modalidades de ataques, como ataques internos e principalmente invasões de contas, podendo incluir diversos serviços de diferentes modalidades ou ainda pode ser um único serviço, mas que combina como seguintes recursos:

- Os serviços de logon único (SSO), o qual autentica identidades dos usuários para diferentes aplicativos, de forma que os usuários somente precisam fazer seu login e acessar os serviços em nuvem;

- Provedor de identidade (IdPs) o qual somente realiza a identidade do usuário;

- O serviço de Firewall, o qual controla o acesso, restringindo ou permitindo o acesso

do usuário firewall, já que o mesmo fornece na nuvem uma camada de proteção em volta dos ativos, bloqueando diretamente o tráfego de qualquer web malicioso e;

- O serviço de autenticação multifator, o qual fortalece diretamente a autenticação do usuário.

No entendimento de Silva (2019), os firewalls tradicionais são hospedados de forma local e apenas defendem o perímetro da rede, mas o firewall em nuvem se hospeda na própria nuvem e com isso forma uma forte barreira de segurança em toda a infraestrutura da nuvem.

Lembrando que a maioria do firewall relacionado a aplicativo também se encaixa nesta categoria. Os firewall de nuvem é capaz de bloquear os ataques do DDoS, cuja atividade de bot é maliciosa e possui alto grau de exploração de vulnerabilidade, e isso proporciona uma redução nos ataques cibernéticos que prejudica diretamente a infraestrutura da nuvem de qualquer organização. (SILVA, 2019).

As mais importante práticas para manter em segurança todos os dados de uma nuvem, além de todas as mencionada acima ou quaisquer produto que for adicionado na segurança, ainda não é suficiente para proteger de forma completa a nuvem, pois as melhores práticas voltadas para a segurança cibernética ainda precisa alguns requisitos. (SOUZA; MIERS, 2019).

Um desses requisitos seria a correta configuração da segurança do próprio servidor da nuvem, isto é, a partir do momento que uma organização não é capaz de configurar corretamente a segurança, poderá acontecer um vazamento dos dados, por isso, servidores em nuvem que não foi corretamente configurado tem a chance de ter seus dados públicos na internet. (THOMAZ *et al.,* 2022).

Contudo, para definir de forma correta as configurações de segurança na nuvem é necessário ter um especialista em segurança na nuvem, já que existe a possibilidade de uma colaboração próxima diretamente com o provedor da nuvem. Desta forma, Souza e Miers (2019) afirmam que políticas de segurança que sejam consistentes em nuvem e principalmente em data centers, são de fatos medidas de segurança que deve ser aplicada em qualquer e toda infraestrutura das empresas, em especial quando se tratar de nuvens públicas, local e privada. (SOUZA; MIERS, 2019).

Melo (2022) afirma que se qualquer aspecto da infraestrutura de nuvem de uma organização – com o serviço de nuvem de caráter público com o processamento de big data não for protegido com uma boa criptografia de autenticação do usuário, é bem provável que ocorra invasão atacando diretamente o elo mais fraco. (MELO, 2022).

Em planos de backup, conforme qualquer outro tipo de segurança, precisa existir um plano para ser usado quando as coisas derem errado e sair do controle e der tudo errado. É muito importante que todos os dados sejam copiados para evitar perde-los mediante uma adulteração ou mesmo por perde-los. Devendo sempre existir um plano *failover* vigorando para que jamais haja interrupção dos processos de negócios caso a segurança da nuvem

falhar. (THOMAZ *et al.,* 2022).

Conforme afirma Thomaz et al., (2022) as vantagens da nuvem híbridas ou multicloud é que diferentes nuvens podem permite fazer bachup de forma simultânea, ou seja, o armazenamento de dados na nuvem também pode ser realizado em um banco de dados local.

Por isso, é muito importante a capacitação de funcionários e usuários, pois a porcentagem mais de violação dos dados acontece devido um ataque de *phishing*, que acabou sendo instalado um malware sem saber, ou seja, a partir do uso de um dispositivo que esteja desatualizado e totalmente vulnerável. Após a capacitação, certamente existe uma redução do risco de sofrer um ataque de malware. (THOMAZ *et al.,* 2022).

O maior risco representado pela nuvem é que não há perímetro. A segurança cibernética tradicional se concentra na proteção do perímetro, mas os ambientes de nuvem são altamente conectados, o que significa interfaces de programação de aplicativos (APIs) inseguras e sequestros de contas podem representar problemas reais. (SOUZA; MIERS, 2019).

Diante dos riscos de segurança que afetam a computação em nuvem, os profissionais de segurança cibernética devem adotar uma abordagem mais centrada nos dados. A interconexão também apresenta problemas para as redes. Atores mal-intencionados geralmente acessam redes devido a credenciais comprometidas ou fracas. (MELO, 2022).

Depois que um hacker obtém acesso a uma rede, ele pode facilmente se espalhar e usar as interfaces mal protegidas da nuvem para localizar dados em diferentes bancos de dados. Pode até usar seus próprios servidores em nuvem como destino para exportar e armazenar os dados roubados. A segurança tem que estar na nuvem e não servir como elemento exclusivo de proteção contra o acesso aos dados ali armazenados. (THOMAZ *et al.,* 2022).

O armazenamento de dados por terceiros e o acesso via Internet também representam suas próprias ameaças. Se, por qualquer motivo, esses serviços forem interrompidos, o acesso aos dados poderá ser perdido. Por exemplo, uma interrupção na rede telefônica pode significar que a nuvem não pode ser acessada em um momento essencial. (SOUZA; MIERS, 2019).

Como alternativa, uma queda de energia pode afetar o data center onde os dados são armazenados, o que pode levar à perda permanente de dados. Tais interrupções podem ter repercussões de longo prazo. Uma queda de energia em uma instalação de dados em nuvem da Amazon resultou na perda de alguns dados do cliente devido a falhas de hardware do servidor. Este é um bom exemplo de por que deve ter backups locais de pelo menos alguns dados e aplicativos. (THOMAZ *et al.,* 2022).

O que torna a segurança na nuvem diferente é que a segurança tradicional do computador passou por uma imensa evolução devido à mudança para a computação baseada em nuvem. Embora os modelos de nuvem permitam maior conveniência, a

conectividade sempre ativa requer novas considerações para mantê-la segura. A segurança na nuvem, como uma solução de segurança cibernética modernizada, difere dos modelos de computação herdados de algumas maneiras. (MELO, 2022).

A *Data Warehousing* – A maior distinção é que os modelos de TI mais antigos dependiam fortemente do data *warehousing* local. As empresas há muito descobriram que criar todas as plataformas de computação internas para controles de segurança granulares e personalizados é caro e rígido. As plataformas baseadas em nuvem ajudaram a transferir os custos de desenvolvimento e manutenção de sistemas, mas também a remover algum controle dos usuários. (THOMAZ *et al.,* 2022).

A velocidade de dimensionamento, da mesma forma, a segurança na nuvem exige atenção exclusiva ao dimensionar os sistemas corporativos de TI. A infraestrutura e os aplicativos centrados na nuvem são altamente modulares e rapidamente mobilizados. Embora essa capacidade mantenha os sistemas consistentemente ajustados às mudanças nos negócios, ela também apresenta problemas quando a necessidade de melhorias e conveniência de uma empresa supera sua capacidade de acompanhar a segurança. (SOUZA; MIERS, 2019).

Em relação a interface do sistema do usuário final, para empresas e usuários individuais, os sistemas em nuvem também se conectam a muitos outros sistemas e serviços que precisam ser protegidos. As permissões de acesso devem ser mantidas desde o nível do dispositivo do usuário final até o nível do *software* e até mesmo o nível da rede. Além disso, fornecedores e usuários devem estar cientes das vulnerabilidades que podem causar por meio de acesso inseguro ao sistema e comportamentos de configuração. (MELO, 2022).

Quanto a proximidade com outros dados e sistemas em rede, como os sistemas em nuvem são uma conexão persistente entre os provedores de nuvem e todos os seus usuários, essa importante rede pode comprometer até o próprio provedor. Em ambientes de rede, um único dispositivo ou componente fraco pode ser explorado para infectar o restante. (THOMAZ *et al.,* 2022).

Os provedores de nuvem se expõem a ameaças dos muitos usuários finais com os quais interagem, estejam eles fornecendo armazenamento de dados ou outros serviços. Responsabilidades adicionais pela segurança da rede recaem sobre os fornecedores cujos produtos entregues, de outra forma, dependeriam apenas dos sistemas dos usuários finais e não dos seus próprios. (MELO, 2022).

3 I CONCLUSÃO

Resolver a maioria dos problemas de segurança na nuvem significa que tanto os usuários quanto os provedores de nuvem, tanto em ambientes pessoais quanto empresariais, devem ser proativos em relação às suas próprias funções de segurança

cibernética.

Essa abordagem em duas frentes significa que usuários e provedores precisam abordar o seguinte: configuração e manutenção segura do sistema; educação em segurança do usuário, tanto no nível comportamental quanto no nível técnico. Sendo assim, conclui que os provedores e usuários de nuvem devem ter transparência e responsabilidade para garantir que ambas as partes estejam seguras.

REFERÊNCIAS

MELO, V. R. **Computing cloud:** vulnerabilidade de nuvens computacionais com ênfase na infraestrutura da Google. São Luís: Centro Universitário UNDB, 2022.

MELO, A O. **As *fake news* e seu potencial risco para a segurança de ativos informacionais pessoais:** um estudo acerca das vulnerabilidades dos estudantes do Centro de Ciências Sociais Aplicadas da UFRN. 2022. 129f. Monografia (Graduação em Biblioteconomia) - Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

PETER, L. N; CHRISTIAN, M. C. **Caracterização do tráfego de rede de nuvens computacionais OpenStack com ênfase na segurança de contêineres.** In: ESCOLA REGIONAL DE ALTO DESEMPENHO DA REGIÃO SUL (ERAD-RS), 19., 2019, Três de Maio. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2019. ISSN 2595-4164.

SILVA, M. P. H. **Uma metodologia para melhorar a segurança em ambientes de computação em nuvem:** estudo de caso 2019. 41 f. TCC (Graduação em Redes de Computadores) - Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá, Quixadá, 2019.

SOUZA V. O. K; MIERS, C. **Uma análise de segurança no uso de contêineres do tipo Docker em nuvens IaaS OpenStack**. In: ESCOLA REGIONAL DE ALTO DESEMPENHO DA REGIÃO SUL (ERAD-RS), 19., 2019, Três de Maio. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2019. ISSN 2595-4164.

THOMAZ, G. A.; *et al.,* **CACIC:** Controle de Acesso Confiável Usando Enclaves a Dados em Nuvem da Internet das Coisas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS (SBRC), 40., 2022, Fortaleza. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2022. p. 573-586. ISSN 2177-9384. DOI: https://doi.org/10.5753 /sbrc.20 22.222377.

MARIANA NATALE FIORELLI FABICHE - Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Paranaense (2009-2013), com especialização em Gestão de Projetos e Obras de Edificações pela Universidade Estadual de Maringá (2014-2016). Obteve seu Mestrado em Engenharia Urbana pela Universidade Estadual de Maringá (2014-2016) e doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Londrina (2018-2023). Atuou como Professora horista na Universidade Paranaense nas áreas de Engenharia Civil e Arquitetura entre os anos de 2017-2022, bem como contribuía e participava do quadro do colegiado do curso. Atualmente (2021- Atual) é professora do Departamento de Tecnologia (DTC) nos cursos de Engenharia Civil e Tecnologia da Construção civil da Universidade Estadual de Maringá Campus de Umuarama, lecionando disciplinas de Conforto térmico, Hidrologia, Hidráulica I, Laboratório de Hidráulica, Materiais de Construção, Gerenciamento de Obras. Participa efetivamente em orientações de TFC bem como em orientações de estágio supervisionado e obrigatório nos cursos lecionados.

B

Big Data 301, 302, 303, 304, 306, 307, 308, 309, 310, 312, 314, 315, 316, 320, 321, 322, 323, 327

Bioadsorvente 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105

C

Células 5, 162, 164, 165, 166, 169, 170, 171, 172, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 241, 242, 243, 245, 246, 247, 248, 259, 287

Chuva 14, 15, 16, 17, 18, 90, 91, 93, 94, 95, 96, 97, 98

Ciclo hidrológico 214, 224, 230

Cisalhamento 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40

Competitividade 43, 87, 301, 302, 303, 305, 306, 312, 317, 318, 319, 320, 321

Computação em nuvem 252, 324, 325, 328, 330

Concreto 4, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 36, 37, 39, 40, 72, 218

Concreto pré-moldado 25, 40

Covid-19 42, 52, 89, 100, 188, 189, 190, 191, 193, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 267

Custos 41, 42, 43, 46, 50, 51, 52, 59, 62, 101, 146, 189, 203, 252, 304, 306, 310, 329

D

Desempenho térmico 10, 12, 68, 69, 79

Diagnóstico 45, 81, 82, 84, 171, 195, 197, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 239, 241, 242, 243, 248, 249, 250, 267

E

Efluentes 105, 106, 108, 111, 112, 113, 140, 143

Estamparia 42, 46, 47, 48, 49, 52

Estimativa de parâmetros 162, 163

F

Feridas malignas cutâneas 81, 82, 83, 85

Ferramenta computacional 203, 212

Fluxograma 34, 44, 45, 49, 178, 208

Fontes de energia 144, 145

Fotocatalisador 108, 134

G

Grau de severidade 144, 151, 154, 159, 160

I

Infraestrutura 17, 18, 251, 252, 253, 256, 257, 264, 282, 283, 324, 325, 327, 329, 330

Inteligência artificial 54, 56, 57, 58, 82, 188, 189, 191, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 266, 269, 270, 272, 278, 281, 292, 293, 294, 302, 307, 309, 310

Intensidade 15, 18, 90, 91, 110, 126, 127, 128, 145, 149, 150, 209, 238, 239

L

Lajes alveolares 10, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40

Lógica Fuzzy 56, 57, 191, 198, 200, 201, 203, 205, 210, 211, 212

M

Malhas 179

Método dos elementos de contorno 175, 176, 179, 187

Métodos matemáticos 68, 69, 70, 72, 78, 79

P

Pacientes 82, 83, 85, 189, 190, 196, 232, 233, 234, 236, 237, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249

Poluentes 14, 16, 100, 105, 109, 112, 113, 114, 115, 140, 144, 204

Precipitação 15, 18, 117, 124

Prevenção de doenças 188, 191, 194, 195, 197, 198, 199

Provedor de nuvem 324

R

Reconhecimento facial 266, 267, 268, 269, 270, 275, 279, 281, 284, 285, 286, 292, 294

Redução de custos 41, 42, 51, 52, 59, 62, 310

Remoção de hidroxicloroquina 99

Remoção de poluentes 100, 105, 113

Reservatórios 215, 216, 217, 219, 230

Resistência ao cisalhamento 24, 25, 26, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39

S

Simulações numéricas 68, 69, 79, 181

Simulador de chuva 14, 15, 16, 18, 90, 91, 93, 94, 95, 96, 98

Síndrome mielodisplásica 232, 233, 234, 237, 239, 241, 242, 244, 245, 247, 248, 249, 250

Small Data 301, 302, 303, 304, 308, 309, 312, 314, 315, 316, 319, 320, 321, 322, 323

T

Temperatura 1, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 11, 68, 69, 70, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 112, 117, 118, 122, 123, 125, 133, 134, 149, 216

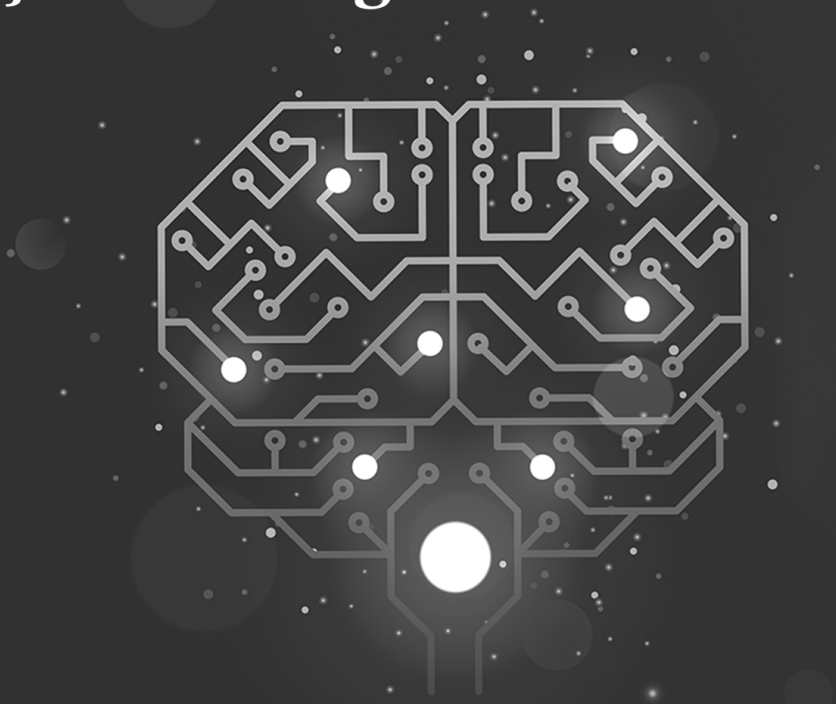
Tratamento 3, 81, 82, 83, 84, 100, 105, 108, 112, 113, 122, 124, 127, 131, 133, 140, 143, 163, 164, 192, 195, 197, 233, 236, 239

V

Variabilidade 16, 214, 230, 296, 297, 298, 299

ENGENHARIAS:

qualidade, produtividade e inovação tecnológica



www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena Editora
Ano 2023

ENGENHARIAS:

qualidade, produtividade e inovação tecnológica

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena Editora
Ano 2023