

NOVAS PERSPECTIVAS EM ENGENHARIA

INOVAÇÕES E DESAFIOS NO SÉCULO XXI

**GLAÚCIO SIMÃO ALVES
M'MYLLA ROBERTA SILVA SARMENTO
DIRCEU DA SILVA
ALAN BERTHIER SILVA FERREIRA
ORGANIZADORES**



**Editora
MultiAtual**

NOVAS PERSPECTIVAS EM ENGENHARIA

INOVAÇÕES E DESAFIOS NO SÉCULO XXI

**GLAÚCIO SIMÃO ALVES
M'MYLLA ROBERTA SILVA SARMENTO
DIRCEU DA SILVA
ALAN BERTHIER SILVA FERREIRA
ORGANIZADORES**



**Editora
MultiAtual**

© 2025 – Editora MultiAtual

www.editoramultiatual.com.br

editoramultiatual@gmail.com

Organizadores

Glaúcio Simão Alves

M'ylla Roberta Silva Samento

Dirceu da Silva

Alan Berthier Silva Ferreira

Editor Chefe: Jader Luís da Silveira

Editoração e Arte: Resiane Paula da Silveira

Capa: Freepik/MultiAtual

Revisão: Respective autores dos artigos

Conselho Editorial

Ma. Heloisa Alves Braga, Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais, SEE-MG

Me. Ricardo Ferreira de Sousa, Universidade Federal do Tocantins, UFT

Me. Guilherme de Andrade Ruela, Universidade Federal de Juiz de Fora, UFJF

Esp. Rícael Spirandeli Rocha, Instituto Federal Minas Gerais, IFMG

Ma. Luana Ferreira dos Santos, Universidade Estadual de Santa Cruz, UESC

Ma. Ana Paula Cota Moreira, Fundação Comunitária Educacional e Cultural de João Monlevade, FUNCEC

Me. Camilla Mariane Menezes Souza, Universidade Federal do Paraná, UFPR

Ma. Jocilene dos Santos Pereira, Universidade Estadual de Santa Cruz, UESC

Ma. Tatiany Michelle Gonçalves da Silva, Secretaria de Estado do Distrito Federal, SEE-DF

Dra. Haiany Aparecida Ferreira, Universidade Federal de Lavras, UFLA

Me. Arthur Lima de Oliveira, Fundação Centro de Ciências e Educação Superior à Distância do Estado do RJ, CECIERJ

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Novas Perspectivas em Engenharia Inovações e desafios no Século XXI
A474n / Glaúcio Simão Alves; M'mylla Roberta Silva Samento; Dirceu da Silva; Alan Berthier Silva Ferreira (organizadores). – Formiga (MG): Editora MultiAtual, 2025. 569 p. : il.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-6009-216-7
DOI: 10.29327/5681766

1. Engenharia. 2. Inovações e desafios. 3. Teoria e filosofia I. Alves, Glaúcio Simão. II. Samento, M'mylla Roberta Silva. III. Silva, Dirceu da. IV. Ferreira, Alan Berthier Silva. V. Título.

CDD: 620.001
CDU: 62

Os artigos, seus conteúdos, textos e contextos que participam da presente obra apresentam responsabilidade de seus autores.

Downloads podem ser feitos com créditos aos autores. São proibidas as modificações e os fins comerciais.

Proibido plágio e todas as formas de cópias.

Editora MultiAtual
CNPJ: 35.335.163/0001-00
Telefone: +55 (37) 99855-6001
www.editoramultiatual.com.br
editoramultiatual@gmail.com
Formiga - MG
Catálogo Geral: <https://editoras.grupomultiatual.com.br/>

Acesse a obra originalmente publicada em:
<https://www.editoramultiatual.com.br/2025/10/novas-perspectivas-em-engenharia.html>



Novas Perspectivas em Engenharia: Inovações e desafios no Século XXI

Novas Perspectivas em Engenharia: Inovações e desafios no Século XXI

Organizadores

Glaúcio Simão Alves

M'mylla Roberta Silva Samento

Dirceu da Silva

Alan Berthier Silva Ferreira

Autores

**Alcino de Oliveira Costa Neto
Alexandre Diório
Aline Borges de Souza
Ana Maria Gonçalves Duarte
Ana Paula Gatto da Conceição
Anésio Mendes de Sousa
Antonio Carlos Freire Sampaio
Arthur Nóbrega de Souza
Assíria Caldas Guimarães Gonçalves Costa
Cáyra Vitória Brito de Sousa E Silva
Cimark Guimarães Sandes Filho
Dany Geraldo Kramer
Débora Kauanna Régis da Luz
Dorivane Cohen Farias
Eder Luanderson Pereira de Oliveira
Edilaine Regina Pereira
Elaine Regina Brito Maia Mercial
Emanoel Silva de Amorim
Eric Vinícius Valente Belo
Felipe Mendonça Fontes Galvão
Gabriel Henrique Gomes de Souza
Geisla Aparecida de Carvalho
Geraldo Barroso Cavalcanti Junior
Gilsilene Choplin Nascimento Dos Santos
Glória Leticia Brito de Aguiar
Henrique Costa Gomes
Higor Aparecido Nunes de Oliveira
Hillary de Oliveira Marinho
Iara Ferreira de Rezende Costa
Iasmim Souto Maior Arruda
João Lobo Peralta
João Pedro Silveira Salustiano
João Victor Marques Adamo
John Kennedy Guedes Rodrigues
John Willams Ferreira de Souza
José Carlos de Oliveira
Julia Clara Gomes de Medeiros
Juliane Cristina de Oliveira Fandi
Katia Tames Lourenço
Kellem Elizabeth da Silva Ferreira
Larissa Gonçalves Colpo
Leonardo Rodrigues Guedes
Lourival Alves de Souza Neto
Lucas Antonio da Silva de Jesus
Luigi Pereira de Paiva
Luisa Vicentin Secaf
Lyncoln Santos Jurich**

**M'mylla Roberta Silva Sarmento
Manoel Leandro Araújo e Farias
Marcielia Pitombeira da Silva
Marcos Daniel da Silva Oliveira
Maria Eduarda Perez de Melo Brizola
Maria Fernanda Farias Magalhães
Mariana Fernandes Alves
Marília Augusta da Assunção
Mario Vinicio Garcia
Max Lira Veras Xavier de Andrade
Milena Martinez Albeche
Miriellen Augusta da Assunção
Monilson de Sales Costa
Nathalie de Sena Pereira
Nathália Aguiar Leal de Melo
Otávio Fernandes Lima da Rocha
Patrícia Teresa Souza da Luz
Rafael Wandson Sena Rocha
Rafaela Letícia Campos Dias
Ramon Kleyton Ferreira
Rayza Silva Pereira
Rita de Cassia Cardoso Lima
Rita de Cássia Moreschi Dória
Rodrigo Sant'Anna da Silva
Ruan Santana Cavalcante
Rubia Rodrigues Gonçalves de Oliveira
Segundo Nilo Mestanza Muñoz
Silvana Maldaner
Tânia Cristine Frankliane Cândido Ribeiro
Thais Mayara Rodrigues Gomes
Thamires Dantas Guerra
Thiago Andrade Marques
Thiarly Feitosa Afonso de Lavôr
Valter Ferreira de Souza Neto
Vanessa Silva Oliveira
Vinícius de Assis Souto Maior Arruda
Vinícius Tavares Medeiros
Vitória Araújo Castro
Willian Dimas Pompeo Siqueira
Yago Claudionor Fonseca Lopes Leite
Yury Yashyn Fonseca Lopes Leite**

SUMÁRIO

Apresentação.....	16
Capítulo I: A Tecnologia Inovadora Dos Smr Para A Propulsão Nuclear De Submarinos Brasileiros.....	18
Rodrigo Sant’Anna da Silva	
Capítulo II: Aspectos Ambientais Na Indústria Têxtil: Uma Revisão Bibliográfica.....	29
Débora Kauanna Régis da Luz	
Julia Clara Gomes de Medeiros	
Felipe Mendonça Fontes Galvão	
Dany Geraldo Kramer	
Capítulo III: Sustentabilidade: Uso E Aplicabilidade Na Engenharia Civil E Arquitetura.....	46
Julia Clara Gomes de Medeiros	
Débora Kauanna Régis da Luz	
Dany Geraldo Kramer	
Capítulo IV: Remoção De Metais Pesados De Lodo Residual De Efluente De Esgoto Doméstico Com Auxilio De Componentes Sustentáveis.....	56
Mariana Fernandes Alves	
Edilaine Regina Pereira	
Higor Aparecido Nunes de Oliveira	
Thiago Andrade Marques	
Luisa Vicentin Secaf	
Capítulo V: Retrofit De Fachada E Circulação Externa Da Igreja Presbiteriana Do Brasil Em Bacabal – Ma: Sustentabilidade E Acessibilidade Em Foco.....	65
Assíria Caldas Guimarães Gonçalves Costa	
Cimark Guimarães Sandes Filho	
Eder Luanderson Pereira de Oliveira	
Glória Leticia Brito de Aguiar	

Capítulo VI: Intoxicação Pelo Smog: Uma Revisão Bibliográfica Sobre Zeólitas No Processo Scr Para Motores Diesel.....	87
José Carlos de Oliveira	
Katia Tames Lourenço	
Capítulo VII: Análise Comparativa Da Viabilidade Econômica E Sustentável Entre Construção Com Tijolos Ecológicos E Construção Convencional: Estudo De Caso Em Bacabal – Ma.....	102
Eder Luanderson Pereira de Oliveira	
Cimark Guimarães Sandes Filho	
Assíria Caldas Guimarães Gonçalves Costa	
Glória Leticia Brito de Aguiar	
Capítulo VIII: Aplicação Do Software Iramuteq Na Análise De Estudos Sobre Microplásticos.....	123
Dany Geraldo Kramer	
Nathalie de Sena Pereira	
Anésio Mendes de Sousa	
Geraldo Barroso Cavalcanti Junior	
Capítulo IX: Eficiência E Inovação Na Construção Civil: O Impacto Dos Sistemas Informatizados Na Gestão De Obras.....	134
Nathália Aguiar Leal de Melo	
Emanoel Silva de Amorim	
Max Lira Veras Xavier de Andrade	
Capítulo X: Panorama De Fenômenos Corrosivos Em Plantas Nucleares.....	149
Willian Dimas Pompeo Siqueira	
Alexandre Diório	
Capítulo XI: Cálculo De Precipitação Automático Com Diferentes Métodos No Riacho Tapera, Ceará	165
Luigi Pereira de Paiva	
Capítulo XII: Análise Da Dureza De Um Aço Estrutural Ca Submertido A Tratamentos Térmicos.....	179
Yury Yashyn Fonseca Lopes Leite	

Dorivane Cohen Farias

Gabriel Henrique Gomes de Souza

Lourival Alves de Souza Neto⁴ Vitória Araújo Castro

Otávio Fernandes Lima da Rocha

João Lobo Peralta

Capítulo XIII: Argamassas Produzidas Com Substituição Parcial Do Agregado Por Pet: Estudo Da Resistência Ao Ataque Por Sulfato.....191

João Pedro Silveira Salustiano

Ana Maria Gonçalves Duarte

Manoel Leandro Araújo e Farias

Arthur Nóbrega de Souza

Hillary de Oliveira Marinho

Leonardo Rodrigues Guedes

John Kennedy Guedes Rodrigues

Valter Ferreira de Souza Neto

Thamires Dantas Guerra

Capítulo XIV: Produção De Catalisadores Com Base Em Óxido De Nióbio Aplicado Na Indústria Do Biodiesel E Todo O Seu Processo: Uma Revisão De Literatura.....207

Yago Claudionor Fonseca Lopes Leite

Eric Vinícius Valente Belo

Vinícius Tavares Medeiros

Rayza Silva Pereira

Kellem Elizabeth da Silva Ferreira

Rafaela Letícia Campos Dias

Yury Yashyn Fonseca Lopes Leite

Aline Borges de Souza

Patrícia Teresa Souza da Luz

Ramon Kleyton Ferreira

Capítulo XV: Engenharia E Materiais: Caracterização Reológica De Ligantes Asfálticos Modificados Por Óleo De Gergelim.....222

Vanessa Silva Oliveira

Ana Maria Gonçalves Duarte

Arthur Nóbrega de Souza	
João Pedro Silveira Salustiano	
John Kennedy Guedes Rodrigues	
Capítulo XVI: Gestão Ambiental E Sustentabilidade: Utilização De Lignina Proveniente Da Produção De Papel E Celulose Como Modificador De Ligantes Asfálticos.....	235
Marcelia Pitombeira da Silva	
Ana Maria Gonçalves Duarte	
Manoel Leandro Araújo e Farias	
Arthur Nóbrega de Souza	
Hillary de Oliveira Marinho	
João Pedro Silveira Salustiano	
Maria Fernanda Farias Magalhães	
Cáya Vitória Brito de Sousa E Silva	
Capítulo XVII: Desafios E Oportunidades No Carregamento De Veículos Elétricos Na Uftm: Uma Análise Da Infraestrutura E Potencial De Expansão.....	263
Geisla Aparecida de Carvalho	
Juliane Cristina de Oliveira Fandi	
Capítulo XVIII: Aplicações Do Bim: Uma Abordagem Sistêmica Para Compatibilização De Projetos.....	277
Nathália Aguiar Leal de Melo	
Vinícius de Assis Souto Maior Arruda	
Iasmim Souto Maior Arruda	
Capítulo XIX: Análise Estatística Da Geração De Energia Por Usinas De Biomassa No Brasil.....	297
Henrique Costa Gomes	
Mario Vinicio Garcia	
Ana Paula Gatto da Conceição	
Rita de Cássia Moreschi Dória	
Capítulo XX: Londres E A Sustentabilidade Urbana: Uma Análise Dos Indicadores Do Cities In Motion Index (2020-2025).....	311
Miriellen Augusta da Assunção	
Antonio Carlos Freire Sampaio	

Marília Augusta da Assunção

Capítulo XXI: Uso De Aprendizado De Máquina Para Previsão De Índice De Diferença De Vegetação Normalizada (Ndvi) Na Bacia Hidrográfica Do Curu 322

Luigi Pereira de Paiva

Ruan Santana Cavalcante

Capítulo XXII: Estudo Comparativo Da Estrutura Têxtil De Panos De Prato: Rapport E Densidade De Fios Em Tecidos Da Cidade De Jardim De Piranhas/RN.....330

Marcos Daniel da Silva Oliveira

Capítulo XXIII: Produção De Biogás A Partir De Resíduos Orgânicos E Seu Aproveitamento Energético.....357

Lucas Antonio da Silva de Jesus

Tânia Cristine Frankliane Cândido Ribeiro

Capítulo XXIV: Estudo Sobre A Corrosão Por Sulfeto De Hidrogênio Em Aço: Uma Implicação Industrial Atual.....374

Lucas Antonio da Silva de Jesus

Gilsilene Choplin Nascimento Dos Santos

Capítulo XXV: Desempenho De Turbinas Eólicas Em Baixas Velocidades: Avaliação Do Coeficiente De Potência Em Função Do Número De Pás.....392

Larissa Gonçalves Colpo

Silvana Maldaner

Capítulo XXVI: Engenhar(ia): O Uso Do Chatgpt Nas Publicações De Engenharia.....403

Lyncoln Santos Jurich

Milena Martinez Albeche

Silvana Maldaner

Capítulo XXVII: Aplicação De Ferramentas Da Qualidade Na Gestão De Estoque De Uma Empresa De Biotecnologia.....411

João Victor Marques Adamo

Ana Paula Gatto da Conceição

Henrique Costa Gomes

Rita de Cássia Moreschi Dória

Capítulo XXVIII: Desenvolvimento E Implementação De Um Sistema Por Detecção Tátil Para Próteses De Mão Robótica Acionada Por Controle Eletroacústico.....	429
Rita de Cassia Cardoso Lima	
Segundo Nilo Mestanza Muñoz	
Capítulo XXIX: Ferramentas da Qualidade na Otimização de Processos uma Empresa de Lavagem Automotiva.....	446
Maria Eduarda Perez de Melo Brizola	
Ana Paula Gatto da Conceição	
Henrique Costa Gomes	
Rita de Cássia Moreschi Dória	
Capítulo XXX: Instabilidade Local Em Estruturas Mistas De Aço E Concreto.....	463
M'mylla Roberta Silva Sarmento	
Rafael Wandson Sena Rocha	
Thiarly Feitosa Afonso de Lavôr	
John Willams Ferreira de Souza	
Capítulo XXXI: Mão De Obra Da Construção Civil Em Teófilo Otoni/Mg: Traços E Desafios.....	482
Thais Mayara Rodrigues Gomes	
Iara Ferreira de Rezende Costa	
Alcino de Oliveira Costa Neto	
Capítulo XXXII: Gestão Da Qualidade E Redução De Desperdícios Na Produção Artesanal: Diminuindo Custos E Produzindo De Forma Sustentável.....	494
Rubia Rodrigues Gonçalves de Oliveira	
Ana Paula Gatto da Conceição	
Elaine Regina Brito Maia Mercial	
Capítulo XXXIII: Análise Do Funcionamento E Da Confiabilidade De Arranjos De Subestações No Sistema Elétrico De Potência.....	503
Monilson de Sales Costa	

Capítulo XXXIV: Análise Da Evasão Escolar Em Cursos Técnicos Com Componente Matemático Elevado Em Instituição De Ensino Localizada Em Caucaia - CE.....	525
Monilson de Sales Costa	
Os Organizadores.....	543
Os Autores.....	545

APRESENTAÇÃO

A coletânea "Novas Perspectivas em Engenharia: Inovações e Desafios no Século XXI" surge como resultado de uma ampla e plural produção acadêmica voltada ao debate técnico, científico e social das múltiplas áreas que compõem o universo da engenharia contemporânea. Composta por trinta e quatro capítulos, a obra reúne pesquisadores, profissionais e estudantes de diferentes regiões do Brasil, consolidando um espaço de reflexão crítica, atualização tecnológica e interdisciplinaridade.

Vivemos uma era marcada por transformações rápidas e intensas, nas quais a engenharia ocupa papel central no enfrentamento dos grandes desafios da humanidade, como a sustentabilidade ambiental, a eficiência energética, a mobilidade urbana, a digitalização dos processos construtivos, a acessibilidade e a inovação tecnológica. Este e-book apresenta uma rica variedade de estudos que dialogam diretamente com essas demandas, destacando tanto soluções inovadoras quanto abordagens críticas sobre práticas já consolidadas.

Os capítulos percorrem temas como tecnologias nucleares aplicadas à defesa nacional, aspectos ambientais da indústria têxtil, estratégias de sustentabilidade na construção civil e arquitetura, uso de resíduos e materiais alternativos, retrofits acessíveis, remoção de metais pesados, aplicações do BIM, inteligência artificial na engenharia, produção de energia a partir de fontes renováveis, entre muitos outros assuntos de relevância técnica e social.

Além disso, o livro contempla metodologias diversas — de revisões bibliográficas e análises estatísticas a estudos de caso e investigações experimentais —, oferecendo uma leitura dinâmica e acessível, ao mesmo tempo em que mantém o rigor científico esperado em publicações acadêmicas.

Esta obra destina-se a estudantes, professores, profissionais da engenharia, pesquisadores e demais interessados em compreender os novos rumos e as possibilidades emergentes do campo. Ao proporcionar uma visão ampliada e atualizada das práticas e pesquisas em desenvolvimento, o e-book reafirma o papel da engenharia como força propulsora de soluções sustentáveis, inclusivas e inovadoras para os desafios do presente e do futuro.

Que esta leitura inspire novas ideias, projetos e caminhos transformadores no cenário da engenharia.

Boa leitura!

CAPÍTULO I

A TECNOLOGIA INOVADORA DOS SMR PARA A PROPULSÃO NUCLEAR DE SUBMARINOS BRASILEIROS

Rodrigo Sant'Anna da Silva

DOI: 10.5281/zenodo.17305852

1. INTRODUÇÃO

O submarino é considerado o maior instrumento de persuasão que as forças armadas de um país pode possuir, devido ao seu anonimato no fundo do mar e seu poder de ataque. No entanto, devido ao fato da necessidade de subir à superfície para iniciar a combustão em seu motor diesel-elétrico para a recarga de suas baterias e posterior imersão, tal atributo é ameaçado e o submarino se torna perceptível por um período de tempo. Para contornar esse obstáculo a utilização de pequenos reatores modulares, denominados SMR - *Small Modular Reactor*, demonstrou-se eficaz em virtude do suprimento energético da propulsão do submarino sem a necessidade deste emergir por tal motivo.

O SMR, utilizado já em aplicações como usinas nucleares flutuantes e navios quebra-gelos por ser compacto e gerar valores de potências ideais, é uma inovação tecnológica para o Brasil, entretanto outros países já desenvolveram seus submarinos nucleares no decorrer da história, sendo estes (em ordem cronológica): Estados Unidos da América; Rússia; Reino Unido; França; China e Índia (FAYET, H.; LOZIER, J., 2023).

A Tabela 1 apresenta os submarinos e programas de construção que estão ativos no mundo, com suas quantidades separadas por tipo: SSN - *Submersible Ship, Nuclear-*

powered (submarino com propulsão nuclear); SSGN - *Submersible Ship with Guided missiles, Nuclear-powered* (submarino com propulsão nuclear armado com mísseis teleguiados) e SSBN - *Submersible Ship with Balistic missiles, Nuclear-powered* (submarino com propulsão nuclear armado com mísseis balísticos). É possível verificar que o Brasil se encontra dentre os poucos países que possuem programas voltados para construção de submarinos com propulsão nuclear, como o PROSUB - Programa de Desenvolvimento de Submarinos, destacando assim a importância dessa tecnologia.

Tabela 1 – Submarinos com propulsão nuclear no mundo em 2023

País	Quantidade de submarinos	Total
Estados Unidos da América	2 SSN, 51 SSGN, 14 SSBN	67
Rússia	10 SSN, 9 SSGN, 11 SSBN	30
Reino Unido	6 SSN, 4 SSBN	10
França	6 SSN, 4 SSBN	10
China	6 SSN, 6 SSBN	12
Índia	1 SSBN	1
Austrália	SSN (programa de construção)	0
Brasil	SSN (programa de construção)	0

Fonte: Elaborado a partir de FAYET, H.; LOZIER, J. (2023)

Portanto, neste trabalho serão elencadas as características e benefícios dos SMR e da energia nuclear para a engenharia nacional, no que tange à construção de submarinos e outros aspectos. Por intermédio dessa tecnologia sustentável o principal atributo do anonimato será cada vez mais preservado, em contrapartida ao método convencional de propulsão diesel-elétrica.

2. METODOLOGIA

Este artigo utilizou a pesquisa bibliográfica como ferramenta de desenvolvimento do estudo, coletando dados da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) com relação aos aspectos do SMR e modelos mundiais fabricados atualmente, características das usinas nucleares convencionais Angra 1 e Angra 2 relatadas pela empresa Eletronuclear em relatórios, artigos científicos e trabalhos acadêmicos, e características de motores diesel-elétricos e turbogeradores utilizados para a propulsão de submarinos conforme o fabricante *MTU Solutions* (2023).

O presente estudo levou em consideração a sequência dos tópicos a seguir para a demonstração dos benefícios da tecnologia inovadora do SMR na propulsão dos

submarinos:

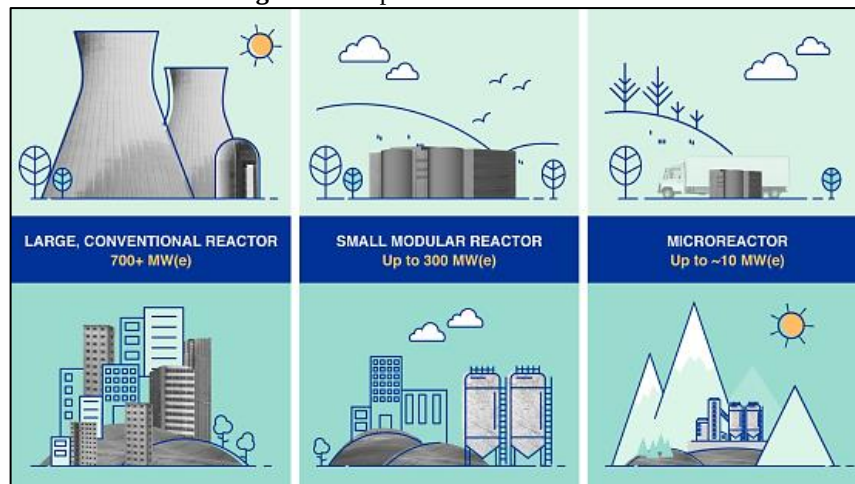
- 1) Apresentação da tecnologia do SMR e suas características;
- 2) Tipos e aplicações utilizadas;
- 3) Abordagem sobre a questão da proteção radiológica do SMR;
- 4) Apresentação da propulsão convencional diesel-elétrica dos submarinos convencionais e suas características;
- 5) Análise e discussão dos dados apresentados.

3. O SMR NO CONTEXTO DA PROPULSÃO DE SUBMARINOS

3.1 Características e aplicações do SMR

A tecnologia nuclear tem sido aprimorada e aplicada mundialmente tendo em vista questões ambientais e logísticas, entre outros aspectos. Dentro desse contexto surgem os SMR, que podem atingir por volta de um terço da potência elétrica gerada por usinas nucleares convencionais (cerca de 300 MWe), conforme ilustrado na Figura 1. O fato de serem mais compactos e modulares permitem ainda que sejam utilizados em aplicações remotas e que possuam limitação maior de espaço, como o caso dos submarinos.

Figura 1 – Tipos de reatores nucleares



Fonte: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (2023)

Entre as aplicações do SMR operadas em meios navais destaca-se o uso em usinas nucleares flutuantes (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2022), onde navios com esses pequenos reatores modulares na costa geram energia para abastecer cidades litorâneas ou ilhas, mas também são utilizados para a propulsão de navios quebra-gelo e

submarinos. A Rússia é o país que atualmente mais tem desenvolvido tecnologias de SMR dentro do contexto marítimo, conforme descrito na Tabela 2. Entretanto, países como a China e a Coreia do Sul também têm empregado a utilização desses reatores em usinas nucleares flutuantes. As potências elétricas geradas pelos modelos de SMR listados variam entre 6 MWe e 325 MWe.

Tabela 2 – SMR utilizados em meios navais

Modelo de SMR	País de origem	Tipo de reator	Potência elétrica/térmica	Período para recarga de combustível	Ciclo de vida	Utilização
KLT-40S	Rússia	PWR	35 MW(e)/ 150 MW(t)	30 a 36 meses	40 anos	Navio quebra-gelo nuclear
ACPR50S	China	PWR	50 MW(e)/ 200 MW(t)	30 meses	40 anos	Usina nuclear flutuante
ACP100S	China	PWR	125 MW(e)/ 385 MW(t)	24 meses	40 anos	Usina nuclear flutuante
BANDI-60	Coreia do Sul	PWR	60 MW(e)/ 200 MW(t)	48 a 60 meses	60 anos	Usina nuclear flutuante
ABV-6E	Rússia	PWR	6-9 MW(e)/ 38 MW(t)	120 a 144 meses	40 anos	Usina nuclear flutuante
RITM-200M	Rússia	PWR	50 MW(e)/ 175 MW(t)	Até 120 meses	60 anos	Usina nuclear flutuante
VBER-300	Rússia	PWR	325 MW(e)/ 917 MW(t)	72 meses	60 anos	Usina nuclear flutuante
SHELF-M	Rússia	PWR	Até 10 MW(e)/ 35,2 MW(t)	96 meses	60 anos	Usina nuclear flutuante

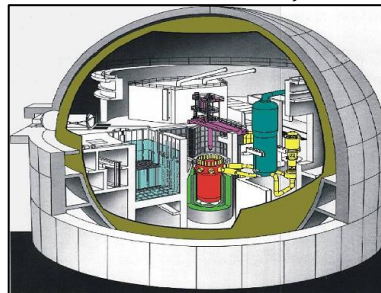
Fonte: Elaborado a partir de *INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY* (2022)

Outro aspecto importante da tecnologia do SMR é o período maior para recarga de combustível, também destacado na Tabela 2. Na usina de Angra 1 a recarga é feita após aproximadamente 1 ano (DE MELLO, 2020), sendo que esse período no caso do SMR ABV-6E (utilizado numa usina nuclear flutuante) pode ocorrer só após 12 anos. Essa característica é favorável estrategicamente, pois reduz os custos de operação, quantidade de elementos combustíveis usados e aumenta a autonomia da planta nuclear.

Um outro tópico relevante a ser considerado é a proteção radiológica. TALON et al. (2020) verificou as doses efetivas anuais para um SMR hipotético com potência elétrica

de 50MW(e) do tipo PWR (*Pressurized Water Reactor*), que pode ser aplicado na propulsão de submarinos. Perante o modelo proposto de SMR, para a devida proteção quanto às doses de radiação e aplicação, seria necessária uma blindagem de chumbo com 3,68 cm de espessura e massa total de 164,05 toneladas. No caso da usina nuclear de Angra 2, que possui uma potência nominal de 1.245 MWe (NELSON et. al., 1994), para a contenção mais próxima do reator, ilustrada pela região dourada na Figura 2, é aplicada uma estrutura de aço com 3 cm de espessura e massa total de 2.600 toneladas (ELETRONUCLEAR, 2011). Tendo em vista tais dados é relevante o benefício do SMR no que tange ao seu baixo peso, requisito essencial para a flutuação e navegabilidade de um submarino.

Figura 2 – Estrutura de contenção de Angra 2



Fonte: ELETRONUCLEAR (2011)

3.2 Propulsão de submarinos: Diesel-elétrica e nuclear

A propulsão convencional dos submarinos é realizada através de um motor diesel-elétrico, em que a combustão ocorre através da admissão de ar externo pelo esnorquel quando estes se encontram na chamada cota periscópica (profundidade em que o submarino continua imerso e é possível içar os mastros, como por exemplo o esnorquel, antena e periscópio) e essa energia é convertida em eletricidade por meio de um turbogerador que recarregará as baterias. A Figura 3 ilustra um exemplo de motor diesel-elétrico para a propulsão de submarinos e a Tabela 3 descreve alguns modelos fabricados pela *MTU Solutions* (2023) e suas especificações.

Figura 3 – Motor diesel-elétrico MTU Série 4000



Fonte: MTU SOLUTIONS (2014)

Tabela 3 – Motores e turbogeradores para propulsão diesel-elétrica em meios navais

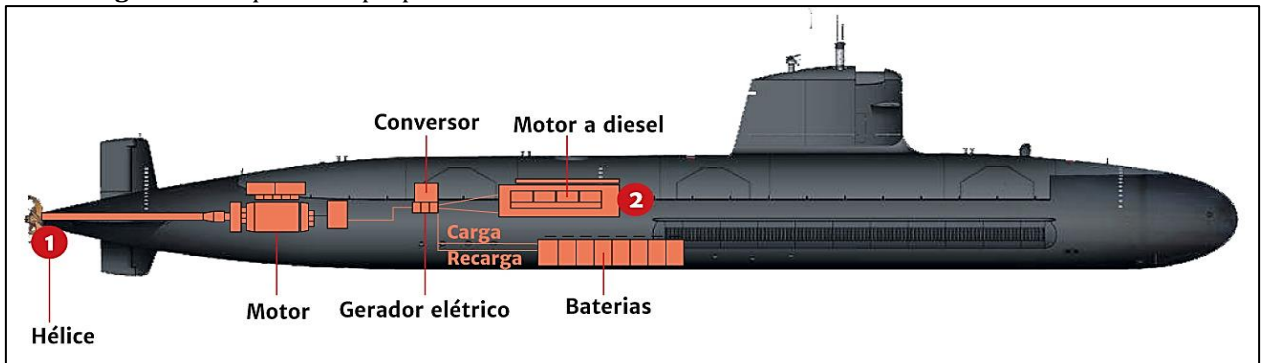
Modelo do Motor	Modelo do Turbogenerador	Potência elétrica nominal	Consumo de combustível (capacidade)	
			Em 75%	Em 100%
8V 4000 M24S	MG08V4000M24S	850 kWe	176 l/h	231 l/h
12V 4000 M24S	MG12V4000M24S	1140 kWe	237 l/h	298 l/h
16V 4000 M23S	MG16V4000M23S	1760 kWe	355 l/h	457 l/h
20V 4000 M35S	MG20V4000M35S	3100 kWe	596 l/h	790 l/h

Fonte: Elaborado a partir de MTU SOLUTIONS (2023)

Devido à necessidade da mistura do óleo diesel com o ar para a combustão e a recarga das baterias, o submarino precisa ficar vulnerável em certos períodos de tempo estando com seus mastros içados na superfície do mar, sendo assim facilmente detectado. Por conta disso, o uso da tecnologia nuclear tem sido destacado como solução nesse sentido, pois elimina a necessidade da admissão de ar externo, permitindo que o submarino fique submerso por maior período, estando tal tempo atrelado majoritariamente pela situação física e psicológica da tripulação.

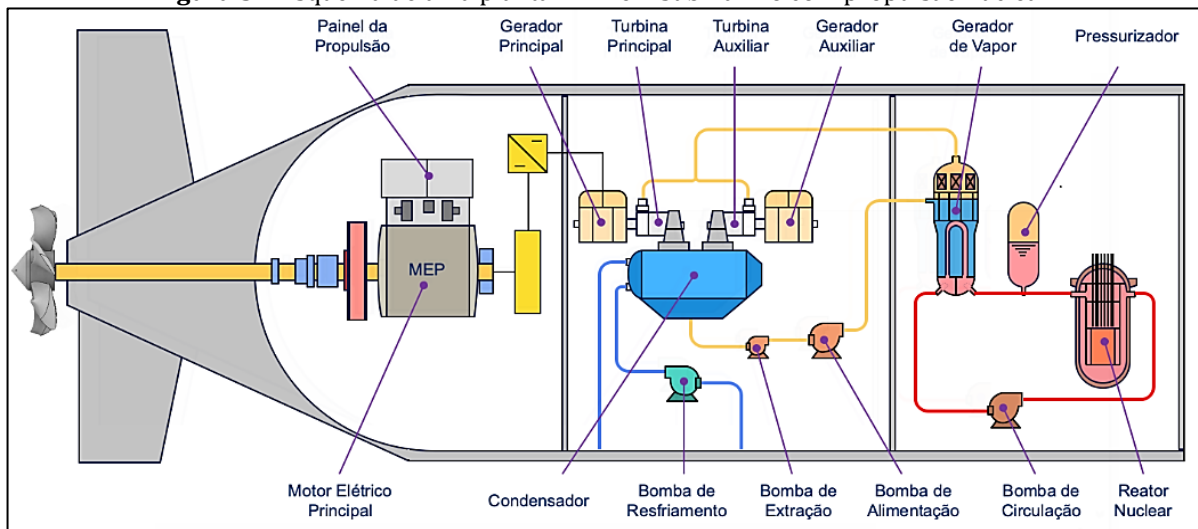
A diferença entre os componentes necessários para a propulsão diesel-elétrica e a nuclear em um submarino estão ilustradas respectivamente na Figura 4 e Figura 5. Entre os componentes novos que surgem na planta nuclear do SMR destacam-se as bombas, o pressurizador e o gerador de vapor de água, responsáveis pelo vapor que movimentará as pás das turbinas.

Figura 4 – Esquema da propulsão do submarino diesel-elétrico brasileiro S40 Riachuelo III



Fonte: Adaptado de DEFESANET (2018)

Figura 5 – Esquema de uma planta PWR em submarino com propulsão nuclear



Fonte: GONÇALVES, M. C. (2024)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 A viabilidade do SMR no quesito da potência de propulsão

Analisando a potência gerada entre os modelos de SMR destacados na Tabela 2 e os modelos de motores diesel-elétricos e turbogeradores descritos na Tabela 3 é possível verificar que a energia nuclear supre efetivamente a potência necessária para a propulsão de submarinos, cabendo ainda a utilização do restante da transmissão de energia para outros equipamentos dentro do navio. Enquanto os motores diesel-elétricos produzem uma potência elétrica na faixa de 0,85 MWe a 3,10 MWe a tecnologia SMR vigente em meios navais produz potências na faixa de 6 MWe a 325 MWe.

É válido ressaltar também que os motores diesel-elétricos possuem uma taxa significativa de consumo de combustível, segundo destacado na Tabela 3, variando de 176 l/h a 790 l/h, ocasionando assim um período de recarga muito maior se comparado aos SMR, cujo período varia de 2 a 12 anos, conforme mencionado na Tabela 2. Esse período menor de recarga providenciado pela tecnologia nuclear permite menos tempo de docagem dos submarinos e assim promove mais autonomia para suas atividades.

4.2 Os benefícios para o atributo do anonimato e sustentabilidade

Submarinos movidos à propulsão diesel-elétrica possuem a necessidade de retornar à superfície içando apenas seus mastros (cota periscópica) para promover a renovação do ar e recarga das baterias por meio da queima do diesel. Além desse processo ser desfavorável estrategicamente tal emissão dos gases da combustão poluem o ambiente, o que é contornado com o emprego da energia nuclear.

O processo da geração de energia elétrica por intermédio do SMR é sustentável, conforme ilustrado na Figura 5, em que o reator nuclear (através do processo de fissão das moléculas de urânio) promove o aquecimento necessário para gerar vapor de água, fluido este que movimentará as pás das turbinas e cuja rotação será convertida em eletricidade por meio dos geradores, carregando assim as baterias e gerando carga para o motor elétrico principal. Em todo esse esquema resumido é possível verificar que não há a necessidade de retornar à superfície e nem de emitir gases de combustão, proporcionando assim um maior anonimato e sustentabilidade.

4.3 Maior custo em comparação à propulsão diesel-elétrica

No entanto, dentre os benefícios listados da tecnologia dos SMR na propulsão de submarinos é plausível que haja um maior custo envolvido, devido à energia nuclear necessitar de maiores investimentos quando comparado à tecnologia já consolidada do modelo diesel-elétrico, e por necessitar de uma maior quantidade de equipamentos, conforme ilustrado na Figura 5.

A Tabela 4 foi elaborada a partir do orçamento alocado pelo governo federal brasileiro em seu Projeto de Lei de Diretrizes Orçamentárias para 2024 (PLDO) em seu anexo II, que detalha os custos unitários médios utilizados na elaboração dos orçamentos

para investimentos em obras de infraestrutura. Mediante a apresentação dos valores médios executados por modelo de propulsão é confirmada a afirmação do custo maior da aplicação nuclear, tendo em vista que a complexidade do projeto necessita também do desenvolvimento de um Laboratório de Geração Nucleoelétrica (LABGENE), responsável pela construção em terra de um protótipo de reator que simula todas as condições de operação possíveis para a planta de propulsão nuclear (AMAZUL, 2024), e do completo domínio nacional do ciclo de combustível nuclear. Vale ainda ressaltar que o projeto de construção dos submarinos convencionais se encontra em estágio mais avançado em relação à propulsão nuclear, estando respectivamente suas metas físicas realizadas em 91,61% e 26,70% (MARINHA DO BRASIL, 2024). O valor médio executado por submarino na tabela 4 foi obtido através da divisão entre os valores executados pela quantidade de submarinos.

Tabela 4 – Comparação de orçamento entre a propulsão nuclear e a diesel-elétrica na construção de submarinos

Modelos de propulsão de submarinos	Produto	Valores executados	Valor médio executado por submarino
Nuclear	Construção de 1 submarino com propulsão nuclear	R\$ 33.800.000,00	
	Desenvolvimento do LABGENE e o domínio do Ciclo de Combustível Nuclear	R\$ 61.250.000,00	R\$ 95.050.000,00
	Construção de 4 submarinos convencionais	R\$ 167.921.696,00	R\$ 41.980.424,00

Fonte: Elaborado a partir de MINISTÉRIO DA FAZENDA (2023)

5. CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um dos caminhos mais próximos para o Brasil se consolidar com a produção de energia nuclear é através da utilização dos SMR, tanto no contexto abordado da propulsão de submarinos quanto também em outros aspectos (como por exemplo na produção de

hidrogênio). Esse estudo demonstrou, além das questões técnicas e econômicas, a percepção dos esforços envidados para que cada vez mais a tecnologia nuclear brasileira se expanda.

O presente estudo apresentou também outros contextos mundiais em que o SMR são aplicados em meios navais, como na propulsão de navios quebra-gelo e usinas nucleares flutuantes. A importância do Brasil desenvolver esse tipo de tecnologia poderá refletir em outras aplicações além da propulsão de submarinos, como em grandes plantas industriais remotas (mineradoras e siderúrgicas), plantas de dessalinização de água, pequenas centrais de geração de energia elétrica e plantas *offshore* (AMAZUL, 2024).

Somado a isso, é importante frisar os riscos que foram debatidos por se tratar de uma tecnologia inédita (no quesito do projeto de SMR e sua aplicação na propulsão de submarinos) e o grande requisito econômico. A continuidade dos investimentos em sustentabilidade e defesa estratégica são essenciais, pois assim o desenvolvimento do SMR para a propulsão de submarinos no Brasil prosseguirá, dando o devido destaque para essa inovação da engenharia nacional.

Portanto, há obstáculos a serem enfrentados no quesito da implantação da tecnologia do SMR no Brasil, entretanto a prospecção dessa área no contexto nacional é muito grande e isso deve ser levado em consideração. O sucesso de projetos como Angra 1 e Angra 2 e a construção de submarinos convencionais demonstram a capacidade técnico-científica que o país possui para alcançar esse objetivo.

REFERÊNCIAS

AMAZUL. **Plano de Negócios da AMAZUL 2024**. Amazônia Azul Tecnologias de Defesa S.A, 2024. 28 p. Disponível em: <https://www.amazul.mar.mil.br/plano-negocios>. Acesso em: 26 ago. 2024.

DE MELLO, J. S. **O problema da recarga de reatores nucleares do tipo PWR otimizado pelo algoritmo cuco**. 2020. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Nuclear), Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/17434/1/monopoli10031000.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2024.

DESEFANET. **S40 Riachuelo III – O motor diesel-elétrico**, 2018. Disponível em: <https://www.defesanet.com.br/aviacao/s40-riachuelo-iii-o-motor-diesel-eletrico/>. Acesso em: 23 ago. 2024.

ELETRONUCLEAR. **Critérios de segurança adotados para as usinas nucleares Angra**

1, Angra 2 e Angra 3, 2011. Disponível em: <https://www.eletronuclear.gov.br/Quem-Somos/Governanca/Paginas/Relatorios-e-Balancos.aspx?bibliotecaDoc=Relat%C3%B3rios+de+Seguran%C3%A7a>. Acesso em: 21 ago. 2024.

GONÇALVES, M. C. **Metodologia para análise de segurança de um submarino com propulsão nuclear aplicada à zona costeira brasileira**. 2024. 164 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN, São Paulo. Disponível em: <http://repositorio.ipen.br/>. Acesso em: 22 ago. 2024.

FAYET, H.; LOZIER, J. *Naval Nuclear Propulsion: The Technical and Strategic Challenges of a Restricted Technology*, **Proliferation Papers**, nº 66, 2023, Institut Français des Relations Internationales, Paris, France. Disponível em: https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/ifri_fayet_lozier_naval_nuclear_propulsion_2023.pdf. Acesso em: 26 ago. 2024.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Advances in Small Modular Reactor Technology Developments** A Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS) 2022 Edition. Disponível em: <http://aris.iaea.org>. Acesso em: 26 ago. 2024.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. IAEA, © 1998–2024. *What are Small Modular Reactors (SMRs)*, 2023. Disponível em: <https://www.iaea.org/newscenter/news/what-are-small-modular-reactors-smrs>. Acesso em: 21 ago. 2024.

MARINHA DO BRASIL. **Relatório de Gestão Comando da Marinha 2023**. Brasília: Distrito Federal, 2024. p. 116-117. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/relatorio-de-gestao>. Acesso em: 26 ago. 2024.

MELDONIAN, N. L.; YAMAGUCHI, M.; KOSAKA, N.; MOREIRA, J. M. L. RENAP-MP - Reator nacional de água pressurizada de média potência. **5º Congresso Geral De Energia Nuclear**, 1994, Rio de Janeiro, RJ. p. 1019-1023. Disponível em: <http://repositorio.ipen.br/handle/123456789/15074>. Acesso em: 26 ago. 2024.

MINISTÉRIO DA FAZENDA. **Informações complementares relacionadas no Anexo II do Projeto de Lei de Diretrizes Orçamentárias para 2024**. Vol 1. Brasília: Distrito Federal, 2023. 291 p. Disponível em: <https://www.gov.br/planejamento/pt-br/assuntos/orcamento/orcamentos-anuais/2024/ploa>. Acesso em: 26 ago. 2024.

MTU SOLUTIONS. **Marine & Offshore Solution Guide**. Edition 01/23. Alemanha, 2023. 63 p.

ROLLS-ROYCE. **MTU Solutions**, © 2024. *Underwater*, 2014. Disponível em: <https://www.mtu-solutions.com/eu/en/stories/marine/military-governmental-vessels/underwater.html>. Acesso em: 22 ago. 2024.

TALON, J. D.; NETO, A. T.; LOPES, T. J.; CAVALIERE, M. P.; DA SILVA, J. V. M. Estimativas de dose efetiva ocupacional em uma instalação nuclear com um reator PWR hipotético de pequeno porte. **Anais do XIX Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha**, p. 1235-1242, São Paulo: Blucher, 2020.

CAPÍTULO II

ASPECTOS AMBIENTAIS NA INDÚSTRIA TÊXTIL: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

**Débora Kauanna Régis da Luz
Julia Clara Gomes de Medeiros
Felipe Mendonça Fontes Galvão
Dany Geraldo Kramer**

DOI: 10.5281/zenodo.17305987

1. INTRODUÇÃO

A indústria têxtil, uma das mais antigas e essenciais à humanidade, desempenhou um papel vital no desenvolvimento social, econômico e cultural ao longo dos séculos, sendo crucial para a industrialização global ao ser pioneira em termos de mecanização na Europa, aumentando a produtividade e transformando práticas de produção e consumo. No Brasil, o segmento têxtil é o segundo maior empregador na indústria de transformação, atrás apenas do setor de alimentos, possuindo a maior cadeia têxtil completa do Ocidente, detendo desde a produção agropecuária das fibras até o comércio varejista, o que demonstra sua importância para a economia nacional, gerando investimentos, renda e empregos nas cidades e no campo (Abit, 2024; Cavalcanti et al., 2022; Dias, 2020; Marson,

2024).

O Brasil está entre os quatro maiores produtores de malhas e os cinco maiores produtores de denim, com 24,3 mil indústrias têxteis e cerca de 1,33 milhão de empregados formais (Abit, 2024). Apesar da importância socioeconômica do setor, todas as etapas da cadeia produtiva têxtil geram aspectos ambientais significativos inerentes ao processo, como por exemplo a liberação de compostos orgânicos voláteis (COVs) e outros poluentes atmosféricos no processo de produção de fibras sintéticas, e a geração de poeira e partículas suspensas na etapa de fiação. Dos muitos aspectos, destacam-se como sendo os mais significativos, os efluentes industriais, e os resíduos sólidos, gerados principalmente nas etapas de beneficiamento e confecção, estes, sem o devido controle e mitigação adequada, podem causar consideráveis danos ao meio ambiente (Silva, 2023).

Anualmente, as empresas têxteis brasileiras produzem cerca de 170 mil toneladas de resíduos sólidos a partir de seus processos produtivos, consistindo em sobras de matéria-prima, tecido sobressalente, produtos não conformes, aviamentos e embalagens (Dos Santos, 2021). Aproximadamente 80% desses resíduos são descartados inadequadamente em lixões, valas, corpos d'água, terrenos baldios, córregos urbanos ou enviados para aterros sanitários, onde ocupam grande volume e levam décadas para se degradar. Esse desperdício poderia gerar renda e promover novas empresas se reciclado e reaproveitado (Gondak, 2020). Embora legalizados, os aterros sanitários exigem extensas áreas para instalação, possuem vida útil curta e representam um grande desafio de gerenciamento, tornando-os insustentáveis nas formas atuais de gestão.

Apenas 10% dos resíduos têxteis são constituídos por tecidos não-sintéticos, enquanto 90% são materiais sintéticos, como poliéster e poliamida, que se degradam lentamente, liberando produtos químicos nocivos no solo e gerando microplásticos que, ao serem confundidos com alimentos em ambientes marinhos, facilitam a exposição a poluentes orgânicos persistentes (POP) (Meena, 2020; Santos, 2020). Segundo Roldão (2023), os resíduos inevitáveis devem ser prioritariamente reincorporados ao processo produtivo da empresa ou reciclados externamente. Programas de gestão ambiental, como Produção Mais Limpa (P + L) e Economia Circular, apresentam alternativas para a não geração, prevenção da geração, redução, reutilização, reciclagem e destinação final desses detritos, proporcionando ganhos socioeconômicos e ambientais e evitando a saturação precoce dos aterros (Mantovani, 2022; Silva, 2023).

A indústria têxtil é uma das principais consumidoras de água potável no mundo,

utilizando grandes quantidades desse recurso em seus processos produtivos, resultando em quantidades igualmente volumosas de águas residuais contendo altos níveis de poluentes orgânicos, metais e sais. Dentre os poluentes orgânicos, os mais prevalentes são os corantes. São gerados aproximadamente de 50 a 100 litros de efluentes por cada quilo de tecido produzido, advindos principalmente dos processos de tingimento e acabamento (Arslan-Alaton et al., 2008, apud Chaves, 2022), os quais são frequentemente descarregados em corpos d'água sem antes receberem o devido tratamento.

A presença de corantes em corpos d'água aumenta a turbidez, bloqueando a luz solar e comprometendo a fotossíntese de algas e plantas aquáticas, reduzindo a concentração de oxigênio dissolvido, deteriorando a qualidade da água e dificultando a autodepuração do ecossistema (Lalnunhlimi & Krishnaswamy, 2016, apud Chaves, 2022). Corantes ingeridos por peixes e outros organismos podem ser convertidos em substâncias tóxicas intermediárias, prejudicando a saúde dos peixes e de seus predadores (Elgarahy et al., 2021). E a ingestão acidental de corantes pelo ser humano pode levar à produção de aminoácidos tóxicos pela flora intestinal, causando danos a órgãos e tecidos. Além do mais, certas bactérias da pele humana podem decompor corantes e gerar aminas cancerígenas (Kishor et al., 2021).

Os corantes podem ser classificados de acordo com sua composição química ou propriedades de tingimento, sendo esta última a mais comum. Os principais grupos de corantes elencados por ela, são corantes reativos, diretos, básicos, ácidos, à cuba, de enxofre e dispersivos (Elgarahy et al., 2021; Al-Tohamy et al., 2022). Estudos recentes apontam que até 2030, cerca de 47% da população mundial enfrentará a falta de água potável (Islam et al., 2021), tornando a eliminação de microrganismos patogênicos e poluentes orgânicos, como corantes e metais pesados, uma questão de interesse global. Diversas técnicas de tratamento de efluentes como Adsorção, Coagulação-Floculação, Oxidação avançada, e Biodegradação, estão sendo implementadas para mitigar estes impactos ambientais (Al-Tohamy et al., 2022; Chaves, 2022).

Com base no que foi apresentado, é fundamental compreender o papel e a importância da gestão ambiental no cenário industrial. A gestão ambiental é vital para que empresas e organizações possam atuar de forma responsável, considerando não apenas os aspectos econômicos, mas também os sociais e ambientais. Isso envolve a adoção de tecnologias limpas, o uso eficiente de recursos disponíveis, a gestão correta de resíduos e a implementação de práticas que respeitem o meio ambiente e a qualidade de vida das

gerações atuais e futuras (Barsano, 2014, apud Kiill, 2020). Dessa forma, este estudo visa percorrer acerca dos principais aspectos e impactos associados à indústria têxtil, através de uma revisão bibliográfica.

2. METODOLOGIA

2.1 Dados da Pesquisa

O presente estudo foi realizado através da análise de textos publicados com a temática gestão ambiental no setor têxtil. Para tanto utilizou-se como descritores de buscas os termos: “Indústria Têxtil”; “Aspectos Ambientais”; “Impactos Ambientais”; “Gestão de resíduos sólidos”; “Tratamento de efluentes” e “Gestão Ambiental”, sendo utilizadas plataformas como ScienceDirect, CAPES e SciELO. A seleção inicial permitiu a busca de conteúdo dos textos na língua portuguesa e inglesa para o período de tempo da publicação entre os anos de 2018 e 2024.

Após o primeiro levantamento, 19 artigos foram selecionados, utilizando-se o critério de existência de correlação entre os temas: “Aspectos e impactos ambientais na indústria têxtil” e “Gestão ambiental na indústria têxtil”. Na sequência, os resumos foram compilados em um arquivo de texto, de acordo com as especificações de uso do *software Iramuteq*.

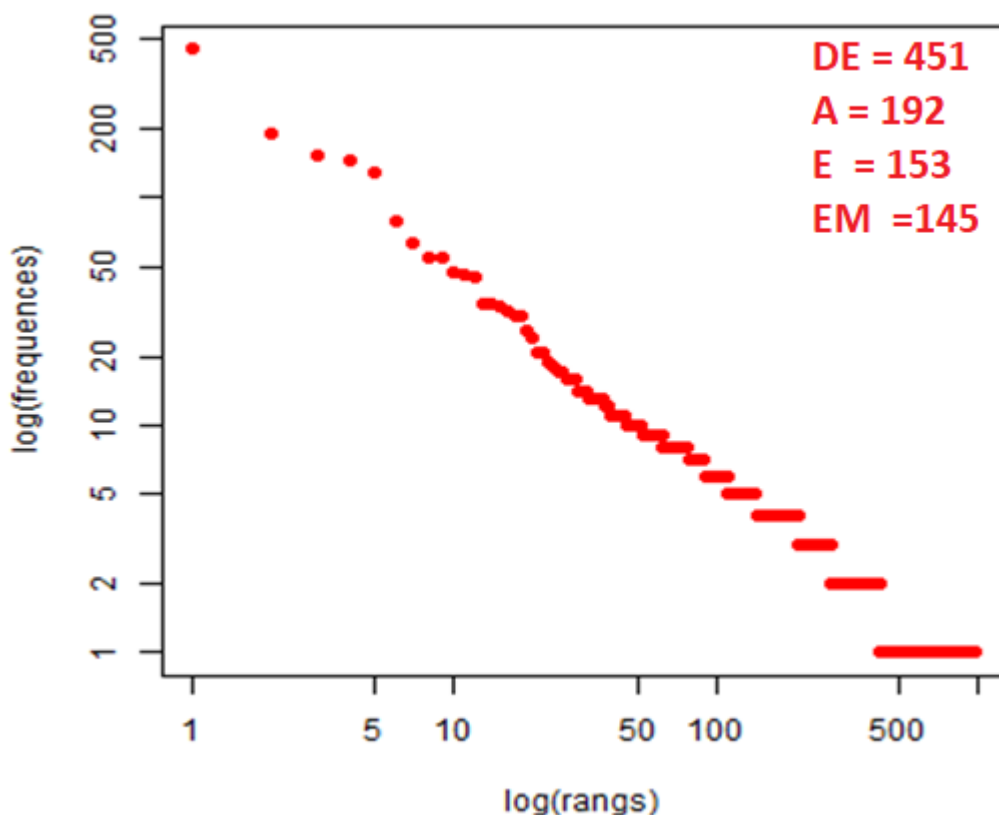
2.2 Análise de Dados

A análise do conteúdo dos 19 textos escolhidos foi realizada através do *software Iramuteq*, uma vez que este *software* é distribuído livremente e gratuito. Foram realizadas a estatística descritiva pelo diagrama de *Zipf* que relaciona a frequência (Y) em que uma palavra ocorre no texto e a quantidade de palavras (X); Análise lexical simples – nuvem de palavras cuja estrutura foi montada com base na frequência de ocorrência de cada palavra no texto analisado; Análise de Similitude que possibilita visualizar a conexão entre as palavras no texto; Análise Fatorial de Correspondência - AFC que permite observar o cruzamento entre palavras do texto e suas relações através de plano cartesiano de 4 quadrantes e Classificação Hierárquica Descendente (CHD) ou método de *Reinert* utiliza o teste qui-quadrado (χ^2), que revela a força associativa entre as palavras e a sua respectiva classe (Silva; Sousa, 2018; Klamt; Santos, 2021).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através do *software Iramuteq* foi possível fazer uma avaliação das palavras que mais ocorreram nos textos selecionados para estudo. As principais são conjunções e preposições, que foram retiradas da análise para não dificultar a avaliação gráfica, considerando-se para este estudo apenas as classes gramaticais: substantivos e adjetivos. No diagrama de frequência de *Zipf* (Gráfico 1), observa-se no eixo Y (*frequencies*) a quantidade de vezes em que uma palavra é citada, junto com suas derivações. Já no eixo X (*ranges*) a quantidade das mesmas (Klamt; Santos, 2021). Nota-se que muitas palavras repetem poucas vezes (eixo x), e poucas palavras repetem muitas vezes (eixo y).

Gráfico 1 - Diagrama de frequência de *Zipf* para os textos analisados no presente estudo.



Fonte: Autor (2024).

Como apontado acima, a preposição “de” e suas derivações foram citadas centenas de vezes, seguida da letra “a” e formas derivadas, demonstrando serem estes conectivos os mais frequentes nos textos analisados. Isso reforça a importância de se restringir o estudo a grupos gramaticais relevantes, para a aplicação no *software Iramuteq*, evitando-

se a inclusão de artigos, pronomes, preposições ou conjunções, que podem dificultar a análise devido a grande quantidade de derivações decorrentes dessas categorias gramaticais.

Com base nas classes gramáticas utilizadas escolhidas para o estudo (adjetivo e substantivo), realizou-se a busca por palavras mais recorrentes nos textos, através do sistema de Nuvem de Palavras (Figura 1), quanto maior a ocorrência destas nos textos, observa-se tamanho mais destacado e central. As palavras de maior relevância e frequência foram: “têxtil” (63); “indústria” (47), água (33) e resíduo (30).

Figura 1 - Nuvem de palavras para os textos analisados no presente estudo.

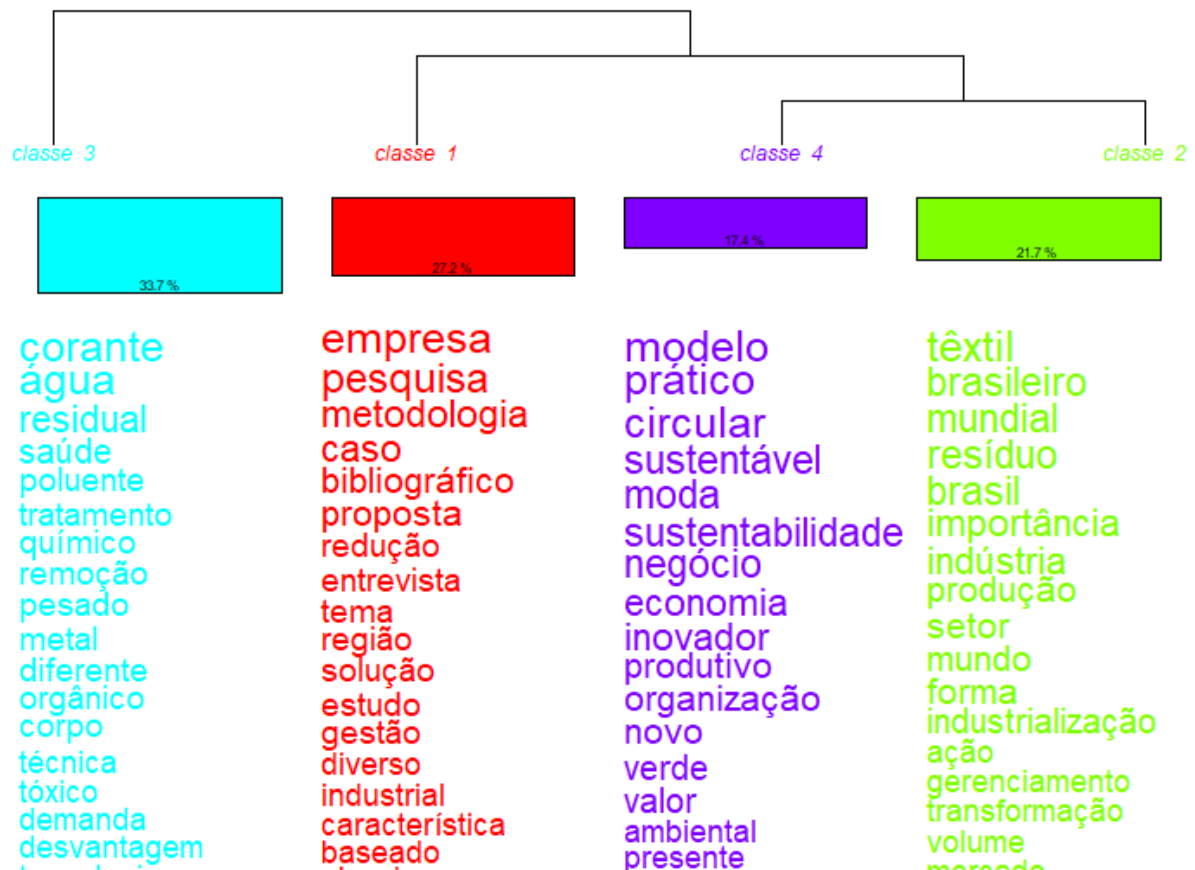


Fonte: Autor (2024).

A maior frequência das palavras que aparecem em destaque na Figura 1, justifica-se pela sua ligação com o tema central do trabalho “aspectos ambientais na indústria têxtil”, funcionando como palavras-chave de cada subtema discutido. Termos como “indústria têxtil”, “água”, “corante” e “resíduo” estão diretamente associados a dois dos principais aspectos da cadeia produtiva têxtil tratados pelos textos revisados: efluentes industriais e resíduos sólidos, que, sem o controle e mitigação apropriados, podem causar danos significativos ao meio ambiente (Silva, 2023).

Na sequência realizou-se a Classificação Hierárquica Descendente (CHD), que pode ser entendida como uma análise de agrupamentos (*clusters*) em que os segmentos de texto de um *corpus* são sucessivamente particionados em função da coocorrência (Sousa, 2021, p.3), ou seja, como estas se associam nos textos avaliados. As palavras mais recorrentes se agrupam em 4 classes principais destacadas na Figura 2, nas cores e números: azul (3), vermelho (1), roxo (4) e verde (2), escolhidos aleatoriamente pelo *software*.

Figura 2 - Dendograma de coocorrência de palavras nos textos analisados.



Fonte: Autor (2024).

Na classe 3, observa-se palavras como: água residual, corante, tóxico e remoção. Esses termos refletem um dos pontos tratados nos textos, que são os corantes presentes nas águas residuais, ressaltando a toxicidade dos mesmos, e os impactos negativos causados ao meio ambiente, caso ocorra o descarte inadequado dos efluentes (Al-Tohamy et al., 2022).

A classe 2 traz palavras que remetem ao segundo aspecto ambiental importante elencado pelos estudos, os resíduos sólidos e o gerenciamento dos mesmos. Estes por sua

vez, são gerados em grandes quantidades e tem 80% de seu volume destinado de forma inadequada, por exemplo, a lixões (Gondak, 2020). Sendo assim, nota-se a importância de programas de gestão ambiental que apresentem alternativas para o gerenciamento adequado, a redução e a não geração desses detritos (Mantovani, 2022; Silva, 2023).

As classes 1 e 4 abordam a mesma temática. Ambas as classes estão voltadas para a Gestão ambiental no âmbito têxtil. Palavras como: redução, gestão e sustentabilidade, trazem o enfoque dado pelos estudos de referência a questões como: redução dos riscos ambientais associados à atividade têxtil, que incluem os efluentes e os resíduos sólidos, de forma a prevenir e mitigar seus impactos, tornando assim o sistema mais sustentável (Barsano, 2014, apud Kiill, 2020).

Por fim, realizou-se a correlação estatística (qui-quadrado - X^2) entre as palavras pelo método de *Reinert* (quadro 1). Foram considerados estatisticamente significativos os agrupamentos em classes e análise de associação entre elas, quando o qui-quadrado apresentou valores maiores que 3,84 e o $p \leq 0,05$ (Silva; Sousa, 2018; Souza et al., 2018; Klamt; Santos, 2021). Os resultados mostraram que palavras como "têxtil", "água", "corante" e "resíduo" apresentaram valores de qui-quadrado muito superiores a 3,84 indicando assim uma correlação significativa entre essas palavras, reforçando a preocupação com os impactos ambientais do setor.

Quadro 1 - Correlação entre palavras recorrentes no texto pelo qui-quadrado - X^2

PERCENTUAL DA CLASSE	TERMO	FREQUÊNCIA	QUI-QUADRADO (X^2)	P VALOR
CLASSE 1				
27.17%	Gestão	8	05.53	0,0187
	Redução	3	08.31	0,0039
CLASSE 2				
21.74%	Têxtil	42	25.08	0,0001
	Resíduo	9	18.41	0,0001
CLASSE 3				

33.7%	Água	25	32.94	0,0001
	Corante	15	35.27	0,0001
CLASSE 4				
17.39%	Ambiental	16	5.45	0,0195
	Sustentável	8	20.24	0,0001

Fonte: Autor (2024).

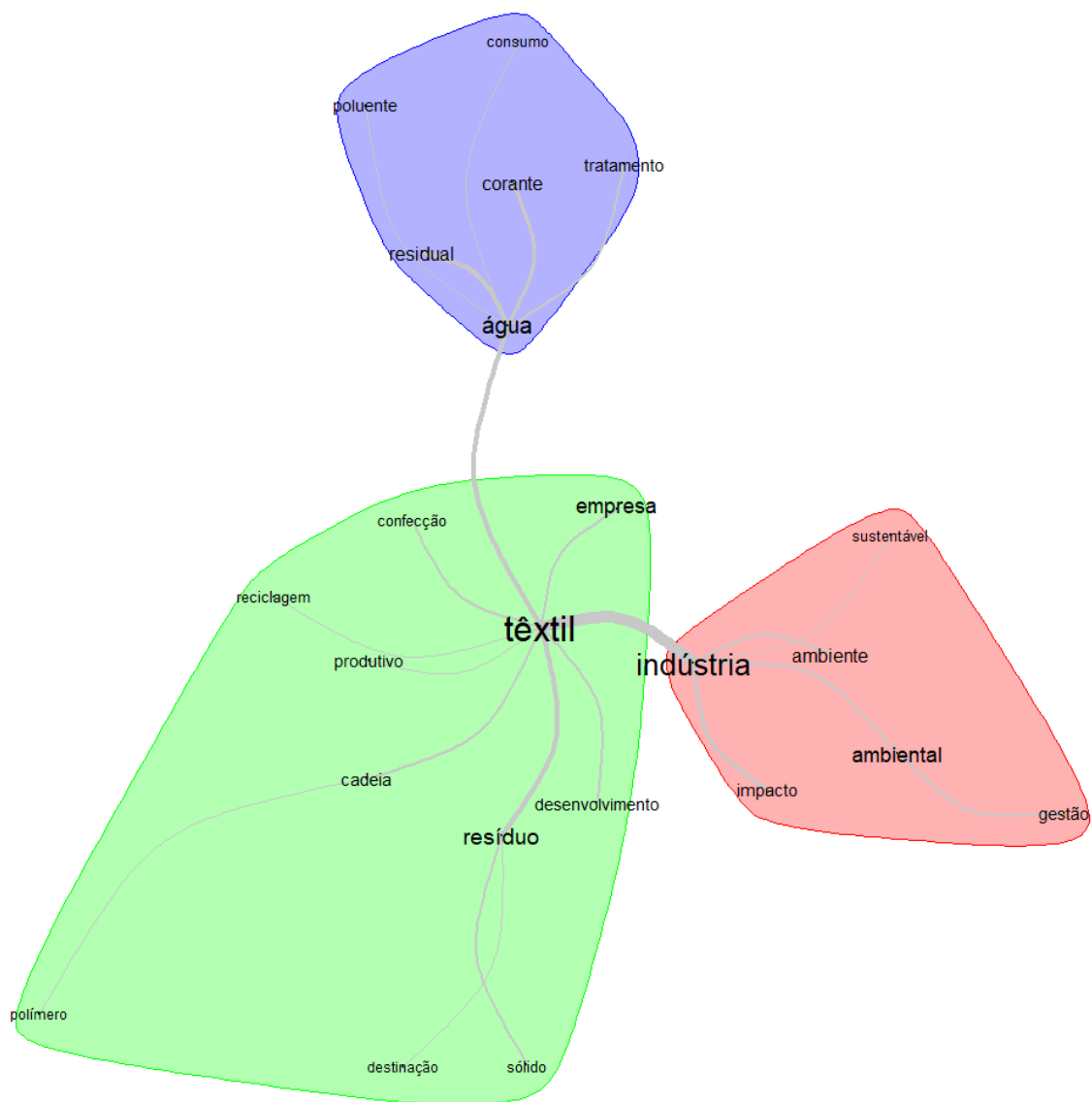
Com base nos textos analisados, é possível entender que os termos das classes 1 e 4 referem-se à gestão ambiental no contexto da indústria têxtil. Segundo o conteúdo estudado, a gestão ambiental envolve um conjunto de práticas e estratégias para administrar as interações entre as atividades humanas e o meio ambiente, com o objetivo de minimizar os impactos negativos e promover a sustentabilidade. Essa gestão inclui a implementação de políticas, processos e ações que assegurem a conservação dos recursos naturais, a redução da poluição e o desenvolvimento sustentável (Barsano, 2014, apud Kiill, 2020).

Ainda levando em consideração os textos avaliados, os termos da classe 2 referem-se ao impacto ambiental da geração de resíduos sólidos nas atividades têxteis, tendo em vista que são produzidas milhares de toneladas de resíduos sólidos anualmente, os quais têm em sua composição principalmente materiais sintéticos, de difícil degradação e altos níveis de toxicidade. Devido à falta de práticas adequadas de gerenciamento, cerca de 80% desses resíduos são descartados de maneira irregular em lixões, córregos e valas ou ainda depositados em aterros (Fragmaq, 2014, apud Dos Santos, 2021).

Por fim, na classe 3, encontramos termos relacionados aos efluentes têxteis. Esses efluentes, ou águas residuais, representam um dos maiores desafios ambientais atualmente, pois são dotados de poluentes orgânicos, sendo os corantes os mais comuns, metais pesados como cádmio, chumbo e arsênio, sais e outros compostos. Quando descartados sem tratamento adequado, tornam-se significativos poluidores do meio ambiente, causando sérios impactos negativos não só ao meio como também à saúde humana (Al-Tohamy et al., 2022).

Na etapa seguinte realizou-se a análise de similitude para que fosse possível observar a conexão entre as palavras nos textos avaliados. Quanto maior a palavra e a linha de ligação entre elas, maior a relevância de conexão entre elas e os respectivos grupos.

Figura 3 - Análise de similitude para os textos analisados no presente estudo.



Fonte: Autor (2024).

É possível observar na Figura 3, correlações diretas, secundárias e terciárias. No centro das correlações diretas está a palavra “Têxtil”, ligando-se diretamente a termos como: indústria, cadeia, água e resíduo, reforçando assim a temática central do presente

trabalho, que trata de dois dos principais aspectos ambientais na indústria têxtil, resíduos sólidos e efluentes industriais.

No contexto da indústria têxtil, os resíduos sólidos são principalmente compostos por sobras de matéria-prima, como retalhos de tecido, linhas, zíperes, elásticos, plásticos e papelão, que são gerados ao longo de toda a cadeia produtiva e muitas vezes descartados sem reaproveitamento. Adicionalmente, a produção de roupas resulta em uma quantidade significativa de resíduos pós-consumo, com cerca de 5,5 bilhões de peças sendo confeccionadas anualmente. Destas, mais de 150 milhões não possuem um destino definido e acabam sendo armazenadas, destruídas ou descartadas de forma inadequada (Gondak, 2020).

Em áreas como o Bom Retiro, em São Paulo, por exemplo, cerca de 12 mil toneladas de retalhos são descartadas inadequadamente todos os dias. Esse cenário reflete a realidade tanto no Brasil quanto globalmente, onde muitas indústrias enfrentam a falta de infraestrutura e de planejamento adequado, bem como evidencia-se a necessidade de mudança nos hábitos de consumo da população, e a adoção de práticas mais sustentáveis. Como resultado do despreparo de algumas empresas e do consumo em massa gerado pelo modelo fast fashion, os montantes de resíduos acabam sendo depositados em vias públicas, lixões, corpos d'água e aterros, gerando sérios impactos ambientais, como enchentes (Mantovani, 2022; Santos, 2020).

A maioria dos resíduos têxteis gerados tem em sua composição fibras sintéticas. Em alguns casos, essas fibras podem ser tratadas com corantes e outros produtos químicos que contêm metais pesados, como chumbo e cádmio. Quando entram em contato com o solo, esses metais afetam a vida microbiana, impactando a estrutura e a fertilidade da terra. Além disso, esses metais podem ser absorvidos por plantas, que, ao serem consumidas por herbívoros, podem transferir esses metais para a cadeia alimentar. Isso pode resultar em concentrações tóxicas em organismos superiores, incluindo humanos. Os efeitos na saúde humana vão desde doenças renais até distúrbios neurológicos. Aditivos químicos, como os Ftalatos, também podem ser liberados durante o processo, estes são conhecidos por serem disruptores endócrinos (Meena, 2020; Santos, 2020).

A Economia Circular é um modelo econômico, dentro do programa de Gestão Ambiental, que se apresenta como uma solução para mitigar os impactos da indústria de transformação. Ele promove a redução de resíduos e a reutilização de materiais através de práticas como a reciclagem e o uso de insumos renováveis. Esse conceito busca

transformar o modelo tradicional de produção e consumo, que é linear (extrair, produzir, descartar), em um sistema mais sustentável e regenerativo. No contexto da indústria da moda, a economia circular visa minimizar o desperdício e maximizar a reutilização de recursos, incentivando práticas que prolonguem a vida útil dos produtos e reduzam a geração de resíduos sólidos (Gondak, 2020; Mantovani, 2022).

Uma segunda alternativa ambientalmente sustentável, mas não menos importante, é a Produção Mais Limpa (P+L). Semelhante à Economia Circular, esta abordagem estratégica visa reduzir os impactos ambientais e melhorar a eficiência dos processos produtivos. A P+L concentra-se na prevenção da geração de resíduos desde as fases de *design* e planejamento. Isso envolve a seleção de matérias-primas com maior índice de aproveitamento e a adoção de técnicas de modelagem digital para otimizar o uso dos tecidos. Os resíduos inevitáveis devem ser reintegrados ao processo produtivo ou reciclados. Pesquisas indicam que a indústria têxtil deve priorizar a reciclagem externa e a reutilização de sobras de tecido, como aparas, para diminuir a quantidade de resíduos destinados a aterros. (Roldão, 2023).

A superutilização dos recursos hídricos e a contaminação da água ocorrem de maneira simultânea na indústria têxtil. Ela gera grandes quantidades de águas residuais carregadas de poluentes orgânicos persistentes, especialmente corantes. Em grandes polos têxteis, como Kanpur, na Índia, essas águas residuais são frequentemente despejadas em rios, que deságuam no mar, impactando negativamente a qualidade da água, e por consequência o meio ambiente e a saúde humana. No caso de Kanpur, as águas residuais são lançadas no Rio Ganges e, eventualmente, chegam ao Caminho de Bengala (Kishor et al., 2021).

A literatura aponta que esses poluentes estão ligados a diversos riscos e doenças humanas. Entre eles, destacam-se os efeitos carcinogênicos, que aumentam o risco de desenvolvimento de câncer, com a exposição prolongada, especialmente em ambientes de trabalho, potencializando os danos à saúde. Também há os efeitos endócrinos, pois alguns corantes e produtos químicos relacionados podem atuar como disruptores endócrinos, interferindo no sistema hormonal do corpo e levando a problemas de fertilidade, desenvolvimento anormal e outras disfunções hormonais. Além disso, são relatadas reações alérgicas e dermatites de contato, mais comuns entre trabalhadores da indústria que manipulam esses produtos (Elgarahy et al., 2021; Kishor et al., 2021).

Os corantes são frequentemente classificados por suas propriedades de tingimento em grupos como reativos, diretos, básicos, ácidos, à cuba, de enxofre e dispersivos. A maioria deles é naturalmente solúvel em água, exceto corantes dispersos e à cuba. Contendo elementos como chumbo, zinco, cobre, cromo e cobalto, suas complexas estruturas químicas os tornam estáveis contra agentes oxidantes, especialmente os corantes sintéticos, aumentando a demanda química de oxigênio e prejudicando a biota aquática e a saúde humana, afetando negativamente os processos metabólicos de microalgas e plantas aquáticas (Elgarahy et al., 2021). Para mitigar e controlar os impactos ambientais, técnicas de tratamento de efluentes como adsorção, oxidação avançada, eletroquímica e biodegradação estão sendo implementadas, divididas em métodos físicos, químicos e biológicos (Al-Tohamy et al., 2022; Chaves, 2022).

As abordagens físicas, que incluem *design* simples, operação fácil, baixo custo e menos requisitos químicos, têm desvantagens como subprodutos tóxicos e produção de lodo (Cao et al., 2021, apud Al-Tohamy et al., 2022). As abordagens químicas, embora mais caras e exigentes em termos de energia elétrica, produtos químicos e equipamentos, têm melhor desempenho (Kishor et al., 2021). Já as abordagens biológicas são promissoras, mais fáceis de aplicar, geram menos lodo, requerem menos reagentes químicos, são mais econômicas, consomem menos energia e são ambientalmente mais seguras, com subprodutos não tóxicos, mas sua eficácia pode ser limitada pela resistência de certos corantes à degradação biológica.

Entre os métodos físicos, destaca-se a técnica de adsorção, que se baseia na atração de moléculas ou íons para uma superfície adsorvente sólida, influenciada por forças como van der Waals, interações hidrofóbicas, eletrostáticas e ligações de hidrogênio. Este processo oferece vantagens como a reutilização de adsorventes, alta eficiência e rápida remoção de corantes das águas residuais (Conradie, 2020, apud Al-Tohamy et al., 2022). Entre os adsorventes amplamente utilizados estão zeólitas, alumina, sílica gel e carvão ativado, sendo este último o mais comum em escala industrial.

Os métodos químicos de tratamento de efluentes incluem a coagulação-floculação e a oxidação avançada. Na coagulação-floculação, sais metálicos atuam como coagulantes e floculantes, que são polímeros, promovem a agregação dos flocos para facilitar a separação. Coagulantes são adicionados durante uma mistura vigorosa para neutralizar a carga das partículas finamente dispersas e, em seguida, floculantes formam partículas grandes que podem ser facilmente separadas por sedimentação. Já a oxidação avançada

se baseia na geração *in situ* de radicais hidroxila, que são poderosos agentes oxidantes. Exemplos de métodos de oxidação avançada incluem fotocatálise, Fenton, foto-Fenton, ozonização e oxidação eletroquímica. Esses métodos removem corantes rapidamente e sem formar lodo, mas têm desvantagens como alto custo, dependência do pH e produção de subprodutos tóxicos (Al-Tohamy et al., 2022).

Por fim, dentre os métodos biológicos, destaca-se a biodegradação. Nessa técnica, bactérias, algas, leveduras e fungos, bem como sistemas baseados em enzimas, são todos candidatos biológicos viáveis para o tratamento de águas residuais, decompondo os corantes e os convertendo em produtos não tóxicos. Apesar de sustentável, a eficácia dessa técnica pode ser limitada pela resistência de certos corantes à degradação biológica, requerendo assim mais estudos e avanços na área.

Os autores analisam a eficácia dos diferentes métodos de tratamento de efluentes têxteis e ressaltam que não há uma abordagem única que seja superior em todas as situações. Eles explicam que os métodos de tratamento divididos em físicos, químicos e biológicos, possuem suas vantagens e desvantagens. A seleção do método mais apropriado depende das características específicas do efluente e dos objetivos do tratamento.

4. CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação do *software Iramuteq* possibilitou a análise descritiva, a classificação hierárquica descendente e análise fatorial de correspondência dos textos analisados sendo encontradas correlações com qui-quadrado superior 3,84 e o $p < 0,05$, entre os termos “têxtil”, “resíduo”, “água”, “corante”, “ambiental” e “sustentável”. Sendo observado entre os textos uma convergência entre os termos nos textos utilizados na referência. Assim, verifica-se que os textos ilustram uma preocupação com os principais aspectos ambientais do setor, resíduos e efluentes, englobando-se riscos ambientais associados a estes, proposições de mitigação e tratamento.

Portanto, em decorrência da relevância econômica e ambiental do setor, se fazem importantes e necessárias um conjunto de ações de gestão ambiental, buscando-se mais eficiência neste aspecto, com possibilidade de ganhos ambientais de mercado, atender as legislações vigentes e possibilitar ganhos com o reaproveitamento, reciclagem e revisão de processos produtivos. Ademais, possibilita-se a ampliação do *marketing* ambiental

junto aos mercados consumidores, demonstrando-se a adequação do setor as exigências ambientais e as necessidades da sociedade atual, produtos de qualidade, preços justos e responsabilidade socioambiental.

REFERÊNCIAS

AL-TOHAMY, Rania et al. A critical review on the treatment of dye-containing wastewater: Ecotoxicological and health concerns of textile dyes and possible remediation approaches for environmental safety. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 231, p. 113160, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.113160>.

SEM AUTOR. Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT). **Perfil do setor**. ABIT, Dezembro de 2024. Disponível em: <https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em: 13 de out. 2024.

CAVALCANTI, André Marques; DOS SANTOS, Gilson Ferreira. A indústria têxtil no Brasil: uma análise da importância da competitividade frente ao contexto mundial. **Exacta**, v. 20, n. 3, p. 706-726, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5585/exactaep.2021.17784>.

CHAVES, Nayane Oliveira; DE CARVALHO, Luana Caliandra Freitas; OLIVEIRA, Rosane Maria Pessoa Betânio. As principais técnicas utilizadas para remoção de corantes das águas residuais da indústria têxtil: uma revisão. **Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia**, v. 14, 2022. DOI: <https://doi.org/10.22407/1984-5693.2022.v14.p.e20221406>.

DE CARVALHO DIAS, Marcos. Caracterização de cadeias de suprimentos: uma aplicação do conceito de redes de empresas na região têxtil de Americana (SP). **Revista Gestão Industrial**, v. 16, n. 3, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3895/gi.v16n3.9939>.

DE OLIVEIRA GONDAK, Maurício; DE FRANCISCO, Antonio Carlos. Avaliação de práticas sustentáveis em modelos de negócios da indústria têxtil de moda rápida (fast fashion). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 2, p. 5894-5905, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n2-045>.

DO NASCIMENTO ROLDÃO, Aline; NICELATCHI, Juliana; MARCHESINI, Márcia Maria Penteado. Proposta de Produção Mais Limpa (P+ L) em uma Indústria Têxtil. **Produto &**

Produção, v. 24, n. 1, p. 95-113, 2023. DOI: <https://doi.org/10.22456/1983-8026.130921>.

DOS SANTOS, Francini Bampi; SCHRÖDER, Nádia Teresinha; OLIVEIRA, Renata Farias. Gerenciamento de resíduos sólidos têxteis em uma indústria de capas de chuva: um estudo de caso. *In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL*, 12., 2021, Salvador/BA. **Anais** [...]. Salvador: Ibeas, 2021.

ELGARAHY, A. M. et al. A critical review of biosorption of dyes, heavy metals and metalloids from wastewater as an efficient and green process. **Cleaner Engineering and Technology**, v. 4, p. 100209, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100209>.

FERREIRA, Viviane Xavier et al. O uso sustentável da água: a produção mais limpa em uma indústria têxtil do estado de São Paulo. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 22, n. 3, p. 119-143, 2019. DOI: <https://doi.org/10.25061/2527-2675/ReBraM/2019.v22i3.777>.

KIILL, Tatiane Gonçalves. **Gestão ambiental e hídrica na indústria têxtil: um estudo de caso de uma empresa no município de Americana/SP**. 2020. 42 f. Trabalho de conclusão de curso (Curso Superior de Tecnologia em Gestão Empresarial) - Faculdade de Tecnologia de Americana, Americana, 2020. Disponível em: <https://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/8255>. Acesso em: 13 de out. 2024.

KISHOR, Roop et al. Ecotoxicological and health concerns of persistent coloring pollutants of textile industry wastewater and treatment approaches for environmental safety. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 2, p. 105012, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.105012>.

KLAMT, L. M.; SANTOS, V. S. O uso do software IRAMUTEQ na análise de conteúdo - estudo comparativo entre os trabalhos de conclusão de curso do ProfEPT e os referenciais do programa. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i4.13786>.

MACEDO, Keyliane Rocha. **Métodos de tratamento de efluentes gerados pela indústria têxtil: uma revisão bibliográfica**. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Rio Grande do Norte, 2019. Disponível em:

<https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/61065f07-82e8-48c7-8ddd-e06a6a1198d3/content>. Acesso em: 13 de out. 2024.

MANTOVANI, Talita Helena et al. Marketing verde e economia circular na indústria da moda. In: Encontro de Gestão e Tecnologia da Faculdade de Tecnologia da Zona Leste (Fatec) do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. ENGETEC, 5., 2022, São Paulo/SP. **Anais [...]**. São Paulo: ENGETEC, 2022.

MARSON, Michel Deliberali et al. As origens e evolução da indústria têxtil no Brasil: uma perspectiva global e de longo prazo. **Revista Páginas**, v. 16, n. 41, 2024. DOI: <https://doi.org/10.35305/rp.v16i41.878>.

MEENA, Suresh Kumar. Polymers-Types, Uses, Pollution and Control. **International Journal Of Multidisciplinary Research In Science, Engineering and Tecnology** (IJMRSET), v. 3, n. 1, 2020.

SANTOS, Isabella Silva dos Santos. **Impactos ambientais gerados pelos resíduos têxteis no Brasil e alternativas para o futuro: uma revisão sistemática**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/14006>. Acesso em: 13 de out. 2024.

SILVA, Sergio Roberto. Gestão de resíduo têxtil em oficina de costura. Livros da Editora Integrar, p. 01-07, 2023.

SILVA, R. A. F.; SOUSA, M. M. Análise Lexical por meio do software Iramuteq: Estudo do Significado do Trabalho do Juiz. In: XXI SEMEAD, 21., 201, Goiânia/GO. **Anais [...]**. Goiânia: UFG, 2018.

SOUSA, Yuri Sá Oliveira. O Uso do Software Iramuteq: Fundamentos de Lexicometria para Pesquisas Qualitativas. **Estudos e Pesquisas em Psicologia**, p. 1541-1560, 2021. DOI: <https://doi.org/10.12957/epp.2021.64034>.

CAPÍTULO III

SUSTENTABILIDADE: USO E APLICABILIDADE NA ENGENHARIA CIVIL E ARQUITETURA

**Julia Clara Gomes de Medeiros
Débora Kauanna Régis da Luz
Dany Geraldo Kramer**

DOI: 10.5281/zenodo.17306001

1. INTRODUÇÃO

A construção civil e a arquitetura estão intrinsecamente ligadas, formando uma relação simbiótica. Ambas desempenham um papel fundamental no desenvolvimento urbano. A arquitetura, por sua vez, além de abranger aspectos de cunho artístico, patrimonial e de identidade cultural, preocupa-se com a funcionalidade e conforto, focado no design e na estética, resultando em espaços funcionais, confortáveis e visualmente atraentes (Collin, 2020). A construção civil é responsável por transformar esses projetos arquitetônicos em realidade, lidando com os aspectos práticos e técnicos da edificação, como engenharia, materiais e mão de obra (Queiroz, 2008, apud Prazeres, 2022). Portanto, compreender as soluções sustentáveis é essencial, considerando que este é um conhecimento necessário e cada vez mais exigido aos ingressantes ao mercado de trabalho (Saint Jean, et al., 2022, apud Silva, J. B et al., 2023).

Desde a publicação do Relatório *Our Common Future* (Nosso Futuro Comum) pela Comissão Brundtland em 1987 (*World Commission on Environment and Development*, 1987), o termo “sustentabilidade” tem sido adotado por diversas áreas do conhecimento (Dos Santos, et al., 2018). Sobre isso, Aguilera-Martínez et al. (2023), associam a sustentabilidade ao princípio de diretrizes implementadas para os novos modelos de ordenamento urbano. Para Kibert (1994), devem ser obedecidos princípios básicos para considerar uma obra sustentável, considerando a minimização de recursos naturais, reutilização, utilização de recursos renováveis e recicláveis e proteção ao meio ambiente. Ao ponto de vista de Mateus e Bragança (2004), para avaliar a sustentabilidade, devem-se considerar parâmetros ambientais, funcionais e econômicos (Kibert, 1994 & Mateus e Bragança, 2004 apud Campolina, 2022).

Conforme afirma Lemos (2017), é responsabilidade dos engenheiros civis e arquitetos e urbanistas construir espaços urbanos sustentáveis. Adicionado a isso, Rabanni et al. 2020, defende a necessidade de um diálogo entre ambas funções no mercado, além do diálogo constante entre o processo de ensino-aprendizagem nas formações. Logo, a busca por soluções sustentáveis e inovadoras devem ser coletivas e complementares, pois juntas podem criar edifícios que atendam às necessidades dos usuários, respeitem e preservem o meio ambiente (Lemos, 2017 & Rabanni et al., 2020 apud Silva, J. B et al., 2023).

A construção civil no Brasil, além de ser considerada uma das principais vertentes econômicas do país, é responsável por impulsionar o crescimento do setor, gerar empregos e influenciar o desenvolvimento urbano (Roque, 2019). Segundo dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), no primeiro semestre de 2024, a previsão de crescimento do Produto Interno Bruto (PIB), após revisão, apresentou crescimento de 1,3% para 2,3% (CBIC, 2024).

Concomitante ao crescimento da indústria, o setor é responsável por elevados índices de degradação do meio ambiente, em virtude do intenso consumo de matéria prima, das energias não renováveis, da geração de resíduos e da emissão de gases poluentes. De acordo com a Organização das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a Comissão Econômica para a América Latina (CEPAL), a construção civil e seu funcionamento produzem 38% de todas as emissões de CO₂ relacionadas com energia (Buitrago, 2023).

As leis de planejamento urbano e socioambientais são imprescindíveis, e exercem

papel fundamental no que diz respeito ao futuro das novas construções. No Brasil, as bases para o planejamento das cidades estão estabelecidas no Estatuto da Cidade (Lei 10.257/2001). O Estatuto da Cidade pode ser considerado o principal marco legal para o desenvolvimento das cidades, junto à Constituição de 1988. Ele estabelece as normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental.

O plano diretor, por sua vez, é uma lei municipal que estabelece regras, parâmetros, incentivos e instrumentos para o desenvolvimento da cidade. Este documento, conforme a lei nº 10.257/2001 no art. 2º, inciso IV:

"planeja o desenvolvimento das cidades, a distribuição espacial da população e das atividades econômicas do Município e do território sob sua área de influência, de modo a evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente".

A implantação deste é fundamental para garantir a intervenção urbana mais eficiente e sustentável, orientando o desenvolvimento da cidade de acordo com as necessidades e as demandas dos seus habitantes. Nessa linha de pensamento, destaca-se o decreto nº 6.660 de 21 de novembro de 2008, regularizador do dispositivo da Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006, dispõe acerca da utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica. Neste, estão contidas normas para a conservação, exploração, coleta, corte, recuperação e reflorestamento das áreas.

Além disso, o Instituto Cidades Sustentáveis (ICS), através do Programa Cidades Sustentáveis (PCS), estabeleceu uma agenda de sustentabilidade para os municípios brasileiros. Esta é baseada em 12 eixos temáticos, alinhados aos 17 objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU). Tem por objetivo identificar pontos fortes e fracos dos municípios quanto à sustentabilidade. O programa utiliza-se de índices de Desenvolvimento Sustentável das Cidades (IDSC), e oferece metodologias para o planejamento urbano integrado, gestão pública e participação cidadã. Além disso, conta com 260 indicadores, um painel de monitoramento e um software de comparação de dados entre as cidades participantes (ICS, 2022; ONU, 2022).

É notório no decorrer deste estudo a preocupação em implementar e criar novas políticas em prol da sustentabilidade. Com o tema em evidência, sobressalta o surgimento

de novas técnicas construtivas sustentáveis consideradas promissoras no setor, demonstrando grande relevância quanto ao consumo consciente do meio ambiente e os seus impactos socioeconômicos, sem comprometer as gerações futuras (Brundtland, 1991 apud Leal, 2023).

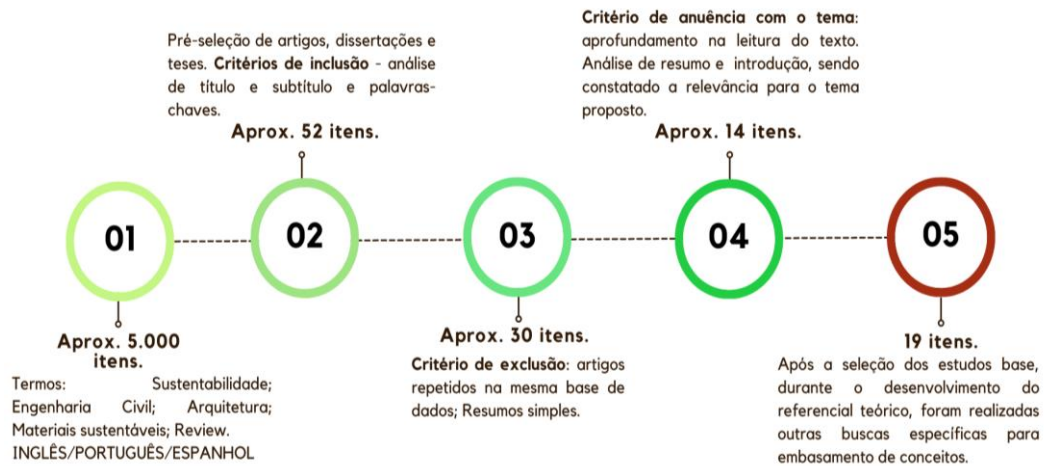
Por isso, este artigo busca, mediante uma revisão bibliográfica, discorrer sobre conceitos, aplicabilidade, métodos e técnicas com ênfase na sustentabilidade. Apesar da relação simbiótica entre ambas as áreas, estudar e comparar suas particularidades e aplicações elenca-se como objeto norteador ao decorrer deste estudo.

2. METODOLOGIA

O presente estudo foi realizado a partir de uma revisão bibliográfica da literatura sobre sustentabilidade, abrangendo as áreas da engenharia civil e Arquitetura, bem como suas respectivas aplicações. A pergunta norteadora foi: "O que é a sustentabilidade e qual é a importância da sua aplicação na arquitetura e engenharia civil?". Foram utilizados como descritores de buscas os termos: "Sustentabilidade"; "Engenharia Civil"; "Arquitetura"; "Materiais Sustentáveis"; "Review", e os operadores booleanos "AND" e "OR", sendo utilizadas plataformas como Scientific Journal ANAP, Scielo, Research e Society and Development.

A seleção inicial permitiu a busca de conteúdo dos textos na língua portuguesa, inglesa e espanhola, para o período de tempo da publicação entre os anos de 2017 e 2024, com algumas exceções específicas para embasamento científico do corpo do estudo. A seleção foi dividida por etapa e utilizou-se critérios de pré-seleção, inclusão e exclusão, e anuência com o tema, respectivamente. Ao final, foram realizadas novas seleções afim de obter robustez na fundamentação teórica, totalizando 19 itens utilizados (Figura 01).

Figura 1 - Fluxograma metodológico.



Fonte: Autores, 2025.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Princípios da construção sustentável

A sustentabilidade deve estar presente em todas as etapas do ciclo de vida de um empreendimento, desde sua concepção, projeto, construção e manutenção até sua demolição, considerando sempre as três dimensões da sustentabilidade: econômica, social e ambiental (Araújo, 2009). Logo, entende-se por conceito de sustentabilidade “a satisfação de nossas próprias necessidades na atualidade, conservando e preservando, para que as gerações futuras possam usufruir do mesmo, sem que agrida o meio ambiente” (Araújo, 2009 apud Nascimento et al., 2022).

Em 1990, o sociólogo britânico John Elkington apresentou o conceito conhecido como *Triple Bottom Line* (*People, Profit, Place*). Neste, o autor afirma, em forma de gráfico, que uma ação para ser considerada sustentável precisa, necessariamente, ser ecologicamente correta, economicamente viável e socialmente justa (Grzegorzewski, et al., 2024).

Mais tarde, em 1994, Kibert afirma que a construção sustentável se inicia na criação e prolonga-se até a gestão responsável de um ambiente construído, considerando os princípios ecológicos e a utilização eficiente dos recursos. Para considerar uma construção sustentável, o autor define cinco princípios básicos da construção sustentável: minimizar o consumo de recursos; maximizar a reutilização dos recursos; utilizar recursos renováveis e recicláveis; proteger o ambiente natural; criar um ambiente

saudável e não tóxico; e fomentar a qualidade ao criar o ambiente construído (Campolina, 2020).

Adicionalmente, Mateus e Bragança (2004) qualificam indicadores e suas variáveis para avaliar a sustentabilidade, considerando parâmetros ambientais, funcionais e econômicos (Mateus e Bragança, 2004 apud De Farias, et al., 2020).

- **Ambientais:** contempla maior atenção ao potencial de aquecimento global e de reciclagem, quantidade de matéria e recursos naturais utilizados de forma minimizada e a incorporação de energia primária
- **Funcionais:** leva-se em conta o funcionamento do imóvel a ser construído, como isolamento térmico, sonoro, durabilidade, dentre outros.
- **Econômicos:** diz respeito aos procedimentos adotados na construção e aos custos, como por exemplo: custos de manutenção, construção, reabilitação. Viabilizar o uso de materiais sustentáveis e atentar-se aos custos para utilizá-los.

Em suma, a sustentabilidade deve ser uma prioridade em todas as fases do ciclo de vida de uma construção, considerando todas as dimensões abrangentes. Ambos têm um compromisso essencial para garantir um futuro mais equilibrado e responsável. Diante disso, com o crescente interesse pelo tema e seus conceitos, diretrizes, surgiram diversas pesquisas e sistemas de classificação para orientar e regulamentar os métodos construtivos. Estes têm como objetivo premiar e avaliar o consumo e a eficiência energética das edificações, levando em consideração a eficiência energética, uso racional de recursos naturais e conforto térmico (Grzegorzewski, et al., 2024).

3.2 Sustentabilidade: usos e aplicabilidades na engenharia civil e arquitetura

3.2.1 Arquitetura

A sustentabilidade no projeto de arquitetura desenvolveu-se a partir das Agendas, propiciando reflexões acerca de uma mudança de postura e em criar edifícios que sejam ambientalmente conscientes, socialmente responsáveis e economicamente viáveis. Ademais, os processos para alcançar uma arquitetura sustentável transcendem a durabilidade das estruturas, buscam reduzir o impacto ambiental, promover uma relação equilibrada com o entorno natural e considerar a eficiência energética, materiais sustentáveis e gestão responsável da água (Grzegorzewski, et al., 2024).

Um exemplo disso é o Edifício *Zhubei da Winbond Electronics Corporation*, que foi projetado para garantir o bem-estar dos trabalhadores e o compromisso com a preservação ecológica e a educação. Possui classificação *Gold Energy* (a segunda maior designação energética em Taiwan) e é centrado na colaboração e compartilhamento entre pessoas. A forma geométrica do edifício, com protuberâncias onduladas na fachada, detém grandes benefícios ambientais na análise do conforto térmico: as torres onduladas criam zonas de sombra verticais que deslizam pela elevação do edifício durante todo o dia, nos verões extremamente quentes. No inverno, as dobras onduladas tornam-se armadilhas de calor favoráveis. Ou seja, a temperatura da fachada permanece fria no verão e quente no inverno (Archdaily, 2020).

3.2.2 Engenharia Civil

Na vertente da engenharia, deve-se destacar o uso de metodologias construtivas sustentáveis, um exemplo disso é a alvenaria com tijolos ecológicos e o *steel frame*. Sobre isso, tem-se que o desenvolvimento de tijolos ecológicos corresponde a uma inovação na área de materiais da construção e se caracteriza pelo reaproveitamento de resíduos em geral (Huarachii et al., 2020 apud Campolina 2022). Semelhante ao *light steel frame*, que também é considerado sustentável por utilizar matéria-prima reciclável (aço coletado de empresas que o reutilizam), não sendo necessário o uso de água durante a obra. Assim, eliminando o desperdício de energia e materiais.

Por sua vez, o tijolo de solo-cimento é composto por solo, cimento e água, e possui resistência à compressão semelhante à do tijolo tradicional, porém, com qualidade final superior, com dimensões regulares e faces planas (Mota et al, 2010 apud Campolina 2022). Para Grande (2003), estes tijolos são uma alternativa que está em plena consonância com as diretrizes do desenvolvimento sustentável: demandam baixo consumo de energia para a extração de matéria-prima, não necessitam de queima e diminuem a necessidade de transporte, pois podem ser produzidos com solo do próprio local. (Grande, 2003 apud Campolina, 2022)

Ademais, o método de *light steel frame* (LSF), conforme afirma Freitas e Castro (2006), é um sistema construtivo de concepção racional, que tem como principal característica uma estrutura constituída por perfis conformados a frio de aço galvanizado que são utilizados para a composição de painéis estruturais e não estruturais (Nogueira

et al., 2018).

4. CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sustentabilidade na construção civil e na arquitetura é crucial para mitigar os impactos ambientais gerados pelo setor, que, embora seja um motor econômico, também contribui para a degradação ambiental. Este estudo destacou a necessidade de integrar práticas sustentáveis em todas as fases do ciclo de vida de um empreendimento, considerando as dimensões econômica, social e ambiental. A legislação vigente e a formação de profissionais conscientes são fundamentais para promover a adoção de práticas que contribuam com o desenvolvimento urbano e social de maneira saudável.

Vale ressaltar que a formação de profissionais capacitados e conscientes sobre a importância da sustentabilidade é fundamental para a transformação do setor. A busca por soluções inovadoras e a utilização de materiais sustentáveis são passos importantes para a construção de um futuro mais responsável ecologicamente. Apesar da distinção de usos e aplicabilidades, a integração entre engenharia civil, arquitetura e práticas sustentáveis não apenas contribui para a preservação do meio ambiente, mas também para a criação de espaços urbanos que promovam qualidade de vida e bem-estar para as gerações presentes e futuras.

REFERÊNCIAS

ABDEL, Hana. Edifício Zhubei da Winbond Electronics Corporation / XRANGE Architects" [Winbond Electronics Corporation Zhubei Building / XRANGE Architects + JJP Architects & Planners]. **Edifícios de escritórios**. Archdaily Brasil, Agosto de 2024. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/1016443/edificio-zhubei-da-winbond-electronics-corporation-xrange-architects>. Acesso em: 12 Jan 2025.

AGUILERA-MARTÍNEZ, Fabián Adolfo; MEDINA-RUIZ, Marielena. La sostenibilidad y la innovación como nuevos principios para la construcción de bordes urbanos. **AUS [Arquitectura/Urbanismo/Sustentabilidad]**, n. 33, p. 32-40, 2023. DOI: <https://doi.org/10.4206/aus.2023.n33-05>.

CAMPOLINA, Anne Castro. **Construções sustentáveis: projeto de edificações populares voltadas para o clima tropical**. 2022. 239 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Rio Grande do Norte, 2022. Disponível em:

https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/49663/1/Contru%C3%A7%C3%B5es sustent%C3%A1veis_Campolina_2022.pdf. Acesso em: 13 de out. 2024.

COLIN, Silvio. **Uma introdução à arquitetura**. 7ª ed. Livros da Editora Jaguatirica, 2020.

DE FARIAS, Lucas Menezes; MARINHO, Jefferson Luiz Alves. Construções sustentáveis: Perspectivas sobre práticas utilizadas na construção civil. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 16023-16033, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-466>.

DOS SANTOS, Soraia Costa; COSTA, Silvia Kimo. Arquitetura vernacular ou popular brasileira: conceitos, aspectos construtivos e identidade cultural local. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, v. 24, n. 35, p. 218-218, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5752/P.2316-1752.2017v24n35p218>.

GRZEGORZEWSKI, Flávia Costa; NEMER, Luciana; SILVA, Felipe Gustavo. Sustentabilidade: conceitos e aplicação na Arquitetura. *Scientific Journal ANAP*, [S. l.], v. 1, n. 4, 2023. Disponível em: <https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/anap/article/view/4070>. Acesso em: 4 nov. 2024.

LEAL, Alane Mateveli; ESPINDULA, Lidianie; VARGAS, Amanda Santos. Construções sustentáveis e qualidade ambiental: Estudo de caso de bioconstruções na Aldeia Alegria. *Scientific Journal ANAP*, v. 1, n. 5, 2023.

LEMOS, Olga Maria das Neves. **Sustentabilidade na construção civil e a sua relação com a formação profissional de engenheiros civis e arquitetos**. 2017. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://www.repositorio.poli.ufrj.br/dissertacoes/dissertpoli2332.pdf>. Acesso em: 12 de out. de 2024.

NASCIMENTO, E. R. do .; MORAIS, D. P. F. de .; LOPES, S. C. Sustainability in civil construction in Brazil: A review of the literature. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 14, p. e524111436611, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/36611>. Acesso em: 12 jan. 2025. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i14.36611>.

NOGUEIRA, J. R. da S.; CALLEJAS, I. J. A.; DURANTE, L. C. Desempenho de painel de vedação vertical externa em Light Steel Framing composto por placas de madeira mineralizada. **Ambiente Construído, Porto Alegre**, v. 18, n. 3, p. 289-307, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000300282>.

PRAZERES, João Kleber Carneiro de Matos. **Controle e Execução de Blocos de Fundação em Concreto**. 2022. 42 f. Monografia (Graduação) Curso de Bacharelado em Engenharia Civil - Faculdade Regional de Barreiras - UNIRB, Bahia, 2022. Disponível em: <http://dspace.unirb.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/572/TCC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 7 de nov. de 2024.

RABBANI, Emilia Rahnemay Kohlman et al. O ensino dos conceitos da sustentabilidade nos melhores cursos de Engenharia Civil e de Produção na região Nordeste. **Série Educar** - Volume 33 Ensino Superior, p. 35. 2020. DOI: <https://doi.org/10.36229/978-65-86127-23-2>.

ROQUE, Rodrigo Alexander Lombardi; PIERRI, A. C. Intelligent use of natural resources and sustainability in civil construction. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 2, p. e3482703, 2019. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v8i2.703>.

SAINT JEAN, Goodry; LONGO, Orlando Celso; LIMA, Glêdson Pereira. A sustentabilidade e planejamento aplicados na construção civil sob a visão dos profissionais. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, p. e9611527864-e9611527864, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i5.27864>.

SEM AUTOR. CBIC revisa para 2,3% projeção de crescimento da construção em 2024. Agência CBIC. CBIC, Brasília, Abril de 2024. Disponível em: <https://cbic.org.br/cbic-revisa-para-23-projecao-de-crescimento-da-construcao-em-2024/>. Acesso em: 13 de out. 2024.

SEM AUTOR. Plano diretor | JUSBASIL. 2024. Disponível em: <https://planodiretor.natal.rn.gov.br/>. Acesso em 28 de out. de 2024.

SEM AUTOR. Sustainable Development Solutions Network, ONU. SDG Index and monitoring. Disponível em: <https://www.unsdsn.org/sdg-index-and-monitoring>. Acesso em: 9 jan. 2025.

SILVA, Juliana Braga; DA ROCHA, Ricardo Ramos. Sustentabilidade na Construção Civil: Relato de Experiência em Disciplinas da Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo. **Environmental Science & Technology Innovation**, v. 1, n. 02, 2022.

CAPÍTULO IV

REMOÇÃO DE METAIS PESADOS DE LODO RESIDUAL DE EFLUENTE DE ESGOTO DOMÉSTICO COM AUXILIO DE COMPONENTES SUSTENTÁVEIS

**Mariana Fernandes Alves
Edilaine Regina Pereira
Higor Aparecido Nunes de Oliveira
Thiago Andrade Marques
Luisa Vicentin Secaf**

DOI: 10.5281/zenodo.17306025

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), no ano de 2021 no Brasil, cerca de 16% dos brasileiros não possuíam acesso ao sistema de abastecimento de água, enquanto 44% da população nacional não tinha acesso à serviços de esgotamento sanitário (Brasil, 2022). Diante disso, os danos causados ao meio ambiente devido a defasagem no saneamento básico instigaram a necessidade de estabelecer cuidados em relação ao tratamento e a destinação de esgoto.

As Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) tem como principal objetivo a diminuição dos impactos ambientais nos corpos hídricos receptores e a melhoria da saúde pública, porém observa-se que a operação da ETE pode gerar impactos ambientais

negativos, quando operada inadequadamente, como a poluição do solo, eutrofização pelos lançamentos de efluentes fora do padrão vigente, além da geração do lodo, resíduos e rejeitos sólidos (Fajardo, 2019).

Os lodos residuais das ETEs no Brasil possuem como destino na maioria das situações o aterro sanitário, considerado uma solução segura ao meio ambiente, porém, não descarta o risco de contaminações do solo e da água, além do elevado custo. Portanto, outras alternativas vêm sendo estudadas e aplicadas ao lodo de esgoto, uma vez que, devido as suas características possui algumas restrições, não sendo possível utilizar em pastagens e cultivo de tubérculos e raízes, todavia podendo ser utilizado como fertilizantes em agriculturas florestais, já que esse material possui uma elevada carga de matéria orgânica após os processos de tratamento do efluente de esgoto sanitário (Afáz, et al., 2017).

No Brasil as principais formas de destinação do lodo de esgoto são o descarte em aterros sanitários ou incineração, as quais são técnicas ambientalmente corretas, mas que desperdiçam o potencial do lodo de esgoto. Dentre outras opções viáveis para a destinação final do lodo de esgoto tem-se a reciclagem agrícola, a recuperação de áreas degradadas, landfarming, fabricação de lajota e tijolos, além da degradação térmica para produção de biocombustível (Andreoli et al., 2014; Pedroza et al., 2017).

Já a disposição para usos agrícolas do lodo de esgoto requer cuidados como tratamento e a estabilização adequados, é viável já que o material possui elevada carga orgânica e a presença de nutrientes, promovendo melhorias físicas e químicas no solo e proporcionando redução de custos (Junior et al., 2023). Porém, Rorat et al. (2019) destaca que mesmo com o potencial de fertilização presente no lodo de esgoto, observa-se que devido aos poluentes tóxicos presentes em sua composição, a aplicação indevida pode aumentar problemas ambientais já existentes e ocasionar contaminações ou ainda envenenamentos quando não aplicados corretamente.

Como alternativa tem-se estudado o uso de coagulantes orgânicos no processo de tratamento físico/químico das ETEs, já que proporcionam um melhor aproveitamento e recuperação do lodo primário, pois a utilização desses coagulantes gera um volume maior de matéria orgânica, possibilitando e facilitando o processo de biodegradabilidade (Renault et al., 2009). Entre os coagulantes orgânicos, a *Moringa oleifera* é aplicada ao tratamento de águas residuais devido ao potencial coagulante presente na proteína de suas sementes (Oliveira, 2014).

No parâmetro ambiental os metais pesados são aqueles compostos que em determinada concentração e em dado tempo de exposição, representam risco sanitário, comprometendo direta ou indiretamente as atividades biológicas (Pedroza, 2017).

De acordo com Silva et al. (2001) na composição do lodo de esgoto sanitário, os metais pesados estão relacionados principalmente, com a quantidade de despejos industriais presentes nele, tendo maior influência as indústrias químicas, metálicas e de galvanoplastia

Diante disso, este trabalho tem como objetivo analisar e comparar os coagulantes Sulfato de Alumínio e *Moringa oleifera* quando aplicados ao efluente de esgoto doméstico e avaliar a presença dos metais pesados Cd, Cr, Zn, Pb e Ni no lodo gerado.

2. METODOLOGIA

O efluente foi coletado em uma estação de tratamento de esgoto sanitário caracterizada por um reator anaeróbio seguido de um sistema de lodo ativado. Os ensaios foram realizados nos Laboratórios de Recursos Hídricos e de Saneamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Londrina – UTFPR.

A solução coagulante do Sulfato de Alumínio foi preparada dissolvendo 5g do coagulante em 1 L de água destilada. Já para a solução coagulante da *Moringa oleifera* utilizou-se a metodologia conforme Pereira et al. (2021), onde 1L de água destilada, 1M de NaCl e 50g da semente descascada foram misturados e agitados com o auxílio de um liquidificador e em seguida coados.

As dosagens dos coagulantes foram definidas a partir de um pré ensaio e a partir disso definiu-se as concentrações ideais de 7 mL.L⁻¹ e 5 mL.L⁻¹ para o Sulfato de Alumínio e para a *Moringa oleifera*, respectivamente. Para o tratamento físico/químico utilizou-se a metodologia de Pereira (2021), onde foi utilizado para o processo de coagulação a velocidade de 150 rpm durante três minutos, representando a mistura rápida (coagulação), em seguida a velocidade foi reduzida para 15 rpm por dez minutos para simular a agitação lenta (floculação), passado esse período o equipamento foi desligado e para os três primeiros jarros iniciou-se o processo de sedimentação.

Já para os demais jarros (Figura 1) após o desligamento do equipamento, o efluente tratado de cada recipiente foi transferido cuidadosamente para três Cones Imhoff e deixado em repouso durante uma hora

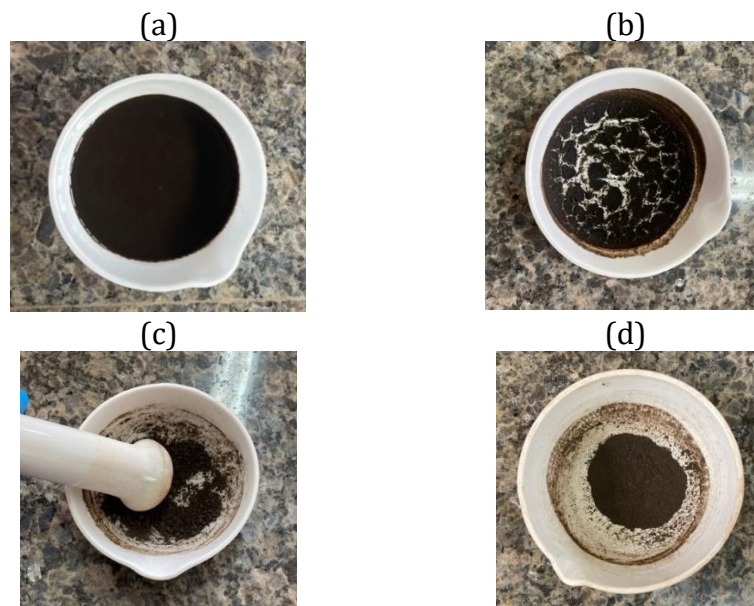
Figura 1 - Ensaio Cone Imhoff



Fonte: Autoria própria (2023).

O preparo das amostras para a digestão ácida seguiu-se medindo-se 40 mL do lodo bruto e do lodo gerado a partir do tratamento com os coagulantes Sulfato de Alumínio e *Moringa Oleifera*, esses dois últimos em duplicata, totalizando 5 amostras. Em seguida, o material foi transferido para cadinhos e dispostos em estufa a uma temperatura de 105°C por 24h. Após o processo de secagem as amostras foram retiradas da estufa, mantidas em dessecador com sílica com o intuito de não absorver umidade, após atingir a temperatura ambiente, foram retiradas e trituradas com o auxílio de um pistilo, assim como demonstra a Figura 2 (Mesquita, 2014).

Figura 2 - Secagem: (a) pré secagem, (b) pós secagem, (c) maceração da amostra e (d) amostra triturada



Fonte: Autoria própria (2023).

A partir das amostras trituradas, utilizou-se a metodologia adaptada de Methods (1996), sendo assim, pesou-se em duplicata 0,5 g de cada uma das cinco amostras, o material foi transferido para um tubo digestor de 100 mL, em seguida foi adicionado 10 mL de HNO_3 e 2,5 mL de HCl , os tubos foram levados ao bloco digestor a uma temperatura de 160° C por 4 horas (Figura 3).

Figura 3 - Digestão ácida amostra de lodo



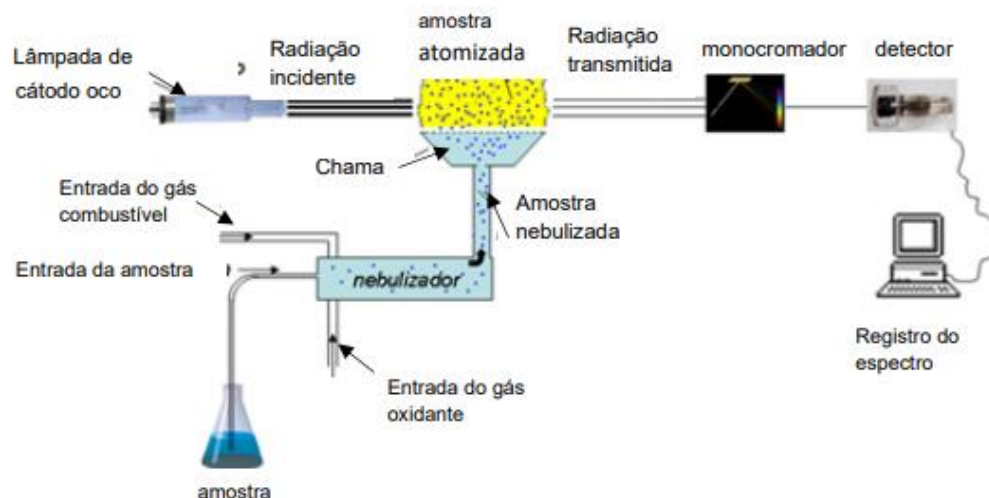
Fonte: Autoria própria (2023).

O material resultante da digestão foi filtrado a vácuo, utilizando membrana filtrante de acetato de celulose, com diâmetro de 47 mm e poros de 0,45 μm , após a filtração o volume foi ajustado para 25 mL com água deionizada. O material foi transferido para tubos Falcon e armazenadas em ambiente refrigerado até a determinação da concentração dos metais por meio da Espectrometria de Absorção Atômica com chama (FAAS).

A concentração dos metais foi definida a partir da espectrometria de absorção atômica com chama, utilizando o equipamento ICE 3000, Thermo Scientific, em parceria com o Laboratório Multiusuário (LAMAP) da UTFPR campus Apucarana.

A amostra foi atomizada a partir da aspiração para uma câmara de nebulização, onde é nebulizada e em seguida na forma de aerossol foi transportada até a chama. O feixe de luz é alinhado a chama, possibilitando a determinação da concentração de átomos presentes ali, por meio de uma luz absorvida pelo respectivo comprimento de onda, tendo como resultado analítico, valores para absorbância (MATOS, 2015). A Figura 4 demonstra esse processo.

Figura 4 – Representação do funcionamento FAAS



Fonte: VALLEJO (2013).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras de lodo bruto, do tratamento com a *Moringa oleifera* e com o Sulfato de Alumínio (as duas últimas em duplicata) foram encaminhadas para análise de Espectrometria de Absorção Atômica, os valores observados são apresentados na Tabela 1 e as médias junto aos respectivos limites legais são observados na Tabela 2.

Tabela 1 - Concentração dos metais nas amostras de lodo de esgoto

Amostra	Concentração em mg.Kg ⁻¹				
	Bruto	Lodo 1 MO	Lodo 2 MO	Lodo 1 SA	Lodo 2 SA
Pb	70,15	48,85	78,3	171	23,9
Cd	ND	ND	20,8	39,2	25,65
Zn	83,9	118,15	107,75	266	128,3
Ni	26,45	34,4	ND	ND	ND
Cr	236	257,2	20,1	38,05	250

Lodo do tratamento com *Moringa oleifera* (Lodo MO); lodo do tratamento com Sulfato de Alumínio (Lodo SA); não detectado (ND).

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 2 - Concentração médias dos metais nas amostras de lodo de esgoto

Amostra	Concentração em mg/Kg			Limite CONAMA 375/06 - mg/Kg de massa seca
	Bruto	Lodo MO	Lodo SA	
Pb	70,15	63,58	97,45	300
Cd	ND	20,80	32,43	39
Zn	83,9	112,95	197,15	2800

Ni	26,45	34,40	ND	420
Cr	236	138,65	144,03	1000

Fonte: Autoria própria (2023)

Nota-se por meio da Tabela 1 que houve bastante variação entre as repetições dos lodos de *Moringa oleifera* e Sulfato de Alumínio, isso pode ser justificado por dois motivos, o primeiro é que as análises forem realizadas mais de 15 dias após o processo de digestão das amostras de lodo, e a segunda questão é que devido a demanda do laboratório, as medições do lodo bruto e do lodo 1 MO foram feitas com 5 dias de diferença.

Já com os cálculos das médias apresentados na Tabela 2, tem-se que o lodo MO apresentou aumento em relação ao bruto para os seguintes metais: Zn, Ni e o Cd. Já para o Pb e o Cr o lodo MO apresentou diminuição em relação ao lodo bruto. Para o lodo SA observa-se resultado superior em relação ao bruto, para o Pb, Cd e Zn, reduzindo a concentração do Cr e não sendo detectado Ni na amostra. Destaca-se que não houve concentração detectável de Cd na amostra bruta.

Ao comparar os lodos dos dois tratamentos, tem-se que o tratamento com *Moringa oleifera* gerou um lodo com concentrações menores para Pb, Cd, Zn e Cr, demonstrando por meio desta análise uma vantagem no uso do coagulante orgânico em tratamentos com efluente de esgoto sanitário, quando o objetivo principal é gerar lodo com menor concentração de metais pesados.

Bhom et al. (2019) ao analisar lodo industrial e doméstico com o intuito de verificar a concentração dos metais chumbo (Pb), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) pelo método de espectrometria de absorção atômica por chama e assim como nessa pesquisa, obteve concentrações abaixo do estipulado pela Resolução CONAMA 375/2006 (Brasil, 2026), demonstrando viabilidade na destinação agrícola como uma alternativa ambientalmente adequada.

Já Pedroza et al. (2017) destaca que a lodos de esgoto domésticos apresentam baixa concentração de metais pesados, mas esses valores podem ser influenciados pela presença de esgotos industriais na rede coletora. As elevadas concentrações podem restringir a aplicabilidade agrícola do lodo. Freddi (2019) também destaca esse ponto, evidenciando que mesmo a aplicação do lodo para fins agrícolas tenha inúmeros benefícios, como a reciclagem dos resíduos, melhora das propriedades físico químicas do solo e presença de nutrientes, quando utilizado sem análise prévia ou de forma não

controlada, substâncias presentes em excesso podem causar danos aos corpos hídricos, ao ambiente e a população.

Sendo assim, mesmo com as variações analisadas nesse estudo, os três lodos estão dentro dos limites estipulados para Resolução CONAMA 375/2006 (Brasil, 2006), a qual define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, sendo assim, o lodo gerado durante este estudo, pelo parâmetro de metais pesados está apto a ser utilizado para fins agrícolas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos nesta pesquisa, conclui-se que os coagulantes Sulfato de Alumínio e *Moringa oleifera* foram eficientes no tratamento do efluente de esgoto sanitário. Em relação ao lodo gerado durante o ensaio, não foi possível concluir que o coagulante *Moringa oleifera* foi responsável pela diminuição na concentração dos metais pesados. Para futuros estudos recomenda-se que as análises sejam feitas todas em um mesmo dia e se possível logo após a digestão das amostras, para que não sofram influências externas.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Londrina pelo apoio em sua infraestrutura para realização deste trabalho e ao Laboratório Multiusuário LAMAP da Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Apucarana pela realização das análises de metais.

REFERÊNCIAS

- ANDREOLI, C. V. et al. Uso de lodo de esgoto na produção de substrato vegetal, In: Biossólidos - Alternativas de uso de resíduos do saneamento. Editora ABES, 2006.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 27º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2021. Brasília: SNS/MDR, 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006.

FAJARDO, P. **Monitoramento de impactos ambientais pós-implantação de estações de tratamento de esgotos sanitários**. Tese (Doutorado) – Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, p.237. 2019.

FREDDI, Letícia Amadeu. Riscos associados à aplicação do lodo de esgoto na agricultura. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 12, n. 24, 2019.

GALLÃO, I.M. et al. Avaliação química e estrutural da semente de Moringa. *Cienc. Agron.*, Fortaleza, v. 37, n. 1, p. 106-109, 2006.

JÚNIOR, A. C. M. et al. Avaliação da eficiência do uso de coagulantes para a remoção de fósforo em efluentes. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica**, p. 65-81, abr 2023.

MATOS, Simone Pires de. Técnicas de análise química - métodos clássicos e instrumentais - 1ª edição – 2015. **Editora Saraiva**, 2015.

MESQUITA, G. M. **Metodologias de preparo de amostras e quantificação de metais pesados em sedimentos do Ribeirão Samambaia, Catalão-GO, empregando Espectrometria de Absorção Atômica**. 2014. 134 p. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal de Goiás. Campus Catalão. 2014.

METHODS, C. Methods of soil analysis. Book Series. 1 ed, 1996

OLIVEIRA, S. A. **Ensaio exploratório de otimização do tratamento primário da ETAR de Beírolas para incrementar a eficiência energética. Aplicação de Moringa oleifera no processo de coagulação-floculação**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade de Lisboa, 2014.

PEDROZA, M. M. et al. Determinação das características de lodo de esgoto anaeróbio. **In: Jornada de Iniciação Científica e Extensão (JICE)**, 8., Tocantins. 2017.

PEDROZA, M. M., Pedrosa, A. L., Paz, E. C. S., Vieira, G. E. G., Souza, J. F. (2017) Pirólise de lodo de esgoto em cilindro rotativo para a produção de biocombustíveis, **Revista AIDIS**, 10(2), 2017. p. 151-163.

PEREIRA, E. R. et al. Integração de sistemas alagados construídos com uso de coagulantes orgânicos no tratamento de efluentes de restaurante universitario / Integration of wetlands with the usage of alternatives organics coagulants in university's restaurant effluent treatment. **Brazilian Journal of Development**, 6(5), 2020.

RENAULT, F. et al. Chitosan for coagulation/flocculation processes - An eco-friendly approach. **European Polymer Journal**, v. 45, p. 1337-1348, 2009.

RORAT, A. et al. Sanitary and environmental aspects of sewage sludge management. *Industrial and Municipal Sludge*, p. 155-180, 2019.

SILVA, F. et al. Principais contaminantes do lodo. In: **Lodos de Esgotos – Tratamento e Disposição Final**. Rio de Janeiro: ABES, 2001.

CAPÍTULO V

RETROFIT DE FACHADA E CIRCULAÇÃO EXTERNA DA IGREJA PRESBITERIANA DO BRASIL EM BACABAL – MA: SUSTENTABILIDADE E ACESSIBILIDADE EM FOCO

**Assíria Caldas Guimarães Gonçalves Costa
Cimark Guimarães Sandes Filho
Eder Luanderson Pereira de Oliveira
Glória Leticia Brito de Aguiar**

DOI: 10.5281/zenodo.17306047

1. INTRODUÇÃO

É notório que a construção civil tem sido constantemente marcada pelo advento de novos materiais e técnicas construtivas que possibilitam agilizar e aumentar a escala de produção de novas edificações. No entanto, igualmente se tem difundido pautas ligadas ao desenvolvimento sustentável deste setor que buscam estratégias que contribuam com a diminuição dos impactos ambientais negativos e a preservação do ecossistema local através do melhoramento e reutilização de prédios já existentes.

A Engenharia Civil dispõe de diversas técnicas que, quando aplicadas, são capazes de tornar a realização destes objetivos possíveis. Dentre elas, destaca-se o *retrofit*, o qual é um processo que visa a atualização do edifício através da inserção de novas tecnologias

e recursos que serão capazes de beneficiá-lo com o aumento da sua vida útil, sua valorização comercial e a geração de eficiência – seja energética, funcional, dentre outras naturezas.

Sendo assim, este trabalho objetiva realizar um projeto de *retrofit* arquitetônico de fachada e circulação externa da Igreja Presbiteriana do Brasil em Bacabal, cuja justificativa da escolha se dá pela carência de atualização predial que a edificação demanda atualmente, para que seja possível proporcionar, aos usuários, o devido conforto e segurança na sua utilização, como também incentivar a prática de ações, técnicas e materiais que estejam em harmonia com a proteção e preservação do meio ambiente, além de promover a cultura da comunidade religiosa presente neste local por meio da valorização estética.

Ademais, devem ser identificados os elementos prediais da fachada e da circulação externa que necessitam de intervenção e seus respectivos problemas, analisar os recursos de materiais e técnicas disponíveis para resolução de cada problemática encontrada e que estejam dentro dos conceitos de sustentabilidade e acessibilidade e, por fim, desenvolver um projeto arquitetônico de *retrofit* para referenciar as soluções encontradas aplicadas aos elementos estudados da edificação.

2. INTRODUÇÃO AO RETROFIT

De acordo com o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável - CBCS (2013), o termo *retrofit*, ou “reconversão” no português, originou-se por meio da junção das palavras *retro*, que expressa “movimentar-se para trás” no latim, e *fit*, que significa “ajustar-se” na língua inglesa, sendo um conceito relevante na área da construção civil que se refere às intervenções realizadas em edificações com o objetivo de atualizá-las às adequadas condições de desempenho e recursos tecnológicos atuais.

É válido destacar que a aplicação dessa técnica abrange desde patrimônios históricos até edificações já consideradas modernas, cujos sistemas foram executados indevidamente e tornaram-se obsoletos, ou seja, o *retrofit* permite que o prédio seja transformado e tenha suas funções adaptadas conforme os requisitos dos seus usuários e a atualidade da construção civil no tocante à inovação e sustentabilidade.

Além disso, o *retrofit* pode ser confundido com outras técnicas de reabilitação, por isso, o Quadro 1 apresenta outros processos disponíveis no âmbito da reabilitação predial,

a fim de entender suas aplicabilidades e funcionalidades que definem as divergências existentes entre cada uma.

Quadro 1 – Técnicas de reabilitação predial

Técnicas	Objetivos
Restauração	Moldar a edificação às suas características arquitetônicas originais do período em que foi construída, restituindo elementos estéticos e funcionais que moldam a arquitetura histórica da obra.
Reforma	Reestabelecer a forma do prédio, havendo reformulação parcial ou completa da função e da estética, para que o usuário usufrua da edificação com segurança e conforto. Não é obrigatório o uso de materiais sustentáveis ou preservar a arquitetura original.
Manutenção	Desacelerar o processo de deterioração que acontece nos elementos de uma edificação, podendo ser de natureza preventiva ou, e que, de acordo com a NBR 5674:2012, seu objetivo é “preservar as características originais da edificação”.

Fonte: Adaptado de ABNT (2012), Souto (2019) e Vale (2006).

2.1 Aspectos técnicos do *retrofit*

O *retrofit* possui uma extensa gama de aplicação, podendo ser na arquitetura, intervindo na estética e acessibilidade da edificação, nos sistemas de vedação, nos sistemas estruturais, e até mesmo em sistemas complementares como elétrico e hidrossanitário. Desta forma, caracteriza-se por possuir fundamentos na eficiência e usabilidade.

Devido à sua aplicabilidade em diversos sistemas de uma construção e em diferentes níveis de intervenção, de acordo com o manifesto francês *Nora-Minc* (1997, apud Barrientos, 2004), o *retrofit* classifica-se em diferentes tipos. No Quadro 2, observa-se a classificação do *retrofit* baseado no nível de intervenção predial:

Quadro 2 – Classificação do *retrofit* por grau de intervenção

Retrofit	Descrição
Retrofit rápido	Pequenos reparos e recuperação de instalações e revestimentos internos.
Retrofit médio	Serviços do <i>retrofit</i> rápido, além de intervenções em fachadas e alteração dos sistemas de instalações.
Retrofit profundo	Serviços do <i>retrofit</i> rápido e médio, aliado às mudanças de <i>layout</i> desde os ambientes, alterando suas funções, até à estrutura da cobertura.
Retrofit excepcional	Serviços complexos de <i>retrofit</i> em edificações históricas ou em áreas de proteção.

Fonte: Adaptado de Barrientos (2004) e Costa (2018).

Além disso, o Quadro 3 apresenta um segundo tipo de classificação de *retrofit*, onde, desta vez, baseia-se no sistema predial escolhido para receber a intervenção:

Quadro 3 – Classificação do *retrofit* por sistemas

Retrofit	Descrição
Luminotécnico	Substituição de um sistema de iluminação por um sistema com maior eficiência energética, luminosidade adequada, menor carga térmica, melhor reprodução de cores, menor nível de ofuscamento e maior conforto visual.
Acústica	Instalação de fonte sonoras, esquadrias e vedações para o controle do ruído interno e externo, além do tratamento acústico.
Climatização	Instalação de mecanismos de climatização modernos e eficientes para economia de energia, e fechamento de frestas para isolamento térmico para redução da perda térmica.
Instalações mecânicas	Modernização dos sistemas de elevadores para redução de energia, desgastes e aumento da segurança.
Fachada	Mudanças conforme a obsolescência dos materiais e técnicas empregadas, visa a melhoria estética, energética, lumínica e/ou acústica.
Hidráulica	Correção de vazamentos e alteração por sistema hidráulico moderno capaz de reduzir o consumo de água.
Novas utilizações	Modalidade mais complexa, estuda as mudanças e adaptações de <i>layout</i> , dos sistemas elétrico, hidráulico e estrutural conforme o novo tipo de uso do prédio.

Fonte: Adaptado de Barrientos (2004) e Rocha (2019).

No entanto, apesar de diversos estudos serem desenvolvidos na área acadêmica, ainda não existem normas e legislações que regulamentem a prática do *retrofit* propriamente dita, por isso, profissionais da área que desejam explorar e expandir a sua prática são limitados pelas normas já existentes na construção civil.

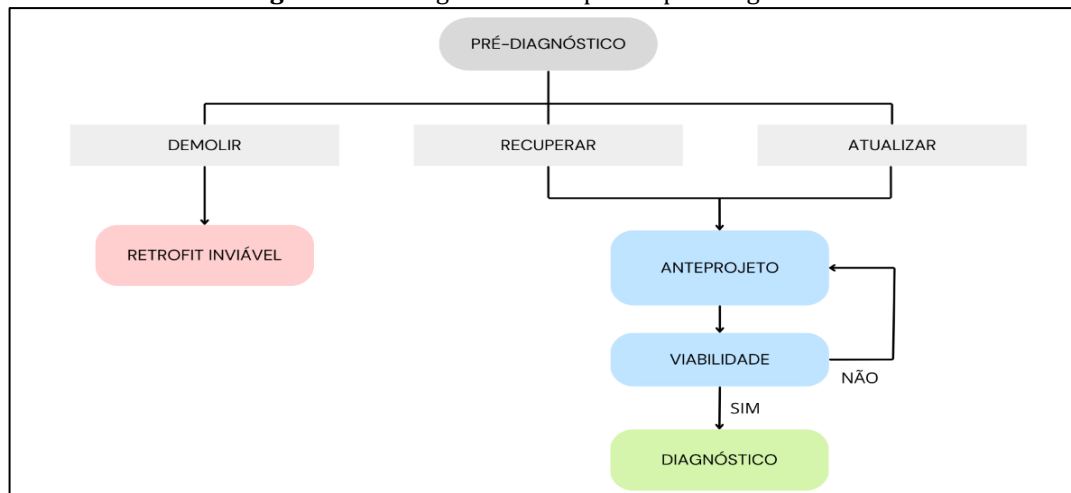
2.2 Diagnóstico e elaboração de projeto de *retrofit*

2.2.1 Pré-diagnóstico

Para Barrientos e Qualharini (2004), o estudo de *retrofit* deve ser desenvolvido baseado na realização do pré-diagnóstico e diagnóstico predial, capacitando o profissional para entender as necessidades e carências dos sistemas prediais, a fim de solucionar as problemáticas encontradas de forma eficaz.

O pré-diagnóstico é caracterizado por uma análise que abrange vistorias, medições, análise de documentos e plantas que sejam capazes de prover informações necessárias para o desenvolvimento de um anteprojeto que englobe os objetivos principais do projeto, a possibilidade de execução e a garantia de qualidade da intervenção, ou analisar a possibilidade de demolições, conforme representado na Figura 1 (Barrientos e Qualharini, 2004).

Figura 1 – Fluxograma de etapas do pré-diagnóstico



Fonte: Adaptado de Barrientos e Qualharini (2004).

2.2.2 Diagnóstico

Já o diagnóstico, assim traçado por Barrientos e Qualharini (2004), será realizado com base no que foi analisado anteriormente com o pré-diagnóstico, utilizando de investigações que colem dados ainda mais minuciosos e que possibilitam a elaboração de uma proposta ainda mais convergente à realidade do prédio. Nesse processo, são citadas algumas metodologias disponíveis para o profissional utilizar de acordo com suas necessidades, que são:

- a) Vistoria: ou *walkthrough*, realizado por meio de observação *in situ* do estado atual do prédio, dos seus materiais e sistemas, verificando a presença de irregularidades ou manifestações patológicas.
- b) Pesquisa documental: consiste na coleta de documentos técnicos e legais sobre a edificação e projetos arquitetônicos, estruturais e complementares.
- c) Questionário: elaborado através de perguntas sistematizadas que coletarão dados dos usuários da edificação conforme o tema determinado pelo pesquisador, em meio físico, oral ou eletrônico.
- d) Entrevista: comunicação direta entre entrevistado e entrevistador, onde são realizadas perguntas intrínsecas ao objeto de estudo;
- e) Medições físicas: realiza-se o levantamento de dimensões ou verificação de desempenho de sistemas.

Sendo assim, cabe ao profissional avaliar a complexidade do estado atual da edificação e determinar o nível de diagnóstico mais adequado, incluindo, se necessário,

ensaios *in loco* ou laboratoriais para maior detalhamento. Com o diagnóstico concluído, é possível interpretar os dados obtidos e avaliar as opções de intervenção de forma fundamentada.

2.2.3 Elaboração do projeto

Conforme abordado por Vale (2006), aliado ao processo de diagnóstico, é importante que, nas etapas de elaboração e execução do projeto arquitetônico, o profissional responsável deva levar em consideração diversas posturas técnicas e estratégias sustentáveis que garantirão a produção de uma reabilitação adequada aos princípios supramencionados do *retrofit*, que são:

- a) Otimizar, flexibilizar e adaptar o espaço, focando na economia de recursos naturais na execução, seja materiais ou energia;
- b) Minimizar os impactos ambientais negativos através da destinação adequada dos resíduos, priorizado o reuso ou reciclagem.
- c) Integrar os sistemas naturais de ventilação e iluminação aos sistemas artificiais, onde os sistemas naturais devem ser amplamente explorados e os sistemas artificiais devem ser eficientes;
- d) Priorizar o uso de materiais renováveis e não prejudiciais ao meio ambiente, contribuindo para com sua melhoria;
- e) Os valores de sustentabilidade que devem estar aliados à utilização das tecnologias da construção civil, ou seja, a utilização da ecotecnologia.

Já a fase de produção do projeto de *retrofit* pode ser realizada de acordo com as ferramentas disponíveis e escolhidas pelos profissionais da área conforme as suas necessidades, como o *Building Information Modeling* - BIM (Paula, 2022).

3. SUSTENTABILIDADE E ACESSIBILIDADE

O conceito de sustentabilidade, desenvolvido no *Brundtland Report* pela *World Commission on Environment and Development* (WCED), em 1987, busca atender às necessidades presentes da sociedade sem comprometer as futuras gerações (Oliveira, 2007). Na construção civil, é imprescindível adotar práticas sustentáveis que conciliem avanços tecnológicos e preservação ambiental (Schreiber et al., 2020). Além disso,

materiais, técnicas e procedimentos só podem ser considerados sustentáveis quando proporcionam benefícios ambientais, econômicos e sociais, assegurando acessibilidade e segurança aos usuários e comunidades próximas (Santos et al., 2020).

A sustentabilidade ganhou relevância devido às alterações ambientais causadas pelo crescimento populacional e industrial, que despertou a preocupação de autoridades e pesquisadores em prevenir e mitigar impactos ambientais. Contudo, esse desenvolvimento também agravou a falta de acessibilidade urbana, essencial para o desenvolvimento sustentável social (Fonseca e Tibúrcio, 2015). Na construção civil, a garantia de acesso aos ambientes deve seguir normas como a NBR 9050:2020, da ABNT, que estabelece parâmetros para circulação e ergonomia de pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida.

O *retrofit* emerge como uma solução sustentável ao reduzir resíduos de construção e custos de novas edificações, além de incentivar o uso de materiais recicláveis e renováveis. Este processo alia desenvolvimento tecnológico e estético à sustentabilidade ambiental e social, promovendo uma paisagem urbana funcional, acessível e inclusiva, conforme os parâmetros técnicos estabelecidos pelas normas vigentes.

4. OBJETO DE ESTUDO

A proposta de *retrofit* foi aplicada ao prédio da Igreja Presbiteriana do Brasil, localizada na cidade de Bacabal do estado do Maranhão. O complexo religioso da denominação que é composto pelo prédio/templo religioso e pela casa pastoral, sendo esta última não abrangida no estudo de caso deste trabalho (Figura 2).

Figura 2 – Situação do objeto de estudo (polígono em amarelo)



Fonte: Google Earth Pro (2024).

A construção da obra iniciou-se no ano de 1986, onde foi registrado seu andamento no ano seguinte, contudo, não foi possível identificar o ano de conclusão da obra (Igreja Presbiteriana do Brasil, 1986, 1987). As intervenções posteriores à construção foram marcadas pela reformulação da fachada, manutenção dos revestimentos, instalação de novas esquadrias, iluminação externa, sistema de climatização, entre outros (Figura 3).

Figura 3 – Histórico de intervenções no prédio da IPB em Bacabal (1987 a 2024)



Fonte: Benivan Benedito de Brito (2024).

Portanto, em vista do panorama histórico da construção e de intervenções realizadas na edificação, e levando em conta, principalmente, o seu tempo de vida, que data cerca de 37 anos, considerou-se necessária a realização de uma intervenção que fosse capaz de aprofundar os processos de reabilitação com a finalidade de modernizar e adequar os seus componentes prediais. Dada a complexidade da reabilitação predial, especialmente no retrofit, a pesquisa limitou-se à análise de dois sistemas da arquitetura externa: a fachada e a circulação em seu entorno, servindo como ponto de partida para futuras análises dos demais sistemas.

5. METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido como estudo de caso, escolha que foi justificada pela necessidade em analisar as condições apresentadas nos sistemas de fachada e circulação externa da edificação da Igreja Presbiteriana, e propor intervenções que sejam capazes de solucionar as problemáticas apontadas. Para isso, a metodologia abrangeu a utilização da pesquisa bibliográfica para formar seu embasamento teórico – recursos estes que foram obtidos por meio de pesquisa online em bibliotecas virtuais como o Google Acadêmico e SciElo, e através de consulta em acervo documental do

próprio objeto de estudo. Além do mais, este estudo é classificado em natureza aplicada, de método qualitativo e de objetivos exploratórios (Cesário *et al.*, Flauzino e Mejia, 2020).

5.1 Diagnóstico

Para iniciar os estudos concernentes à produção do projeto após a pesquisa e produção do referencial teórico, fora realizado a etapa do diagnóstico, este que foi desenvolvido com base na metodologia de Barrientos e Qualharini (2004), adaptado para a área de pesquisa e ao objeto de estudo, seguindo, em ordem, as etapas de pesquisa documental, medições físicas e vistoria.

5.1.1 Pesquisa documental

Em relação a tais informações, só foi possível localizar 2 documentos de atas de reunião, registro fotográfico da edificação em processo de construção, 8 registros fotográficos da edificação executada e após passar por reformas, e 1 rascunho à mão livre de planta *as built* cujo autor e data não foram identificados.

Em decorrência dessa realidade, com a pouca disponibilidade de registros oficiais, foi possível estimar apenas sua vida útil e, com isso, auxiliar superficialmente na classificação do nível de degradação e intervenção a ser realizado, o que trouxe a necessidade de realizar a vistoria da edificação e seus componentes para elaborar um diagnóstico adequado e elaborar uma proposta de *retrofit* eficiente.

5.1.2 Medições físicas

As medições físicas consistiram no levantamento das medidas de todas as faces da fachada e seus componentes, e de toda circulação externa do entorno da fachada e do passeio público, incluindo rampas e desníveis. A instrumentação utilizada contou com trena de metal e trena à laser para a medição dos componentes, obtenção dos dados e inserção no software de produção arquitetônica para modelagem do prédio para a produção do projeto *as built* que serviu como base para o desenvolvimento do projeto de *retrofit*.

5.1.3 Vistoria

A vistoria foi a etapa que abrangeu a identificação das problemáticas a serem trabalhadas no projeto de intervenção. Para realizar a vistoria, foram necessárias diversas avaliações por observação sistemática (guiada por um roteiro) e identificação de elementos que demandam a intervenção, utilizando do registro fotográfico para a investigação de cada anormalidade apresentada. No entanto, por se tratar de uma vistoria e não uma inspeção predial, que requer investigações multidisciplinares e minuciosas, as análises foram realizadas somente de forma observacional e superficial.

5.1.4 Elaboração do parecer técnico

Em seguida às etapas do diagnóstico, foi necessária a elaboração do parecer técnico, que consistiu em organizar e analisar a intervenção que cada elemento requer, baseado na degradação em que este se encontra. A partir do roteiro elaborado para a vistoria, o parecer técnico foi constituído pelos componentes inseridos na área de estudo delimitada, com o registro fotográfico relacionado às condicionantes apresentadas e sua descrição. O Quadro 4 a seguir apresenta brevemente os componentes vistoriados e suas principais problemáticas identificadas.

Quadro 4 – Resumo do parecer técnico da vistoria

Sistema	Componentes	Descrição
Fachada do prédio	Vedação	Infiltração de umidade, eflorescência e descolamento do revestimento.
	Marquise	Infiltração de umidade, descolamento do revestimento, abertura de frestas no forro.
	Esquadrias	Ausência de componentes de isolamento termoacústico, caixilhos de ferro com presença de ferrugem, design desatualizado.
	Instalações gerais	Condensadoras do sistema de climatização instaladas na fachada principal e saída de água da calha direcionada para a circulação principal.
Muro de fachada	Vedação	Infiltração de umidade, eflorescência e descolamento do revestimento.
	Esquadrias	Grade de ferro com presença de ferrugem; grade e portões com design desatualizado.
Circulação externa	Revestimento	Infiltração de umidade e presença de rachaduras e trincas.
	Elementos de acesso entre desníveis	Rampas com inclinações de 16,67% a 27,27%, degrau de 25 cm de altura, degraus isolados com alturas distintas.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

5.1.5 Elaboração do projeto de *retrofit*

Para desenvolver o projeto de *retrofit*, foi utilizado o Revit, um *software* de modelagem 3D desenvolvido pela empresa Autodesk Inc. que fornece ferramentas para que profissionais da construção civil possam projetar, documentar, gerenciar, analisar e entregar projetos de construção e infraestrutura (Autodesk, [s.d.]).

O projeto de *retrofit* desta pesquisa iniciou-se com a produção das plantas *as built* da fachada e da circulação do prédio a partir dos dados da medição física que foram obtidos na etapa de diagnóstico para que, assim, as condições do objeto de estudo pudessem ser analisadas e readequadas na proposta. Em seguida, com a conclusão do projeto *as built*, foram iniciados o estudo e a elaboração da reabilitação predial. O projeto final contou com a produção de 2 plantas baixas, 1 corte transversal com detalhamentos, 7 vistas das fachadas com detalhamentos e renderizações.

6. RESULTADOS

A proposta de *retrofit* desenvolvida para a fachada e circulação externa do prédio da Igreja Presbiteriana baseou-se nos princípios da sustentabilidade e acessibilidade, e foi realizada a partir do desenvolvimento de um projeto arquitetônico no *Revit*, com as análises realizadas na fase de diagnóstico, e referenciando as respectivas soluções encontradas por meio da utilização dos materiais e tecnologias sustentáveis disponíveis no mercado da construção civil. É importante destacar que a produção final do projeto se limitou à área do estudo arquitetônico sustentável e acessível, não levando em consideração aspectos técnicos relacionados aos sistemas estrutural, hidráulico e elétrico.

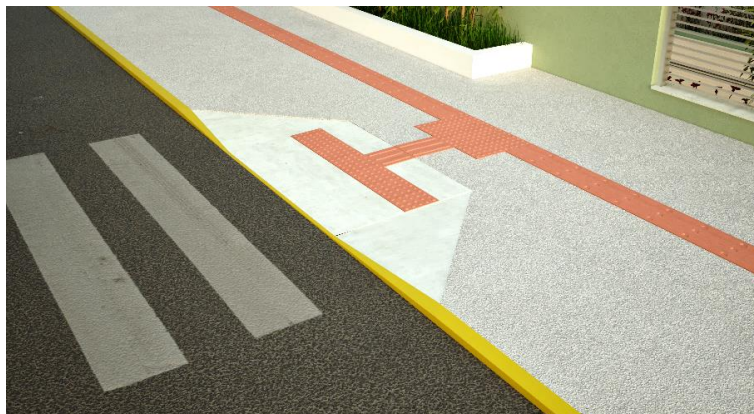
6.1 Circulação externa

6.1.1 Passeio público

A calçada pública recebeu propostas relacionadas à uniformização da sua geometria, eliminando obstáculos em desníveis para criar um fluxo homogêneo em todo o seu percurso. Além disso, foi projetado um rebaixamento de calçada para o direcionamento das pessoas que utilizam a faixa de pedestres e, para agregar maiores recursos de acessibilidade, foi projetada a sinalização tátil em pisos táteis de alerta e

direcionamento, utilizando como norma-base a NBR 16537:2024 - Acessibilidade - Sinalização tátil no piso - Diretrizes para elaboração de projetos e instalação, da ABNT (Figura 4).

Figura 4 – Renderização da calçada em piso drenante com sinalização tátil e rebaixamento de calçada



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Ademais, foi projetada a atualização do material de pavimentação atual em piso de argamassa para o piso drenante *fulget* – produzido a partir de materiais reciclados de porcelanato e concreto, e que possui alta permeabilidade e resistência mecânica, além de poder ser instalado diretamente no solo, permitindo sua reutilização em caso de intervenções no local (Braston, 2015). Para a sinalização tátil, foi indicada a utilização dos pisos em concreto na coloração vermelha, atendendo aos requisitos de desenvolver um piso com resistência e durabilidade e prover contraste de luminância entre a sinalização tátil e a faixa livre.

6.1.2 Circulação externa do prédio

As condições de desníveis e inclinações da circulação externa do prédio foram analisadas para a elaboração dos elementos em rampa, degrau isolado e escada conforme os requisitos da NBR 9050:2020 e, assim, prosseguir para a análise e adequação das dimensões das rotas de circulação. Sendo assim, para todas as circulações foram elaboradas adequações para suas geometrias, além da inserção da sinalização tátil para indicar percursos, mudanças de trajetória e acessos às áreas internas. Para melhor visualização, o Quadro 5 a seguir apresenta as propostas realizadas para cada circulação.

Quadro 5 – Propostas de intervenção para as circulações externas do prédio

Sistema	Componentes	Descrição
Circulação frontal	Rampa de acesso da área pública para o lote	Readequada para uma rampa com 8,33% de inclinação e um degrau isolado de 11 cm.
	Área de circulação	Piso nivelado para uma cota única de inclinação, removendo uma rampa de 16,67% e dois desníveis. Ampliação da largura da circulação para eliminar o conflito entre a rampa com comprimento readequado e a parede de fachada existente.
	Grelhas de escoamento	Retirada da circulação principal e realocada para o final da rota de circulação, onde foi projetado um canteiro verde.
Circulações laterais	Rampas de acesso entre níveis	Rampa de 27,27% readequada para inclinação de 8,33%. Criação de rampa com inclinação de 8,33% para o acesso de um nível em degrau com 25 cm de altura. Readequação de degraus de 18 cm e 19 cm de altura para escada com patamar e 2 degraus de 18,33 cm de altura.
	Área de circulação	Jardineiras em alvenaria isoladas substituídas por canteiros verdes lineares para evitar obstáculos arquitetônicos. Redistribuição da largura da circulação e dos canteiros verdes para obter simetria entre as faixas.
Circulação posterior	Área de circulação	Desníveis com 2 cotas de elevações e 2 cotas de inclinações para 2 níveis planos. Ampliação da área de circulação para receber o público em datas de eventos.
	Rampa de acesso entre níveis	Criação de uma rampa de acesso com 8,33% de inclinação entre os dois níveis readequados.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Em toda a circulação, a escolha de materiais foi baseada nos princípios da sustentabilidade que devem estar envolvidos desde o processo de extração da matéria-prima, dando preferência aos materiais renováveis e reciclados, até ao seu desempenho final, optando por aqueles que possuem características de resistência mecânica, tenham durabilidade, não emitem poluentes, entre outras características intrínsecas de cada material.

Para o piso, foi escolhido o revestimento em porcelanato, que se destaca por ser um material durável e com resistência mecânica, a manchas, à água, a produtos químicos e que, quando obtido de empresas responsáveis por práticas sustentáveis como a utilização de materiais reciclados e diminuição da temperatura de queima, contribui com o desenvolvimento da indústria de materiais ecotecnológicos (Archrends Portobello, 2022; Linhares, Pereira e Bessa, 2021). E, tendo em vista a necessidade de garantir maior segurança ao escorregamento, foi optado pela utilização do piso *fulget* no revestimento das rampas, do degrau isolado e da escada presentes na circulação.

Ademais, os corrimãos, a sinalização tátil alerta e direcional de toda a circulação externa do prédio foram desenvolvidas em elementos soltos de aço inox – material que, segundo Gois (2012), possui propriedades de resistência mecânica, à umidade, é de fácil manutenção, tem bom custo-benefício e é reciclável. A Figura 5 a seguir apresenta um comparativo das condições da circulação lateral esquerda em seu estado atual e com a aplicação do *retrofit*.

Figura 5 – Circulação lateral esquerda atual e renderização após o *retrofit*



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

6.2 Fachada do prédio

A fachada do prédio e suas faces (frontal, laterais e posterior) receberam uma diversidade de propostas de intervenções que foram capazes de atender às problemáticas evidenciadas na seção 5.1.4 , abrangendo uma série de materiais e técnicas que contribuem para a atualização sustentável da edificação (Quadro 6).

Quadro 6 – Propostas de intervenção para as fachadas do prédio

Sistema	Componentes	Descrição
Fachada frontal	Vedação	Criação de uma nova parede de fachada respeitando a ampliação da circulação, com volumetria ornamental em poliestireno expandido (EPS) e brises verticais de madeira, e revestimento em borracha líquida e pedra natural ornamental.

	Marquise	Ampliação da laje, adequação da inclinação, com revestimento em borracha líquida branca e forro em policloreto de vinila (PVC) com aditivos.
	Esquadria	Atualização para portas de uPVC com isolamento termoacústico, mantendo as dimensões da abertura atual.
Fachadas laterais	Vedação	Geometria preservada principal, atualização do revestimento para pintura em borracha líquida. Criação de uma platibanda para isolamento da cobertura (apenas na face direita).
	Instalações	Realocação das condensadoras para a face interna da platibanda. Redistribuição da água da calha da cobertura em um sistema de calha externa, revestida com EPS e forro de PVC com aditivos, com saída de água direcionada por tubulações com correntes conectadas ao canteiro verde. Isolamento da caixa d'água em alvenaria, com acesso direcionado por escada de marinho e plataforma de acesso (apenas na face direita).
	Esquadrias	Atualização para janelas de uPVC com isolamento termoacústico, mantendo as dimensões da abertura atual.
Fachada posterior	Vedação	Geometria principal preservada, atualização do revestimento para pintura em borracha líquida.
	Instalações	Realocação das condensadoras para a face interna da platibanda. Redistribuição da água da calha da cobertura em um sistema de calha externa, revestida com EPS e forro de PVC com aditivos, com saída de água direcionada por tubulações com correntes conectadas ao canteiro verde. Criação de um pergolado em madeira engenheirada com cobertura em chapas alveolares de policarbonato.
	Esquadrias	Atualização para janelas de uPVC com isolamento termoacústico, mantendo as dimensões da abertura atual.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Além das intervenções, também é necessário evidenciar as características de cada material escolhido para compreender o aspecto sustentável da proposta elaborada. Em vista disso, o Quadro 7 apresenta os materiais utilizados no *retrofit* deste sistema.

Quadro 7 – Materiais utilizados na proposta para a fachada do prédio

Materiais	Descrição
EPS	Material leve, plástico e reciclável (Coelho, 2022).
Madeira de maçaranduba	Madeira nobre resistente à umidade e à presença de fungos e cupins e pode ser obtida a partir de reflorestamento (Guerra e Lopes, 2015).
Borracha líquida	Composto por elastômeros, capaz de proteger a superfície de infiltrações de água mesmo quando há o aparecimento de fissuras (Barbosa, 2024).
Pedra natural	Alto desempenho e durabilidade, e sua extração está aliada ao desenvolvimento ecológico de processos de extração, como a reutilização de água e baixo consumo de energia (Muniz, 2022).
UPVC	Mais rígido que o PVC, garante isolamento de som, temperatura e água (Belvedere, [20--]).

Madeira engenheirada	Alto desempenho estrutural, resistência mecânica, baixa condutividade térmica, fungicidas e bactericidas (conforme tratamento), e com processo de fabricação sustentável (Valentino, 2022).
Chapas alveolares de policarbonato	Alta resistência, leveza, atóxico em altas temperaturas, isolante térmico e de raios ultravioletas (Souza, 2022).

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Por fim, a Figura 6 apresenta o comparativo entre as fotografias do estado atual das fachadas e a renderização do projeto de *retrofit* aplicado ao sistema e os respectivos materiais representados.

Figura 6 – Fachadas (frontal, laterais esquerda e direita, e posterior) atualmente e renderização após o *retrofit*



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

6.3 Muro de fachada

O nivelamento do piso da circulação frente à fachada frontal estimulou o desenvolvimento do projeto de alinhamento da alvenaria de vedação que atualmente segue o desnível da topografia em várias seções, e o rebaixamento da altura principal da mureta de suporte à grade. Com essas alterações, mostrou-se necessário a atualização da grade de proteção em ferro por uma grade com melhor capacidade de resistência à oxidação, projetada em alumínio anodizado – metal versátil, reciclável e resistente à oxidação (Lima *et al*, 2018).

A área de entrada para a região posterior do prédio recebeu uma nova fachada para identificá-la como parte do complexo religioso. Destaca-se, nesta intervenção, o uso da pintura à base de água em vista da sustentabilidade, visto que é uma tinta que possui bons desempenhos técnicos similares aos materiais à base de solvente, e tem um processo de fabricação mais limpo em relação às demais categorias, sendo capaz de diminuir a emissão dos compostos orgânicos voláteis (COV) (Michalowski *et al.*, 2019).

As intervenções podem ser visualizadas na Figura 7 a seguir, onde estão

representadas as principais propostas elaboradas para as necessidades analisadas na fase de diagnóstico.

Figura 7 – Fachadas (frontal, laterais esquerda e direita, e posterior) atualmente e renderização após o *retrofit*



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da pesquisa elaborada para aprofundar o conhecimento no tocante ao processo de *retrofit* e para identificar os recursos adequados para formar a proposta de resolução, observou-se uma crescente busca deste mercado pelo desenvolvimento de processos construtivos que estão aliados tanto à modernização e evolução tecnológica como também ao desenvolvimento de pautas ambientais ligadas à preservação e diminuição dos impactos negativos à natureza, e às pautas sociais no tocante à acessibilidade de pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida. Isso mostra, portanto, que o *retrofit* é o processo capaz de aliar estes aspectos no âmbito das intervenções em edificações existentes.

Além do mais, os resultados da elaboração do projeto arquitetônico colaboram com afirmação de que é possível planejar uma reabilitação predial a fim de moldá-la às necessidades dos usuários e aos níveis desempenhos técnicos adequados dos sistemas prediais por meio de soluções que buscam gerar menos volumes de RCD, utilizar a geometria e estrutura da arquitetura existente para inserir as novas tecnologias em componentes e sistemas que influenciarão benéficamente o comportamento do prédio durante sua vida útil, melhorar a relação do indivíduo com a oferta de um espaço ergonômico, confortável, seguro e acessível; e aplicar uma diversidade de materiais e procedimentos modernos da construção civil que aliam qualidade de performance técnica de resistência, durabilidade e eficiência à processos de produção e utilização menos

poluentes e tóxicos, evitando e reduzido danos à saúde populacional e ao meio ambiente.

Contudo, sabendo das limitações apresentadas no decorrer do estudo que não foram capazes de abranger todos os aspectos no tocante à produção de um projeto de *retrofit*, considera-se necessária, como sugestão de estudos futuros, a realização de diagnósticos que incluem as inspeções prediais para identificar aspectos do funcionamento, segurança, vida útil e das manifestações patológicas dos sistemas de fachada e circulação de forma aprofundada para garantir a assertividade das propostas de soluções para as áreas de intervenção; além da elaboração de projetos complementares que buscam a atualização dos sistemas elétrico, luminotécnico, hidráulico, de drenagem dos canteiros e de impermeabilização, a fim de que possam compatibilizar com a produção arquitetônica proposta para os sistemas estudados neste trabalho, e, a partir disso, contribuir com o desenvolvimento desta técnica abrangendo todas as questões ligadas aos sistemas que formam uma edificação.

REFERÊNCIAS

ARCHTRENDS PORTOBELLO. **Porcelanato: um guia completo sobre esse revestimento.** Archtrends Portobello, 2022. Disponível em: <https://blog.archtrends.com/porcelanato/>. Acesso em: 16 dez. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Acessibilidade:** de acordo com a norma ABNT NBR 9050:2020. 4. ed. Brasília, DF: Conselho Federal de Engenharia e Agronomia, 2020. 147 p. ISBN 978-65-5659-371-5. Disponível em: https://www.confea.org.br/midias/acessibilidade_abnt_2022.pdf. Acesso em: 15 jul. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674:** Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575 - 1:** Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16537:** Acessibilidade — Sinalização tátil no piso — Diretrizes para elaboração de projetos e instalação. Rio de Janeiro, 2024.

AUTODESK Revit: software BIM para projetar e criar qualquer coisa. **Autodesk**, [20--]. Disponível em: <https://www.autodesk.com/br/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>. Acesso em: 20 nov. 2024.

BARRIENTOS, Maria Izabel Garrido Garcia. **Retrofit de edificações:** estudo de reabilitação e adaptação das edificações antigas às necessidades atuais. 2004. 252 f. Dissertação (Mestrado em Ciências), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo,

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/1652>. Acesso em: 2 jul. 2024.

BARRIENTOS, Maria Izabel Garrido Garcia; QUALHARINI, Eduardo Linhares. *Retrofit* de construções: metodologia de avaliação. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo: ANTAC, 2004. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/275652033_RETROFIT_DE_CONSTRUcoes_METODOLOGIA_DE_AVALIACAO. Acesso em: 19 jul. 2024.

BELVEDERE. **Portas e janelas termoacústicas**: como funcionam, e será que vale a pena?. Belvedere Vidros e Esquadrias, [20--]. Disponível em: <https://www.belvedereesquadrias.com.br/portas-e-janelas-termo-acusticas-como-funcionam-e-sera-que-vale-a-pena/#inicio>. Acesso em: 17 dez. 2024.

BRASTON. **Tabela Ambiental® Braston**. Campinas, 2015. Disponível em: <https://braston.com.br/tabela-ambiental/>. Acesso em: 14 dez. 2024.
BRITO, Benivan Benedito. [IPB Bacabal comemora Jubileu de Prata]. Whatsapp: [mensagem pessoal]. 13 nov. 2024. 22:16. 1 mensagem Whatsapp.

COELHO, Yeska. **Isopor® é sustentável? Entenda como o material é usado na construção civil**. Casacor, 2022. Disponível em: <https://casacor.abril.com.br/noticias/sustentabilidade/isopor-e-sustentavel-entenda-como-o-material-e-usado-na-construcao-civil>. Acesso em: 16 dez. 2024.

CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES (França). **Igreja Presbiteriana do Brasil em Bacabal**. [Toulouse]: CNES, 2024. 1 imagem de satélite, color, 3D. Airbus Digital, CNES / Airbus, Maxar Technologies, Lat. 4°13'31.63"S, 44°47'36.48"O. Disponível em: https://earth.google.com/web/@-4.22546923,-44.79337775,97.10651409a,10.0148951d,35y,-0h,0t,0r/data=CgRCAggBOgMKATBCAggASg0l_____ARAA. Acesso em: 20 nov. 2024.

CESÁRIO, Jonas Magno dos Santos; FLAUZINO, Victor Hugo de Paula; MEJIA, Judith Victoria Castillo. Metodologia científica: Principais tipos de pesquisas e suas características. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. 11(5), 23-33, 2020. ISSN: 2448-0959. DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/educacao/tipos-de-pesquisas. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/educacao/tipos-de-pesquisas>. Acesso em: 19 nov. 2024.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **Retrofit**: Requalificação de edifícios e espaços construídos, p. 01-02, ago. 2013. Disponível em: http://www.cbcs.org.br/_5dotSystem/userFiles/comitetematico/projetos/CBCS_CTProjeto_Retrofit_folder.pdf. Acesso em: 31 maio 2024.

COSTA, Daniele. A utilização do *retrofit* como técnica sustentável para reabilitação de edifícios históricos. In: FÓRUM MARANHENSE DE URBANISMO, 2., 2018, São Luís. **Artigo** [...]. São Luís: FAPEMA, 2018. p. 01-12. Disponível em: https://patronage.fapema.br/anexos/ACC-PROD_0072020SECID-1320-20.pdf. Acesso

em: 5 jul. 2024.

FONSECA, Talita da Conceição de Oliveira; TIBÚRCIO, Túlio Márcio de Salles. A acessibilidade espacial como parte da sustentabilidade em edificações. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 2015, Viçosa. **Anais** [...]. Viçosa: UFV, 2015. p. 1-12. DOI <http://dx.doi.org/10.18540/2176-4549.6042>. Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/6042>. Acesso em: 15 jul. 2024.

GOIS, Simone Astolfo. **Logística reversa do aço inox**. Orientador: Doutor André de Lima. 2012. 62 f. Projeto de Pesquisa (Curso Superior de Tecnologia em Logística), Faculdade de Tecnologia de Americana, Americana, 2012. Disponível em: https://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/1287/1/20122S_GOISSimoneAstolfo_TCCLOG0074.pdf. Acesso em: 16 dez. 2024.

GUERRA, Maria Eliza Alves; LOPES, Anaísa Filmiano Andrade. Arquitetura verde: contribuições a partir da exemplificação de tipologias vinculadas à sustentabilidade urbana. **Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**, 3(5), 2015. DOI: 10.17271/23178604352015951. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/cidades_verdes/article/view/951. Acesso em: 17 dez. 2024.

IGREJA PRESBITERIANA DO BRASIL. **Ata da Comissão Executiva do Presbitério do Maranhão – PMAR**. Caxias, 10 out. 1986.

IGREJA PRESBITERIANA DO BRASIL. **Ata da Comissão Executiva do Presbitério do Maranhão – PMAR**. Bacabal, 26 fev. 1987.

LIMA, Diego Rodrigues *et al.* Especificação de esquadrias de alumínio com base na ABNT/NBR 10821 (2017) e ABNT/NBR 7199 (2016). **Anais de Engenharia Civil / 2595-1823**, [S.l.], v. 2, n. 2, p. 34 - 55, 2018. Disponível em: <https://uceff.edu.br/anais/index.php/ENGCIVIL/article/view/220>. Acesso em: 19 dez. 2024.

LINHARES, Talissa Bedran, PEREIRA, Andréa Franco, BESSA, Sofia Araújo Lima. Discussões acerca dos impactos ambientais relacionados aos materiais de revestimento de pisos brasileiros. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-10.

MICHALOWSKI, Ana Carolina *et al.* **Íris**: indústria de tintas à base de água. 2019. 156 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, 2019. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5472/1/AP_COENQ_2019_1_04.pdf. Acesso em: 18 dez. 2024.

MUNIZ, Lara. **Entenda por que as pedras brasileiras podem ser consideradas um revestimento sustentável**. Casa Vogue, 2022. Disponível em: <https://casavogue.globo.com/Arquitetura/noticia/2022/08/entenda-por-que-pedras-brasileiras-podem-ser-consideradas-um-revestimento-sustentavel.html>. Acesso em: 16

dez. 2024.

OLIVEIRA, Rodrigo Porto. A importância do *retrofit* na fortificação do conceito de sustentabilidade e na conservação de edifícios históricos. In: SEMINÁRIO PROJETAR, 3., 2007, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: UFRN, 2007. p. 01-17. Disponível em: <http://projedata.grupoprojetar.ct.ufrn.br/dspace/bitstream/handle/123456789/321/039.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 9 jul. 2024.

PAULA, Eduarda Ferreira. **Estudo *retrofit* aplicado ao pavilhão pedagógico I do Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, GO, com aplicabilidade em software de projeto com tecnologia BIM**. 2022. 58 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, Rio Verde, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/2630>. Acesso em: 19 jul. 2024.

ROCHA, Paula Isabella De Oliveira. **Estudo da viabilidade econômica do *retrofit* predial em edificações antigas**: uma ferramenta de auxílio para a tomada de decisão. 2019. 58 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/23621>. Acesso em: 19 jul. 2024.

SANTOS, Fladimir Fernandes *et al.* Práticas de sustentabilidade na construção civil: um estudo em empresas construtoras de edificações. **Organizações e Sustentabilidade**, Londrina, 8(2), 34-53, 2020. DOI <https://doi.org/10.5433/2318-9223.2020v8n2p34>. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/ros/article/view/40687/27611>. Acesso em: 9 jul. 2024.

SCHREIBER, Isabela Franco *et al.* Sustentabilidade, certificação LEED e usuário: estudo em *retrofit* de edifício corporativo. **Mix Sustentável**, Florianópolis, 6(3), 91-106, 2020. DOI <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2020.v6.n3.91-106>. Disponível em: <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/3778/3138>. Acesso em: 9 jul. 2024.

SOUTO, Lorena da Cruz. **O *retrofit* como forma de atualização tecnológica e sustentável de fachadas de edificação**: estudo de caso do edifício Venâncio 2000. 2019. 54f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil), Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2019. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/prefix/14008>. Acesso em: 24 jun. 2024.

SOUZA, Eduardo. **A translucidez do policarbonato**: resistência e versatilidade. ArchDaily, 2022. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/970767/a-translucidez-do-policarbonato-resistencia-e-versatilidade>. Acesso em: 18 dez. 2024.

VALE, Mauricio Soares. **Diretrizes para racionalização e atualização das edificações**: Segundo o conceito da qualidade e sobre a ótica do *Retrofit*. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências em Arquitetura), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em:

<http://objdig.ufrj.br/21/teses/665528.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2024.

Agradecimentos

Agradecemos à instituição, professores e orientadores que ofereceram todo o suporte, conhecimento e direcionamentos necessários e fundamentais para a formação do nosso saber.

CAPÍTULO VI

INTOXICAÇÃO PELO SMOG: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE ZEÓLITAS NO PROCESSO SCR PARA MOTORES DIESEL

**José Carlos de Oliveira
Katia Tames Lourenço**

DOI: 10.5281/zenodo.17306067

1. INTRODUÇÃO

O termo *smog* foi utilizado pela primeira vez para descrever a poluição atmosférica resultante da queima de carvão mineral em Londres. Após a Segunda Guerra Mundial, essa cidade enfrentou um período dramático, conhecido como o *Grande Smog*, caracterizado por uma densa camada de fumaça e material particulado contendo substâncias tóxicas (Hoekman, 2021). Essa fumaça cobriu Londres, provocando graves problemas ambientais, como inversão térmica, além de impactos toxicológicos severos em animais e seres humanos. Estima-se que cerca de 4 mil mortes foram atribuídas a essa poluição atmosférica (Stanek et al., 2011).

Entre 1940 e 1950, os Estados Unidos vivenciaram uma rápida expansão populacional devido à urbanização acelerada. Esse crescimento aumentou o uso de veículos motorizados e impulsionou a industrialização, levando a um significativo

acréscimo na emissão de gases poluentes e à produção de resíduos industriais descartados sem tratamento. Em Los Angeles, a população cresceu 50% no período, dobrando o número de automóveis. A poluição atmosférica na cidade era composta principalmente por dióxido de enxofre, gás carbônico e fuligem. Diferentemente de Londres, onde o *smog* ocorria no inverno e provocava milhares de mortes, o *smog* fotoquímico de Los Angeles era peculiar por ocorrer durante o dia, nos meses de verão e outono, causando irritação ocular, mas sem efeitos imediatos graves (Hoekman, 2021).

Na década de 1950, o fenômeno atmosférico de Los Angeles foi mais bem compreendido, graças ao trabalho do químico Dr. Arie J. Haagen-Smit, que identificou sua relação com a combustão de motores automotivos e emissões industriais. Ele revelou os principais componentes da neblina, como ozônio, dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono e hidrocarbonetos. Essas descobertas motivaram iniciativas governamentais para mitigar o problema (Hoekman, 2021).

A partir de 1972, reuniões internacionais, como a Conferência de Estocolmo, e acordos como o Protocolo de Montreal (1987), a Conferência do Rio-92 (1992), o Protocolo de Quioto (1997) e o Acordo de Paris (2015), estabeleceram estratégias para reduzir a poluição atmosférica e os gases de efeito estufa (United Nations, 1972; 1992; 1997). Paralelamente, o avanço tecnológico proporcionou inovações voltadas à sustentabilidade, como o desenvolvimento de catalisadores para controle de emissões tóxicas.

Inicialmente, os catalisadores à base de metais nobres enfrentaram desafios devido ao envenenamento por compostos de chumbo presentes nos gases de escape. Foi apenas na década de 1970 que catalisadores eficientes começaram a ser utilizados, após a remoção do chumbo da gasolina. Materiais como vanádio e platina se destacaram, sendo o vanádio mais eficiente nesse contexto (Hoekman, 2021).

As zeólitas são materiais cristalinos microporosos compostos principalmente por silício, alumínio e oxigênio, formando uma estrutura tridimensional altamente organizada. Os primeiros relatos sobre as zeólitas remonta a 1756, quando o mineralogista Baron Axel Frederick descobriu esses materiais, cujo nome deriva do grego "pedra que ferve" (*zeó* e *líthos*). Compostas por aluminosilicatos e metais alcalinos ou alcalino-terrosos, as zeólitas demonstraram propriedades únicas, como troca iônica e seletividade molecular. Estudos iniciais identificaram sua capacidade de reter sais de amônia e rejeitar moléculas orgânicas maiores, como observado por Steinhof e Weigel

em 1925. McBain (1932) denominou essa característica de peneiramento molecular. A primeira síntese bem-sucedida de uma zeólita, a analcima, foi realizada por Barrer (1951), marcando o início de uma era de avanços significativos. Em 1980, já haviam sido caracterizadas 40 zeólitas naturais e, ao final daquela década, mais de 10.000 patentes relacionadas à síntese de zeólitas foram registradas (Lima, 2020; Luz, 1995).

Este trabalho tem como objetivo compreender as propriedades, os principais métodos de caracterização, o desempenho e os processos de produção da zeólita chabazita (tipo SSZ-13), com ênfase na análise de sua aplicação em sistemas de Redução Catalítica Seletiva (SCR) para motores a diesel.

2. METODOLOGIA

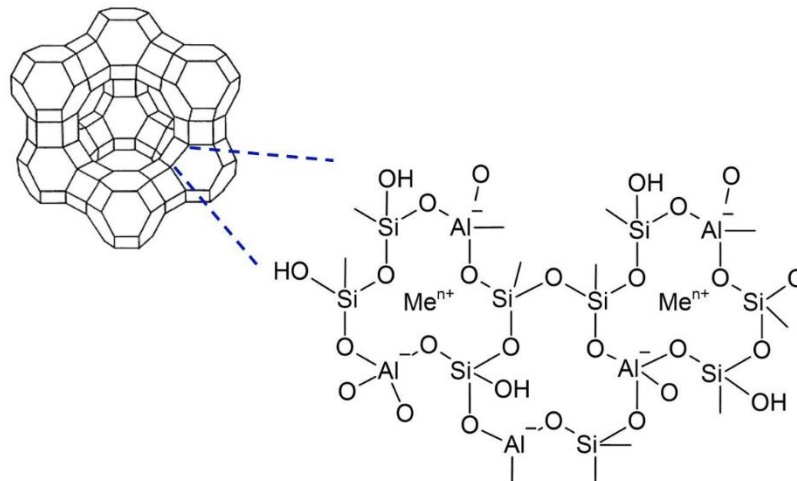
A pesquisa bibliográfica foi conduzida utilizando informações disponíveis na SciELO Brasil, Google Acadêmico, periódicos da Capes e na PUBMED. Foram selecionados artigos científicos publicados em periódicos online, com prioridade para os trabalhos mais recentes e relevantes ao tema. Além disso, foram incluídas dissertações, teses e as principais revistas científicas relacionadas aos tópicos abordados: Grande *Smog*, zeólitas dopadas com cobre e catalisadores. As palavras-chave empregadas nas buscas incluíram: história do *smog*, impactos ambientais e toxicológicos do *smog*, zeólitas chabazitas, zeólitas dopadas com cobre (Cu), técnicas de caracterização de zeólitas e sistemas de Redução Catalítica Seletiva (SCR). Após o levantamento das fontes, foi realizada uma leitura detalhada para embasar a redação do texto, devidamente referenciado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em 1950, a descoberta da capacidade das zeólitas de hospedar sítios ativos com íons metálicos representou um avanço significativo na variabilidade de catalisadores e em suas aplicações para diversas finalidades. Somente em 1970 foi identificada a eficiência da catálise na redução seletiva de óxidos de nitrogênio (NO_x), assistida por amônia, por meio da troca iônica na zeólita Y com cobre (Cu). A estrutura das zeólitas é composta por tetraedros de oxigênio compartilhados nos vértices, contendo centros de silício e alumínio. Sua fórmula geral é representada como $(\text{SiO}_2)_x(\text{AlO}_2^-)_y$, em que a razão x/y indica a proporção entre silício e alumínio (Si/Al). Para manter a neutralidade de carga,

cada sítio tetraédrico é estabilizado por um íon extra-rede, que pode atuar como sítio ativo, conforme a Figura 1 (Lima, 2020; Gouveia, 2023; Paolucci et al., 2020).

Figura 1 - Representação bi e tridimensional da microestrutura geral das zeólitas.



Fonte: Gouveia, 2023.

As zeólitas podem ser classificadas em dois grupos: naturais e sintéticas, conforme sua origem e propriedades. As zeólitas naturais são formadas em ambientes geológicos por reações entre materiais vulcânicos e águas alcalinas. Devido à sua formação natural, apresentam uma rede cristalina heterogênea e complexa, o que pode limitar suas aplicações, como no tratamento de efluentes. Em contraste, as zeólitas sintéticas são produzidas em laboratórios especializados, possuindo uma microestrutura cristalina uniforme e controlada. Essas zeólitas apresentam características específicas, como tamanhos de poros bem definidos, excelente área superficial e alta seletividade de adsorção. Ademais, a microestrutura das zeólitas sintéticas pode ser ajustada para atender às exigências de diferentes aplicações (Lima, 2020; Itakura et al., 2008).

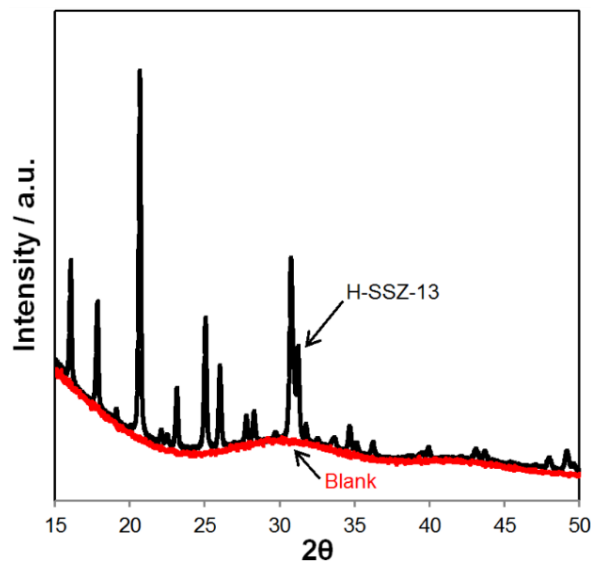
As zeólitas do tipo chabazita possuem uma estrutura cerâmica na qual, geralmente, são depositados metais nobres, como ródio, platina e paládio. A região onde esses metais estão localizados é denominada sítio ativo, sendo responsável por aumentar ou diminuir a velocidade da reação, dependendo do estado do sítio ativo do catalisador. Em motores automotivos, os sítios ativos desempenham a função de acelerar reações químicas e aumentar a eficiência na conversão de gases nocivos (NO_x , CO e HC) em moléculas menos tóxicas, como CO_2 , ou inofensivas, como H_2O e N_2 (Paolucci et al., 2020).

Nos catalisadores automotivos, a catálise é heterogênea, ou seja, o catalisador está na fase sólida, enquanto os reagentes (gases tóxicos) estão no estado gasoso. A reação ocorre na interface entre os reagentes e o catalisador, especificamente na superfície deste. Durante o processo, as moléculas dos gases tóxicos são momentaneamente adsorvidas nos sítios ativos, onde sofrem transformações químicas, sendo posteriormente liberadas como produtos não nocivos (Paolucci et al., 2020).

3.1 Teste de Difratoograma de Raios X

A Figura 2 apresenta um difratograma característico das zeólitas do tipo H-SSZ-13. O intervalo de ângulo selecionado é comumente utilizado para identificar as principais reflexões de materiais com estruturas zeolíticas. Como mostrado na Figura 2, os picos em ângulos específicos indicam a presença de planos cristalinos bem definidos, confirmando a natureza cristalina da zeólita H-SSZ-13 e validando sua estrutura esperada (Bates et al., 2014; Qiu et al., 2020).

Figura 2 - Difratoograma de raio X (XRD) da zeólita chabazita, tipo H-SSZ-13.



Fonte: Bates et al., 2014

O espectro foi escalado por um fator de 2,6 para facilitar a comparação com o padrão da amostra H-SSZ-13. O espectro em vermelho (blank) representa uma amostra em branco, utilizada como referência. Observa-se que o espectro da amostra em branco acompanha o padrão geral da curva, mas não apresenta picos de intensidade

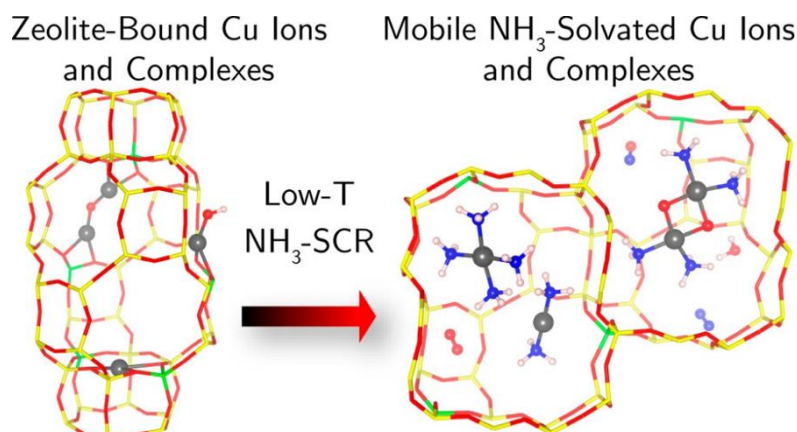
significativos, evidenciando que não possui a mesma estrutura cristalina que a amostra H-SSZ-13. Essa análise reforça a integridade estrutural da zeólita chabazita e sua adequação para aplicações no controle de emissões, como na redução catalítica seletiva (SCR) de NO_x (Bates et al., 2014).

A comparação revela que os picos característicos da amostra H-SSZ-13 são específicos da estrutura zeolítica do tipo chabazita. Essa estrutura apresenta alta cristalinidade, característica essencial para aplicações catalíticas, uma vez que a organização cristalina bem definida melhora a estabilidade e a eficiência do material como catalisador (Bates et al., 2014).

3.2 Propriedades da zeólita SSZ-13 dopada com cobre

A partir de 1990, o interesse por zeólitas modificadas com íons de cobre (Cu) cresceu significativamente, impulsionado pela necessidade de reduzir as emissões de NO_x em motores a diesel. Durante esse período, foi observado que a amônia apresentava propriedades de solvatação e a capacidade de mobilizar íons de cobre dentro das zeólitas. Essa descoberta surpreendeu os pesquisadores, ao abrir novas perspectivas sobre os mecanismos de reação e a atividade catalítica do processo NH₃-SCR. Em 2010, verificou-se que o desempenho catalítico do processo NH₃-SCR era significativamente superior quando íons de Cu eram incorporados à zeólita chabazita de poros pequenos, SSZ-13, como ilustrado na Figura 3. Esses catalisadores têm sido amplamente utilizados para reduzir as emissões de NO_x provenientes de motores a diesel, demonstrando alta eficiência e seletividade (Paolucci et al., 2020).

Figura 3: À esquerda, observa-se a zeólita SSZ-13 com íons de cobre ligados aos sítios internos da rede. À direita, os íons de cobre demonstram maior mobilidade após a coordenação com moléculas de amônia.



Fonte: Paolucci et al., 2020.

O metal de transição cobre apresenta baixas valências, podendo ser encontrado nos estados de oxidação Cu^{+1} e Cu^{+2} , o que favorece sua interação com os sítios AlO_2^- . À esquerda da Figura 3, intitulada “*Zeolite-Bound Cu ions and Complexes*”, é apresentada uma zeólita composta por íons de cobre ligados internamente aos sítios ativos. Os íons Cu^{+2} (representados por esferas cinzas) formam uma estrutura coordenada com a zeólita, interagindo com átomos de oxigênio (vermelhos). Os anéis formados por átomos de silício (amarelos) e alumínio (verdes) compõem uma estrutura tridimensional estável, com sítios ativos bem definidos e específicos da zeólita (Paolucci et al., 2020).

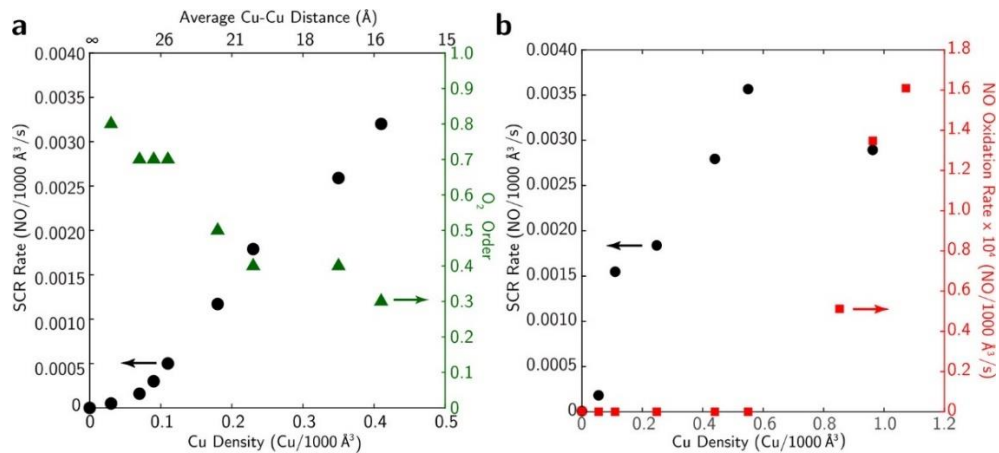
As ligações coordenadas entre a zeólita e os íons de cobre são rígidas, proporcionando pouca mobilidade e interação com os reagentes durante o processo catalítico. À direita da figura 3, observa-se o rearranjo estrutural da zeólita causado pela adição de amônia, o que modifica suas propriedades e características. Após a coordenação da zeólita com moléculas de amônia, os íons de cobre adquirem maior mobilidade nos sítios catalíticos. Os átomos de nitrogênio (esferas azuis) formam complexos solvatados com os íons de cobre, permitindo maior mobilidade destes na estrutura da zeólita. Esse fenômeno favorece a interação entre os sítios ativos e os gases NO_x , garantindo alta eficiência no processo de Redução Catalítica Seletiva (SCR). Devido a essa maior mobilidade do cobre, a temperatura do processo catalítico pode ser reduzida sem prejuízo da eficiência da reação (Paolucci et al., 2020).

A redução da temperatura no sistema catalítico Cu-SSZ-13 (SCR) traz diversos benefícios operacionais, econômicos e ambientais. A operação em temperaturas mais

baixas reduz o consumo de energia necessário para aquecer o sistema, resultando em menor consumo de combustível. Além disso, altas temperaturas podem causar a degradação térmica do catalisador, levando à sinterização (aglomeração dos íons de cobre) e ao envelhecimento da estrutura. Por outro lado, em baixas temperaturas, a estrutura da zeólita e seus sítios ativos são preservados, prolongando a vida útil do catalisador e reduzindo a frequência de substituição. Outro aspecto relevante é o desempenho em regiões frias. Catalisadores que exigem temperaturas mais elevadas podem ser ineficazes na conversão de gases tóxicos em gases menos nocivos nesses ambientes. Já os catalisadores que operam eficientemente em temperaturas moderadas apresentam melhor desempenho tanto em climas frios quanto em veículos operando com baixa carga. Por fim, a versatilidade da Cu-SSZ-13 permite sua aplicação em diversos tipos de reações, como a redução de hidrocarbonetos e a oxidação de CO (Paolucci et al., 2020; Wu, 2023).

A eficiência da Redução Catalítica Seletiva (SCR) de NO_x com NH₃ está diretamente relacionada à densidade de íons de cobre nos sítios ativos da zeólita.

Figura 4 - Influência da densidade de íons de cobre (Cu) em zeólitas Cu-SSZ-13 nas taxas de Redução Catalítica Seletiva (SCR) de NO. Gráfico (a): com NH₃; Gráfico (b): sem NH₃, sob diferentes condições.



Fonte: Paolucci, C. et al., 2020.

Na Figura 4, o gráfico (a) indica que a taxa de redução catalítica seletiva (SCR) aumenta linearmente a partir de uma densidade de cobre de 0,1 Cu/1000 Å³. À medida que a densidade de cobre na microestrutura aumenta, a distância média entre os íons de Cu-Cu diminui, sugerindo uma menor separação entre eles. Isso indica que existe uma densidade ótima de Cu na estrutura da zeólita, onde a taxa de SCR é maximizada. Em resumo, há uma relação direta entre a proximidade dos íons de Cu e a eficiência catalítica

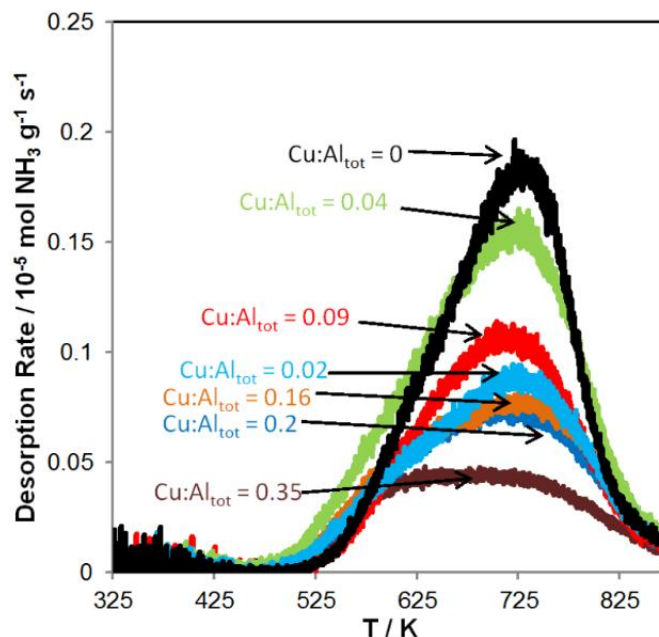
(Paolucci et al, 2020).

No gráfico (b), observa-se que, em densidades mais altas de Cu (acima de 0,5 Cu/1000 Å³), na ausência de NH₃, a taxa de SCR começa a diminuir à medida que a densidade de Cu aumenta. Em contrapartida, a taxa de oxidação de NO a seco aumenta em densidades de Cu superiores a 0,5 Cu/1000 Å³. Esse comportamento sugere que, em altas densidades de Cu, ocorre a formação de óxidos de cobre em massa, reduzindo a eficiência do catalisador na reação SCR devido à competição entre a oxidação de NO e a redução de NO por NH₃ (Paolucci et al, 2020).

3.3 O teste de *Temperature Programmed Desorption*

A dessorção programada de temperatura (TPD, do inglês *Temperature Programmed Desorption*) é uma técnica utilizada para estudar as interações entre moléculas adsorvidas em uma superfície sólida e o material do substrato. Amplamente empregada em estudos de catálise, a técnica envolve o aquecimento controlado de uma amostra contendo moléculas adsorvidas. À medida que a temperatura aumenta, as moléculas adsorvidas começam a dessorver, liberando-se da superfície (Bates et al, 2014).

Figura 5 - A dessorção programada de temperatura (TPD) de NH₃ foi realizada em diversas amostras de Cu-SSZ-13 com diferentes proporções de cobre (Cu), evidenciando as variações na interação e na quantidade de NH₃ adsorvida em função do teor de Cu nas amostras.



Fonte: Bates et al., 2014

Na Figura 5, são apresentados os resultados dos experimentos de dessorção programada de temperatura (TPD) de NH_3 em várias amostras de zeólita chabazita Cu-SSZ-13, com diferentes concentrações de cobre. Durante o experimento, a temperatura foi aumentada linearmente a uma taxa de 10 K/min. À medida que a temperatura aumenta, o NH_3 adsorvido nos sítios ativos de cada amostra começa a dessorver, com intensidades variando conforme a quantidade de cobre presente (Bates et al, 2014).

Cada curva representa uma amostra com uma concentração específica de cobre, variando de 0 a 0,35. Observa-se que a quantidade de cobre afeta tanto a quantidade quanto a temperatura em que o NH_3 é dessorvido. As amostras sem cobre e com baixo teor de cobre (0,04) apresentaram elevada dessorção de NH_3 , enquanto amostras com maiores teores de cobre exibiram menor intensidade de dessorção. Amostras com teores intermediários de cobre (0,09, 0,16 e 0,20) mostraram picos de dessorção menos intensos em comparação com a amostra sem cobre (Bates et al, 2014).

Esse comportamento sugere que, com o aumento da concentração de cobre, a interação entre o NH_3 e os sítios ativos da chabazita é modificada, resultando em uma dessorção mais gradual. A curva da amostra com a maior concentração de cobre (0,35) apresenta um pico mais suavizado, indicando que a dessorção de NH_3 ocorre de forma constante em uma ampla faixa de temperatura (aproximadamente entre 615 K e 735 K). Esse resultado implica que, em altas concentrações de cobre, o NH_3 está fortemente ligado à superfície do catalisador, necessitando de temperaturas mais elevadas para ser dessorvido, embora em menor quantidade (Bates et al, 2014).

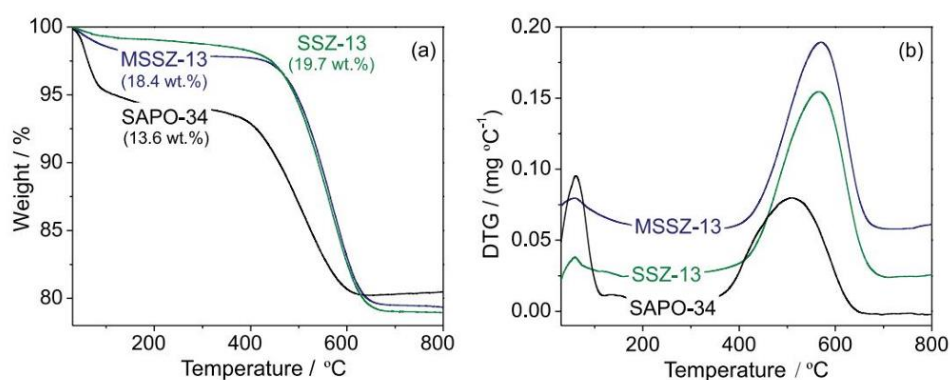
Esses resultados demonstram a importância do TPD como técnica para avaliar a eficiência catalítica em reações como a Redução Catalítica Seletiva (SCR) com NH_3 , evidenciando como o teor de cobre influencia a interação entre o NH_3 e os sítios ativos da zeólita (Bates et al, 2014).

A qualidade e a eficiência de um catalisador para motores a diesel estão diretamente relacionadas à quantidade de cobre presente nos sítios ativos da zeólita chabazita. Um teor moderado de cobre, variando entre 0,09 e 0,2, proporciona uma maior capacidade de armazenamento de NH_3 , onde a amônia atua como agente redutor na redução de NO_x nos gases resultantes da combustão do diesel. A reação de Redução Catalítica Seletiva (SCR) com NH_3 geralmente opera em uma faixa de temperatura ideal, entre 473 K e 673 K (Bates et al, 2014).

3.4 O Teste de *Thermogravimetric Analysis*

A análise termogravimétrica (TGA, do inglês *Thermogravimetric Analysis*) é uma técnica analítica utilizada para determinar a estabilidade térmica e as propriedades térmicas de materiais. Durante o teste, a amostra é aquecida ou resfriada em uma atmosfera controlada, e a variação de massa é medida em função da temperatura ou do tempo. Por meio da TGA, é possível avaliar a estabilidade térmica da amostra, identificando a temperatura em que a decomposição e a perda de massa começam a ocorrer (Florindo, 2021).

Figura 6 - Os resultados da análise termogravimétrica (TGA) estão apresentados no gráfico (a), enquanto a derivada da análise termogravimétrica (DTG) é mostrada no gráfico (b).



Fonte: Florindo, 2021.

O TGA fornece a variação total de massa, enquanto o DTG ajuda a identificar com precisão as temperaturas nas quais ocorrem mudanças mais intensas na massa da amostra. A Figura 6, o gráfico (a) apresenta os resultados de análise termogravimétrica para três amostras de zeólitas da família chabazita: SSZ-13, MSSZ-13 e SAPO-34. As amostras (SSZ-13 e MSSZ-13) exibiram maior estabilidade térmica em comparação com a SAPO-34, uma vez que a perda de massa nas duas primeiras ocorre em temperaturas mais elevadas. Embora MSSZ-13 e SSZ-13 compartilhem perfis semelhantes de estabilidade, suas curvas mostram algumas diferenças sutis nas características térmicas. A curva da zeólita SAPO-34, por outro lado, revela um perfil de perda de massa mais acentuado, indicando uma menor estabilidade térmica. A porcentagem ao lado do nome de cada zeólita (wt.%) representa o teor de voláteis presente nas amostras antes da decomposição. Os dados apresentados destacam as propriedades térmicas e a

estabilidade dos materiais analisados (Florindo, 2021).

A Figura 6, o gráfico (b) mostra os resultados das três amostras, enfatizando a temperatura em que ocorre a maior degradação. A zeólita MSSZ-13 apresenta maior degradação no intervalo de temperatura entre 773,15 K e 873,15 K, indicando uma degradação significativa em uma banda estreita. O material SSZ-13 exibe um pico similar ao da MSSZ-13, mas com intensidade ligeiramente menor. Em contrapartida, a amostra SAPO-34 apresenta um pico mais suavizado, indicando um maior gradiente de perda de massa, ou seja, ocorre de forma mais lenta e gradual. Assim, as zeólitas SSZ-13 e MSSZ-13 podem ter limitações em algumas aplicações que exigem maior gradiente de estabilidade térmica (Florindo, 2021).

3.5 O problema do envenenamento na reação SCR

O envenenamento de catalisadores SCR, especialmente aqueles baseados em zeólitas como a ZSM-13, pode ocorrer devido à contaminação com compostos indesejados, como os óxidos de enxofre (SO e SO_2), fósforo e hidrocarbonetos pesados. A presença dessas substâncias provoca interações que inativam os sítios ativos, prejudicando a adsorção de NH_3 . Como consequência, não ocorrerá a redução de NO_x em N_2 e H_2O em motores a diesel. O envenenamento por enxofre resulta na formação de sulfatos nas superfícies do catalisador, bloqueando a ação dos sítios ativos e, consequentemente, reduzindo a eficiência do catalisador. O acúmulo de compostos contaminantes pode desativar permanentemente parte dos sítios ativos de forma irreversível, resultando em uma diminuição da capacidade seletiva do NO_x . Além disso, a decomposição contínua desses contaminantes pode levar a uma degradação física da estrutura da ZSM-13 (Qiu et al., 2020).

Para mitigar o envenenamento, é recomendável utilizar combustíveis com baixo teor de enxofre e realizar a regeneração periódica do catalisador, o que pode ser feito aquecendo o sistema para remover os contaminantes mais voláteis. No entanto, essa abordagem não resolve completamente o problema da desativação dos sítios catalíticos (Qiu et al, 2020).

Segundo Qiu et al (2020), o envenenamento depende da extensão e o tipo de espécies sulfatadas formadas no catalisador Cu-ZSM-13, onde são influenciados pela temperatura durante o processo de envenenamento. Em temperatura de 473 K, foram

identificadas três espécies de sulfato: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, CuSO_4 e $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Em contraste, a 773 K, apenas CuSO_4 e $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ foram observados, indicando que temperaturas mais baixas levam a uma sulfatação mais complexa. O envenenamento por SO_2 afeta negativamente a atividade SCR em baixas temperaturas, principalmente devido à sulfatação dos sítios ativos. Por outro lado, em altas temperaturas, o envenenamento por SO_2 pode ter um efeito positivo, aumentando a atividade SCR. Essa melhora é atribuída à inibição da reação de oxidação de NH_3 , o que pode ser benéfico sob certas condições.

Essas informações são cruciais para o desenvolvimento de novos projetos de catalisadores que sejam mais resistentes ao envenenamento por SO_2 . Por fim, o envenenamento por SO_2 apresenta um efeito duplo na zeólita Cu-ZSM-13: prejudica a atividade catalítica em baixas temperaturas e potencializa o desempenho em altas temperaturas (Qiu et al., 2020).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A zeólita SSZ-13 se destaca na família da chabazita devido às suas propriedades físicas e químicas, que a tornam especialmente eficaz em processos de adsorção e catálise. As propriedades do SSZ-13 foram aprimoradas pela dopagem com cobre, embora exista um intervalo específico de teor de cobre que potencializa sua eficiência. Além disso, essa zeólita apresenta resistência térmica adequada para aplicações em motores a diesel e boa resistência ao envenenamento em baixa temperatura.

No contexto dos catalisadores automotivos, onde a redução de poluentes é essencial, a chabazita oferece vantagens por sua capacidade de manipular o tamanho das partículas e as proporções molares, fatores que influenciam diretamente as propriedades catalíticas. Assim, em comparação com outras zeólitas, o SSZ-13 se mostra uma alternativa promissora para o desenvolvimento de catalisadores de alta eficiência, contribuindo para um futuro mais sustentável e com menor impacto ambiental.

Com base nas propriedades promissoras da zeólita SSZ-13, futuras pesquisas podem explorar sua aplicação em diferentes contextos industriais e ambientais. Estudos adicionais poderiam investigar a otimização da dopagem com cobre para maximizar a eficiência catalítica em uma variedade de reações químicas, como a redução catalítica seletiva (SCR) de NO_x em motores a diesel. Além disso, a SSZ-13 pode ser investigada em processos de adsorção de poluentes atmosféricos, com foco na remoção de compostos

orgânicos voláteis (COVs) e outros contaminantes. Outra área potencial de pesquisa envolve a modificação da microestrutura da zeólita para melhorar sua estabilidade térmica e resistência ao envenenamento, possibilitando sua aplicação em sistemas de conversão de energia, como células de combustível. A exploração dessas direções não apenas ampliaria o uso da SSZ-13 em tecnologias sustentáveis, mas também contribuiria para o desenvolvimento de soluções inovadoras para a mitigação da poluição ambiental.

REFERÊNCIAS

BATES, S. A. et al. **Identification of the active Cu site in standard selective catalytic reduction with ammonia on Cu-SSZ-13.** Journal of Catalysis, v. 312, 87–97, abr. 2014. DOI: 10.1016/j.jcat.2014.01.004.

FLORINDO, B.; CATUZO, G.; MARTINS, L. **Porosity of CHA Zeolite Driving the Formation of Polyaromatic Coke Species in the Methanol to Olefins Reaction.** Journal of the Brazilian Chemical Society, 2021. DOI: 10.21577/0103-5053.20210008.

GOUVEIA, Elisa Gabriela Costa. **Síntese e avaliação catalítica da zeólita mordenita com sistema hierárquico de poros na presença de glutamato monossódico.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química da Universidade Federal de Alagoas), 2023. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Alagoas, Maceió, 2023.

HOEKMAN, S. K.; WELSTAND, J. S. **Vehicle Emissions and Air Quality: The Early Years (1940s–1950s).** Atmosphere, 12(10), 1354, 16 out. 2021. DOI: 10.3390/atmos12101354.

ITAKURA, M. et al. **Synthesis of High-silica CHA Zeolite from FAU Zeolite in the Presence of Benzyltrimethylammonium Hydroxide.** Chemistry Letters, 37(9), 908–909, 5 set. 2008. DOI: 10.1246/cl.2008.908.

LIMA, Renata C. F.; OLIVEIRA, Daniele S.; PERGHER, Sibeles B. C. **Caracterização de Zeólitas naturais Clinoptilolita.** Perspectiva, Erechim, 44(167), 25-34, 2020. DOI:

<https://doi.org/10.31512/persp.v.44.n.167.2020.34.p.25-34>.

LUZ, Adão Benvindo da. **Zeólitas: propriedades e usos industriais**. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1995. 42 p.

PAOLUCCI, C. et al. **Solvation and Mobilization of Copper Active Sites in Zeolites by Ammonia: Consequences for the Catalytic Reduction of Nitrogen Oxides**. Accounts of Chemical Research, 53(9), 1881–1892, 15 set. 2020. DOI: 10.1021/acs.accounts.0c00328.

QIU, Y. et al. **New Insight into the In Situ SO₂ Poisoning Mechanism over Cu-SSZ-13 for the Selective Catalytic Reduction of NO_x with NH₃**. Catalysts, 10(12), 1391, 29 nov. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/catal10121391>.

STANEK, L. W. et al. **Air Pollution Toxicology--A Brief Review of the Role of the Science in Shaping the Current Understanding of Air Pollution Health Risks**. Toxicological Sciences, 120(1), S8–S27, 1 mar. 2011. DOI: 10.1093/toxsci/kfq367.

WU, Yiqing; et al. **Interplay between copper redox and transfer and support acidity and topology in low temperature NH₃-SCR**. Nature Communications, 14, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-023-38309-8>.

CAPÍTULO VII

ANÁLISE COMPARATIVA DA VIABILIDADE ECONÔMICA E SUSTENTÁVEL ENTRE CONSTRUÇÃO COM TIJOLOS ECOLÓGICOS E CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL: Estudo de caso em Bacabal – MA

**Eder Luanderson Pereira de Oliveira
Cimark Guimarães Sandes Filho
Assíria Caldas Guimarães Gonçalves Costa
Glória Leticia Brito de Aguiar**

DOI: 10.5281/zenodo.17306075

1. INTRODUÇÃO

A construção civil desempenha um papel fundamental no desenvolvimento econômico e social de uma sociedade, entretanto, gera impactos ambientais significativos, devido ao uso de recursos naturais e à produção de resíduos. Como resposta, buscam-se soluções sustentáveis, sendo uma delas, o uso de tijolos ecológicos, feitos de solo-cimento, que oferecem vantagens em termos de sustentabilidade e eficiência econômica. Conforme Pereira e Pezzuto (2010) e Roth e Garcias (2009), a utilização desses tijolos melhoram a eficiência térmica das construções, reduzem a emissão de CO₂ e minimizam a geração de

resíduos. Contudo, sua adoção ainda é limitada, especialmente em cidades como Bacabal-MA, onde predominam os métodos convencionais de construção.

Neste contexto, este estudo visa fazer um comparativo da viabilidade econômica e sustentável entre construção com tijolos ecológicos e construção com tijolos convencionais, focando na realidade da cidade de Bacabal. A pesquisa analisa os custos, a eficiência dos processos e os impactos ambientais dos dois métodos construtivos, considerando desde a produção até a execução das obras. A escolha do tema é motivada pela crescente preocupação com os impactos ambientais da construção civil e pela necessidade de soluções mais acessíveis e sustentáveis para a habitação. Por fim, a pesquisa também contribui para o conhecimento sobre práticas sustentáveis na construção civil e busca oferecer uma alternativa replicável em outras regiões.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Desenvolvimento Sustentável e Construção Civil

O desenvolvimento sustentável na construção civil tem se destacado nas últimas décadas como resposta aos impactos ambientais e sociais do setor. Até o século XX, muitas empresas focavam apenas no lucro, sem considerar suas consequências ambientais (Yemal *et al.*, 2011). No entanto, à medida que os danos ambientais se tornaram mais evidentes, a perspectiva começou a mudar, como exemplificado pela Conferência de Estocolmo, organizada pela ONU em 1972, sendo crucial para a conscientização ambiental global (Le Prestre, 2005). O evento deu origem ao Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), promovendo práticas sustentáveis, incluindo no setor da construção civil (Passos, 2009).

Em 1987, o Relatório de Brundtland definiu o desenvolvimento sustentável como aquele que atende às necessidades atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprirem suas próprias demandas (World Commission on Environment And Development, 1987). Essa visão, ao equilibrar os aspectos ambientais, sociais e econômicos, propõe uma abordagem integrada para o uso responsável dos recursos naturais. No setor da construção civil, um dos maiores consumidores de recursos e geradores de impactos ambientais, a adoção de práticas sustentáveis se torna cada vez mais essencial (Lima *et al.*, 2020).

2.1.1 Impactos da Construção Civil

A construção civil, possui bons indicativos no setor econômico e social. Em 2023, o setor contribuiu com R\$ 327,9 milhões no PIB brasileiro, sendo equivalente a 3,5% do total (Câmara Brasileira de Indústria e Construção, 2024). E ainda, conforme o IBGE (2021), ocupou direto e indiretamente, 8,27 milhões de pessoas. No entanto, do ponto de vista ambiental, os parâmetros não são favoráveis para o setor da construção. O setor consome quantidades de matérias-primas e recursos naturais elevadas, como água e energia, além de ser responsável pela geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos (Nascimento et al., 2022). Como evidência, o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável aponta que, o setor consome de 40% a 75% dos recursos naturais extraídos do planeta (UNILA, 2022).

Esses impactos têm consequências graves para a biodiversidade local e global e comprometem o bem-estar das gerações futuras. A construção também é responsável por cerca de 21% das emissões globais de gases de efeito estufa, especialmente devido à fabricação de materiais como cimento (United Nations Environment Programme, 2024). Tendo em vista isso, é evidente a necessidade de alternativas de baixo impacto ambiental no setor, como a adoção de construções sustentáveis.

2.1.2 Construção Sustentável

A construção sustentável emerge como uma solução promissora para mitigar os impactos negativos causados pela construção civil. Charles Kibert em 1994, propõe o conceito de integração dos princípios da sustentabilidade em todos os aspectos da construção, considerando as dimensões ambiental, econômica e sociocultural (Pereira, 2009). No caso das construções residenciais, busca-se a criação de edificações que promovam a eficiência no uso dos recursos naturais.

As edificações sustentáveis, segundo a ISO, deve ser capaz de melhorar a qualidade de vida, respeitando o clima, a cultura e os recursos locais, ao mesmo tempo em que preserva o meio ambiente e promove a economia circular (ISO/TC 59/SC3 N 459 apud Araújo, 2008). Nesse contexto, Svirino *et al.* (2021) destacam que um dos elementos que se sobressaem por permitir construções com menor impacto ambiental é o tijolo modular de solo-cimento, conhecido também como "tijolo ecológico". Esse material, pode contribuir significativamente para que a edificação obtenha o título de sustentável.

2.2 Tijolos de Solo-Cimento

O solo-cimento é uma mistura de solo, cimento e água, que resulta em um material com propriedades ajustáveis, dependendo das condições de mistura e cura (Teixeira Filho, 1996). Sua utilização inicial foi em pavimentação rodoviária, o material teve seu uso expandido para a construção de tijolos, camadas de pavimento, paredes maciças e estruturas de contenção (Silva, 2017). A primeira aplicação em edificações no Brasil, foi em uma casa de bombas para o abastecimento do aeroporto de Santarém, no Pará, com uma área de 42 m² (Bauer, 1995).

Sua principal vantagem está no baixo custo e alta durabilidade, tornando-se popular em obras de infraestrutura, como pavimentação e contenção de encostas (ABCP, 2002). Além disso, os tijolos de solo-cimento, ou "tijolos ecológicos", são fabricados por compactação e cura à sombra, sendo ecológicos devido à abundância do solo e à ausência de queima no processo de fabricação (Motta *et al.*, 2014).

As normas técnicas que regulamentam o uso do solo-cimento, em suma, são as NBR 8491/2013, NBR 8492/2013, NBR 10833/2013, NBR 10834/2013 e NBR 10836/2013. No entanto, para exigências estruturais, é necessário adaptar as diretrizes da NBR 16868/2020, referente à alvenaria estrutural, garantindo conformidade com a qualidade do material e sua aplicação adequada em diferentes contextos.

2.2.1 Fabricação do Tijolo Modular de Solo-Cimento

A composição do tijolo de solo-cimento, o solo utilizado deve atender aos requisitos estabelecidos pela NBR 10833, garantindo melhor desempenho na formulação da mistura (ABNT, 2013). Solos arenosos demandam menor quantidade de cimento, enquanto a presença de argila é essencial para a coesão da mistura. No entanto, solos com alto teor de matéria orgânica deve ser evitados, pois interferem na hidratação do cimento e comprometem a estabilidade do tijolo. A coloração do solo também pode indicar sua adequação, sendo os tons avermelhados e amarelados os mais recomendados (Sahara, 2001). Para assegurar sua viabilidade, a NBR 10833/2013 exige ensaios laboratoriais, como análise granulométrica e determinação dos limites de liquidez e plasticidade.

Tratando do cimento, é um ligante hidráulico essencial para a resistência do tijolo, e diferentes tipos são regulamentados para o estudo da composição pela NBR 10833. Dentre

eles, Sahara (2001) destaca o CP V-ARI, por proporcionar um rápido ganho de resistência inicial. A proporção ideal de cimento e solo varia entre 1:10 e 1:14, buscando otimizar o consumo de material sem comprometer o desempenho estrutural (Sahara, 2001). Além disso, conforme a NBR 10833/2013, a água utilizada na mistura deve estar livre de impurezas, como óleos, ácidos e sais, que podem prejudicar a hidratação do cimento e reduzir a durabilidade do tijolo.

O processo produção do tijolo modular de solo-cimento envolve um conjunto de etapas fundamentais que garantem a qualidade e durabilidade do material. A fabricação pode ser realizada manualmente ou com o auxílio de máquinas, dependendo da demanda e da capacidade produtiva. O processo é dividido em quatro etapas principais: preparação do solo, preparo da mistura, moldagem dos tijolos e cura e armazenamento (Teixeira Filho, 1996).

A preparação do solo é a primeira etapa na fabricação, sendo crucial para garantir a uniformidade da mistura. O solo passa por um processo de destorroamento e peneiramento, removendo impurezas e partículas grandes por meio de peneiras com malha entre 4 e 6 milímetros. Esse procedimento pode ser feito manualmente, utilizando peneiras tipo ciranda, ou mecanicamente, com peneiradores vibratórios, dependendo da escala de produção. Caso necessário, o solo pode ser submetido a uma nova passagem para garantir uma granulometria mais homogênea (Teixeira Filho, 1996).

Após a preparação do solo, o material peneirado é misturado ao cimento em proporções previamente definidas, como 10 partes de solo para 1 parte de cimento, podendo variar conforme as características do solo. A mistura pode ser realizada manualmente, com o auxílio de enxadas, ou mecanicamente, por meio de misturadores apropriados, garantindo uma distribuição homogênea dos materiais (Teixeira Filho, 1996). A água é incorporada gradualmente até que a umidade ideal seja atingida, utilizando testes práticos como o "teste da mão" e o "teste do esfarelamento". Segundo Sahara (2001), a quantidade de água deve ficar entre 4% e 5%, garantindo uma textura semelhante a uma farofa úmida, essencial para a compactação eficiente.

A moldagem dos tijolos ocorre imediatamente após a preparação da mistura. A compactação pode ser feita com máquinas manuais, semiautomáticas ou hidráulicas, sendo que a prensagem adequada assegura a resistência do material. Tijolos de maior dimensão geralmente exigem prensas com compressão dupla, para garantir maior densidade e redução da porosidade (Sahara, 2001).

A última etapa do processo é a cura, essencial para o desenvolvimento da resistência do tijolo. Conforme a NBR 10833/2013, os tijolos devem ser mantidos úmidos durante os primeiros sete dias para favorecer a hidratação do cimento, podendo ser cobertos com lonas plásticas para evitar a perda excessiva de água. Após um período inicial de cura de 14 dias, os tijolos já podem ser utilizados na construção, mas recomenda-se aguardar até o 28º dia para atingir a resistência máxima antes do transporte. Durante o armazenamento, é aconselhável o uso de paletes para facilitar o manuseio e evitar quebras (Teixeira Filho, 1996).

Além disso, a qualidade dos tijolos deve ser assegurada por meio de ensaios normativos, como a verificação da absorção de água e da resistência à compressão. De acordo com a ABNT NBR 8491/2013, o índice máximo de absorção de água permitido é de 20% do peso seco, garantindo resistência adequada em ambientes úmidos. Já a resistência mínima à compressão deve ser de 2 MPa para tijolos de vedação e 4 MPa para tijolos estruturais, conforme a NBR 10834/2013, garantindo a segurança e durabilidade do material.

Os tijolos de solo-cimento são produzidos em diferentes formatos e dimensões, adequando-se a diversas necessidades estruturais e funcionais. Os modelos podem incluir tijolos maciços, tijolos com encaixes e canaletas, cada um projetado para otimizar o processo de assentamento e reduzir o consumo de argamassa (Pisani, 2006). Cada tipo apresenta características específicas, como a possibilidade de assentamento a seco ou a incorporação de tubulações verticais, tornando o tijolo modular de solo-cimento uma alternativa versátil e sustentável na construção civil.

2.2.2 Etapas Construtivas com Tijolo Modular de Solo-Cimento

Inicia-se com o planejamento e a elaboração dos projetos arquitetônico, estrutural e complementares, garantindo uma construção eficiente. Em edificações modulares, as dimensões devem ser múltiplas do módulo básico (Pisani, 2006), e a planta da primeira fiada deve contemplar a disposição das aberturas e os pontos de grautes e cintas horizontais para reforço estrutural.

Os tijolos modulares permitem a integração das instalações elétricas e hidrossanitárias sem necessidade de cortes na alvenaria, otimizando a execução e reduzindo desperdícios (Sahara, 2001). A escolha da fundação, como sapata isolada, radier ou baldrame, deve considerar as características do solo e as cargas estruturais (Buson, 2007).

As colunas de sustentação são executadas nos vazios dos tijolos, economizando materiais e mão de obra.

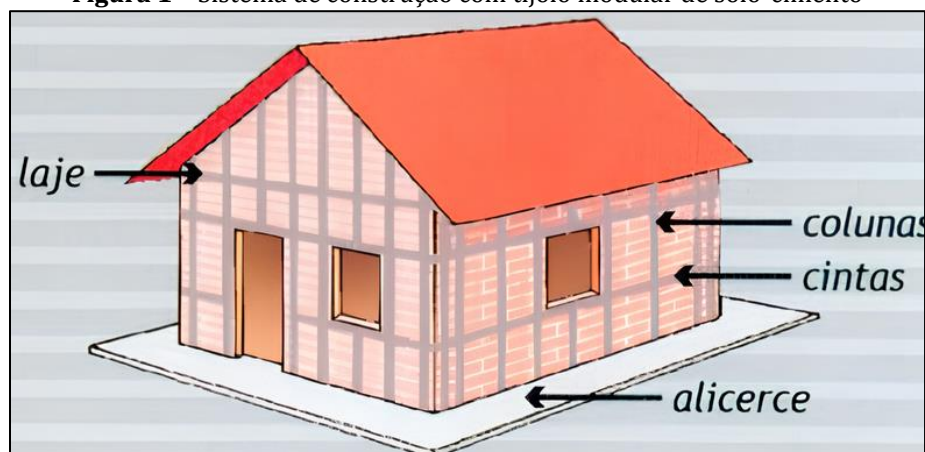
O cálculo estrutural define o diâmetro das barras de aço e a quantidade de pontos de grauteamento. O graute, composto por micro-concreto auto-adensável, integra a armadura à alvenaria e melhora a resistência da parede (Thomaz, 2009). Para edificações térreas, barras de 6,25 mm a 8 mm são indicadas, posicionadas em pontos críticos como cantos e laterais de aberturas (Sahara, 2001).

Após a execução das fundações, inicia-se o levantamento das paredes, com a primeira fiada nivelada sobre impermeabilizante asfáltico. Apenas essa camada utiliza argamassa tradicional (cimento e areia 1:3), enquanto as demais são assentadas com cola PVA branca, solo e cimento (Sahara, 2001). O alinhamento da primeira fiada é crucial para a estabilidade da estrutura.

As colunas de sustentação devem ser concretadas a cada 50 cm de parede erguida, com graute composto por cimento, areia grossa e pedrisco fino (Buson, 2007). A NBR 16868/2020 recomenda resistência mínima de 15 MPa para aplicações estruturais. Grampos metálicos em “U” conectam colunas paralelas, reforçando o desempenho estrutural (Buson, 2007).

Na altura das vergas e contravergas, cintas de amarração são executadas com tijolos canaleta preenchidos com concreto armado e barras de aço. Para ventilação adequada, os furos dos tijolos devem permanecer desobstruídos durante a concretagem (Sahara, 2001). A construção é finalizada com os acabamentos da cobertura e o ajuste da empena, conforme a necessidade do projeto (Buson, 2009). A Figura 1 ilustra a parte estrutural de uma edificação com tijolo modular de solo-cimento.

Figura 1 – Sistema de construção com tijolo modular de solo-cimento

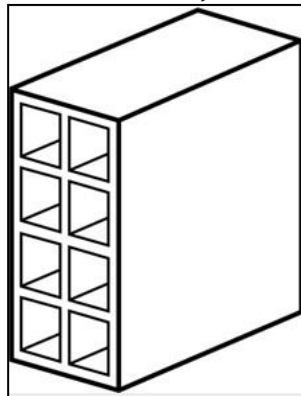


Fonte: Sahara (2001).

2.3.Tijolos cerâmicos

De acordo com Nascimento (2004), a alvenaria com blocos cerâmicos é amplamente utilizada no Brasil como vedação, sem função estrutural. Esses blocos, fabricados a partir da queima de argila, são valorizados pela abundância da matéria-prima no país. Entre os principais tipos, destaca-se o bloco cerâmico de vedação com furos horizontais (Figura 2), projetado para otimizar a aplicação de argamassa e reduzir o peso das edificações, conforme a NBR 15270 (ABNT, 2023).

Figura 2 – Bloco cerâmico de vedação com furos na horizontal

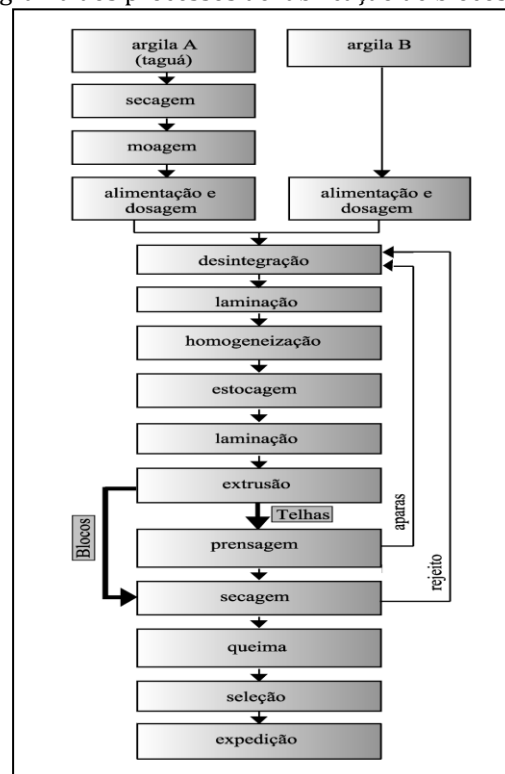


Fonte: ABNT (2023).

2.3.1 Fabricação do Tijolo Cerâmico

O processo de fabricação de tijolos cerâmicos se passa numa A fabricação de cerâmica vermelha compreende uma série de etapas que devem ser executadas com precisão para garantir a qualidade e resistência do produto final. Esse processo inclui a seleção e extração da argila das jazidas, o acréscimo de água para ajustar sua plasticidade, seguido da homogeneização, que assegura a uniformidade da massa. Em seguida, a argila é moldada e submetida à queima em altas temperaturas, etapa essencial para conferir ao tijolo sua durabilidade e resistência. O fluxograma representado na Figura 3, demonstra um típico processo de produção de uma fábrica de cerâmica vermelha.

Figura 3 – Fluxograma dos processos de fabricação de blocos e telhas cerâmicas



Fonte: São Paulo (1992).

O fluxograma abrange integralmente as etapas de produção em uma fábrica de cerâmica vermelha. Ele destaca a necessidade de etapas complementares quando se utiliza argila do tipo taguá (argila dura), na qual necessita de melhorias.

2.3.2 Construção Convencional

O sistema construtivo convencional no Brasil é caracterizado pelo uso de concreto armado e alvenaria de blocos cerâmicos, sendo amplamente adotado devido à viabilidade econômica, facilidade de acesso aos materiais e familiaridade técnica dos profissionais (Vasques; Pizzo, 2014). A construção segue etapas sequenciais: fundações, estrutura de concreto armado (pilares, vigas e lajes) moldados com fôrmas de madeira, alvenarias de vedação e montagem do telhado. O concreto armado combina aço e concreto, aproveitando suas propriedades complementares, como resistência e durabilidade (Azeredo, 1997).

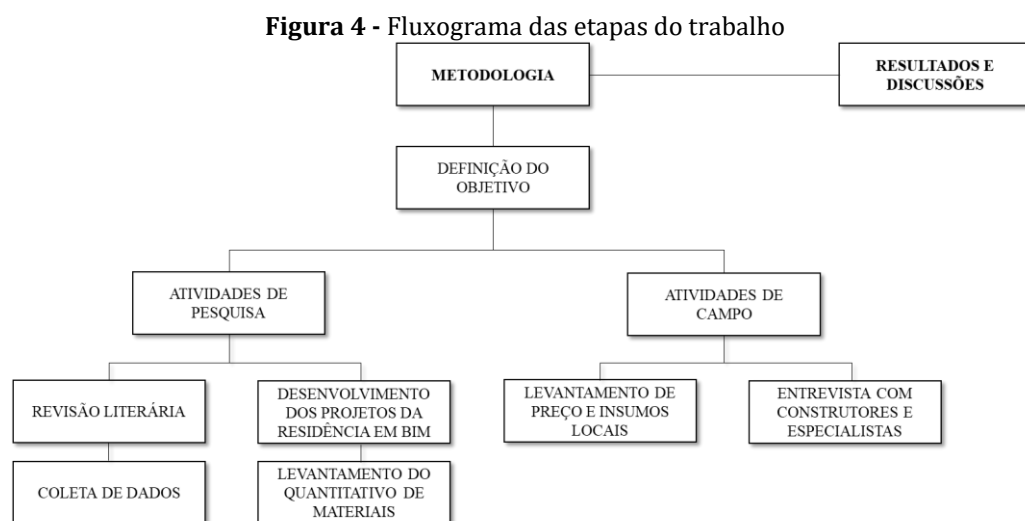
O telhado é composto por estruturas de madeira ou metálicas e telhas cerâmicas, de concreto ou metálicas, com calhas e rufos para drenagem. O revestimento envolve chapisco, emboço, reboco e pintura, e os acabamentos incluem instalação de pisos, esquadrias e louças

(Azeredo, 1997). O sistema convencional apresenta limitações como baixa produtividade e desperdício de materiais, mas avanços tecnológicos e sistemas industrializados têm ajudado a reduzir esses problemas, mantendo sua popularidade pela adaptabilidade e geração de empregos (Trevejo, 2018).

3. METODOLOGIA

O método adotado por este estudo baseia-se na análise da viabilidade econômica e sustentável de dois métodos de alvenaria: o convencional, com tijolos cerâmicos, e o sustentável, com tijolos modulares de solo-cimento. A pesquisa, baseada em um estudo de caso, compara o desempenho econômico de ambos os sistemas para a construção de uma residência popular fictícia de 55 m² na cidade de Bacabal – MA, além de avaliar seus impactos ambientais de acordo com a literatura.

A metodologia é descritiva e exploratória. A fase descritiva inclui uma revisão bibliográfica baseada em 21 artigos, 6 monografias, 2 dissertações, 1 tese e 13 livros, analisando as características dos sistemas construtivos. A fase exploratória envolve pesquisa de campo, com levantamento de preços de materiais e consulta a fornecedores locais em Bacabal – MA, realizado entre novembro e dezembro de 2024, visando avaliar a viabilidade econômica dos métodos no contexto regional. O desenvolvimento da pesquisa, seguiu o fluxograma, conforme apresentado na Figura 4.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A análise do estudo é conduzida por meio de abordagens qualitativa e quantitativa. A análise qualitativa focará na sustentabilidade dos sistemas construtivos, comparando seus impactos ambientais, como consumo de recursos naturais, geração de resíduos e emissões de CO₂, com base em revisão bibliográfica. Já a análise quantitativa avaliará a viabilidade econômica dos métodos, utilizando como ferramentas o *Autodesk Revit 2025* para modelagem dos projetos e extração de quantitativos e o *Microsoft Excel 2019* para a composição de custos de materiais e mão de obra, permitindo uma comparação detalhada e fundamentada.

O objeto de estudo é uma residência unifamiliar fictícia de 55 m², com pé direito de 3 metros, projetada para um terreno com largura mínima de 8 metros. O projeto arquitetônico inclui varanda frontal, sala de estar/jantar e cozinha integradas, dois quartos, um banheiro social e uma área de serviço.

Para cada método construtivo, foram elaborados projetos específicos conforme as normativas vigentes:

- a) Fundações: Utilização de blocos de fundação com dimensões mínimas estabelecidas pela ABNT NBR 6122/2019, uma vez que o projeto é fictício e não há estudo de solo.
- b) Superestrutura com tijolos cerâmicos: Vigas e pilares seguindo a ABNT NBR 6118/2023.
- c) Superestrutura com tijolos ecológicos: Adaptada à ABNT NBR 16868/2020, e com base nos estudos de Sahara (2001) e Buson (2007).
- d) Projetos complementares: Desenvolvidos conforme as normas ABNT NBR 5410 (elétrica), NBR 5626 (água fria) e NBR 8160 (esgoto).

Após a elaboração dos projetos, foi realizado o levantamento de materiais, servindo como base para a pesquisa de preços em campo, conforme a disponibilidade do mercado local. O levantamento de preços foi dividido em cinco partes (Quadro 1): quatro dedicadas aos materiais e uma específica para a mão de obra, considerando fornecedores selecionados para cada categoria.

Quadro 1 – Divisão para Levantamento em Campo de Preços de Materiais e Mão de Obra

Parte	Materiais/Serviços	Fornecedor(es)
1. Materiais Grossos	Cimento, Areia, Tijolos, Brita, Telhas, Metais	1. Prédio das Construções (Estrada da Bela) 2. Santa Rita Construções (Rua Frederico Lêda)
2. Madeiras em Geral	Madeiras (diversos tipos)	Casa da Madeira (Rua Frederico Lêda)
3. Materiais de Instalações e Acabamentos	Materiais para instalações e acabamentos (elétricos, hidráulicos, etc.)	Loja Potiguar (www.apotiguar.com.br - Selecionar Bacabal para preços locais)
4. Tijolos ecológicos	Tijolos Ecológicos, Blocos, Pavers	Koncretek (Avenida José Lins)
5. Mão de Obra	Serviços de execução do projeto (empreitada global)	Omnia Engenharia (Valor acordado por empreitada global)

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Os critérios de avaliação incluem o custo total da obra, considerando os orçamentos dos projetos com tijolos ecológicos e convencionais, além da análise qualitativa de sustentabilidade. Essa avaliação comparará as vantagens e desafios dos dois métodos construtivos, com foco na redução de emissões de CO₂ e na diminuição da geração de resíduos, com base na literatura especializada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os resultados da pesquisa literária e do estudo de caso sobre o orçamento dos projetos, com base nos dados de pesquisa de preços obtidos na cidade de Bacabal – MA. A análise comparativa sustentável foi realizada qualitativamente para identificar os principais impactos ambientais entre os sistemas construtivos, enquanto a comparação de viabilidade econômica foi abordada quantitativamente para determinar qual sistema oferece uma residência de menor custo. O objetivo do estudo é analisar a viabilidade econômica e sustentável entre a construção com tijolos ecológicos e a construção convencional.

Os dados foram organizados em dois subtópicos: o primeiro, referente à comparação da viabilidade sustentável, abrange desde o processo de fabricação até a utilização da residência, com a avaliação dos impactos ambientais, sintetizados em quadros. O segundo subtópico descreve os projetos elaborados, com os quantitativos e orçamentos, incluindo os custos levantados na cidade de Bacabal.

4.1 Comparativo da Viabilidade Sustentável

Os resultados qualitativos foram organizados em quatro seções distintas. A primeira aborda os impactos ambientais relacionados à fabricação dos tijolos. Em seguida, são analisados os impactos que ocorrem durante a execução da obra. A terceira seção trata do desempenho dos tijolos após a finalização da edificação. Por fim, a última seção discute os desafios enfrentados na construção utilizando tijolos ecológicos.

4.1.1 Impactos Ambientais na Fabricação de Tijolos Cerâmicos e Ecológicos

A fabricação de tijolos cerâmicos gera grandes impactos ambientais, especialmente devido à queima que emite CO₂. A queima de fornos consome muita madeira, e a produção de tijolos cerâmicos representa uma grande parte do consumo de lenha no Brasil (BRASIL, 2024). Já os tijolos ecológicos não necessitam de queima, reduzindo significativamente as emissões de CO₂ (Motta *et al.*, 2014). A utilização de cimento Portland em tijolos ecológicos ainda contribui para emissões, mas o impacto é menor. O Quadro 2 resume esses impactos, conforme autores indicados.

Quadro 2 – Comparação de impactos ambientais na fabricação

Critério	Tijolos Ecológicos	Tijolos Cerâmicos
Emissões de CO₂	Baixas, sem queima necessária (Motta et al., 2014)	Elevadas, devido à queima de carvão, lenha ou gás (Oliveira, 2021)
Consumo de Energia	Baixo, máquinas manuais ou pequenas máquinas (Teixeira Filho, 1996)	Alto, forno 24h/dia (Oliveira, 2021)
Uso de Madeira	Baixo ou nulo, sem uso de madeira (Marcolino, 2016)	Alto, consumo de lenha para fornos (Marcolino, 2016)
Recursos Naturais	Menor impacto, pode ser usado solo local e cimento Portland (ABCP, 2000)	Maior impacto, devido ao uso de matérias-primas e energia intensivos (Oliveira, 2021)
Redução de Árvores	Significativa, poupam árvores para a produção (Marcolino, 2016)	Nenhuma redução significativa (Marcolino, 2016)

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

4.1.2 Eficiência e Sustentabilidade na Execução

O sistema com tijolos ecológicos tem vantagens, como o uso de furos que funcionam como fôrmas, eliminando a necessidade de tábuas e reduzindo o consumo de madeira e a geração de resíduos. A execução com tijolos ecológicos é mais limpa e rápida, sendo até 30% mais rápida que a construção convencional. O Quadro 3 a seguir compara os benefícios dos tijolos ecológicos em relação aos cerâmicos na execução da obra.

Quadro 3 – Comparação na execução da obra

Critério	Tijolos Ecológicos	Tijolos Cerâmicos
Consumo de materiais	Reduzido, uso eficiente de materiais (cola branca e solo-cimento) e dispensa de madeira de fôrmas (Buson, 2007)	Maior, devido ao uso de argamassa e madeira para formas (Buson, 2007)
Resíduos Gerados	Baixo, menor geração de entulho e desperdício (Teixeira Filho, 1996)	Alto, especialmente com quebra de paredes para instalação elétrica e hidráulica (Buson, 2007)
Velocidade de Execução	30% mais rápida (Gaspar, 2020)	Mais lenta, exige mais etapas e materiais auxiliares
Facilidade de Instalação	Simples, furos nos tijolos eliminam quebra de paredes (Buson, 2007)	Necessita de quebras de paredes e mais etapas de acabamento
Limpeza no Canteiro de Obras	Alta, obra mais limpa (Buson, 2007)	Média, mas com mais resíduos e etapas de acabamento

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

4.1.3 Desempenho da Edificação

As construções com tijolos ecológicos apresentam vantagens no isolamento térmico e acústico, melhorando o conforto climático e reduzindo o consumo de energia para climatização. Estudos indicam que essas edificações são mais eficientes, como observado no edifício *Green Tower*, onde a eficiência térmica resultou em menor consumo de energia (Paixão *et al.*, 2021). O Quadro 4 resume esses benefícios.

Quadro 4 – Comparação de desempenho nas edificações

Critério	Tijolos Ecológicos	Tijolos Cerâmicos
Isolamento Térmico	Excelente, reduz transferência de calor (Pereira e Pezzuto, 2010)	Menor, maior necessidade de climatização
Isolamento Acústico	Bom, ajuda a reduzir ruídos (Pereira e Pezzuto, 2010)	Regular, maior propagação de som
Conforto Climático	Maior estabilidade térmica, reduz necessidade de ar-condicionado (Pereira e Pezzuto, 2010)	Menor, maior variação de temperatura interna
Durabilidade	Alta, desde que bem executada (Gaspar, 2020)	Alta, mas depende do tipo de acabamento e uso

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

4.1.4 Desafios e Limitações no Uso de Tijolos Ecológicos

Os principais desafios na adoção dos tijolos ecológicos incluem:

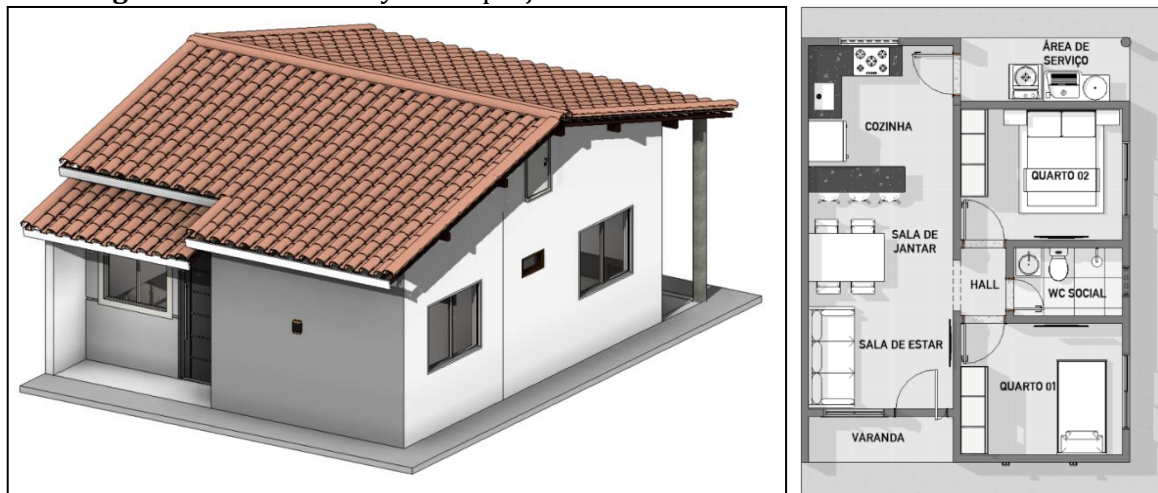
- Menor resistência estrutural – Os tijolos ecológicos não são adequados para edificações de múltiplos pavimentos sem reforços adicionais (Buson, 2007).
- Custos iniciais elevados – O investimento inicial pode ser até quatro vezes maior que o dos materiais convencionais, embora possa ser compensado a longo prazo (Gaspar, 2020).
- Falta de mão de obra qualificada – A escassez de profissionais capacitados dificulta a execução correta da técnica (Gaspar, 2020).
- Resistência cultural – A aceitação desse sistema construtivo ainda é limitada, impactando sua adoção em larga escala (Pereira, 2019).
- Impermeabilização necessária – O material exige tratamento com verniz ou impermeabilizantes para evitar degradação (Buson, 2007).

- Falta de incentivos – A ausência de políticas públicas e subsídios reduz a viabilidade econômica da tecnologia (Gaspar, 2020).

4.2 Análise da Viabilidade Econômica do Tijolo Ecológico em Bacabal

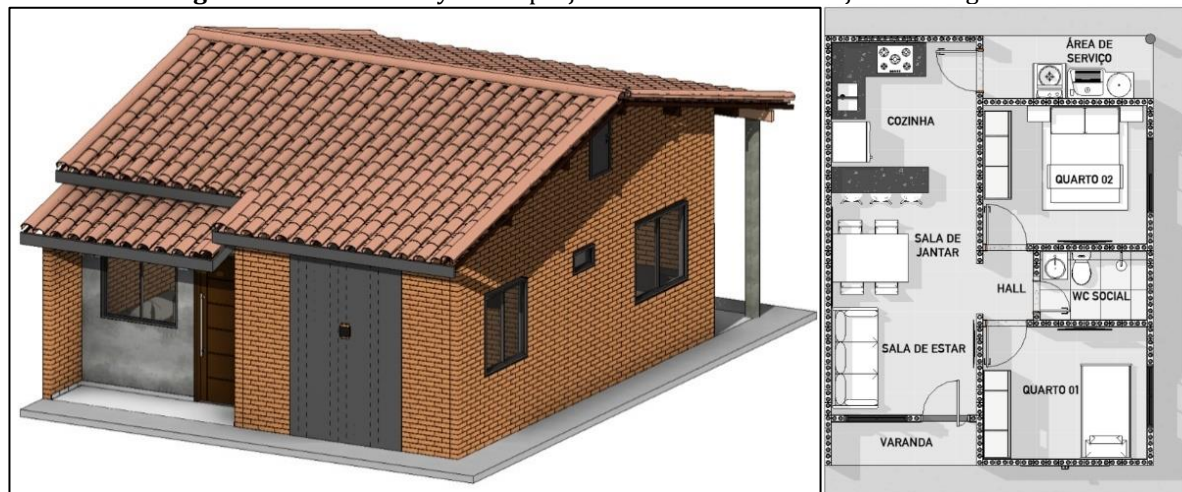
A análise da viabilidade econômica comparou a construção utilizando tijolos convencionais e tijolos ecológicos disponíveis em Bacabal – MA. Os tijolos convencionais utilizados no estudo, foram os de 6 furos, com dimensões de 9 x 14 x 19 cm, sendo necessários 33 tijolos por metro quadrado, enquanto os tijolos ecológicos, com dimensões de 12,5 x 7 x 25 cm, exigem 57 unidades por metro quadrado. Os projetos arquitetônico, estrutural e complementares foram elaborados conforme as normativas, com resultados apresentados nas Figuras 5 e 6.

Figura 5 – Vista 3D e layout do projeto da residência com sistema convencional



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Figura 6 – Vista 3D e layout do projeto da residência com tijolos ecológicos



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A infraestrutura (fundações e viga baldrame) foi mantida para ambos os sistemas construtivos, com a alvenaria ecológica sendo 14% mais leve que a convencional. As cargas totais das alvenarias foram de 32,66 toneladas para a convencional e 27,90 toneladas para a ecológica, conforme as Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Composição da carga da alvenaria convencional

Tipo	Unidade	Quantidade	Peso unitário (kg)	Total (t)
Tijolo cerâmicos	Peças	4120	2,5	10,30
Argamassa de assentamento	M³	1,3	2100	4,99
Pilares		1,4	2500	3,33
Vigas		5,0	2500	3,55
Chapisco e Reboco		2,4	2100	10,50
Total				32,66

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Tabela 2 – Composição da carga da alvenaria com tijolos ecológicos

Tipo	Unidade	Quantidade	Peso unitário (kg)	Total (t)
Tijolo ecológico	Peças	6415	3,5	22,453
½ Tijolo ecológico		603	1,75	1,055
Canaleta		500	1,5	0,750
½ Canaleta		22	0,75	0,016
Colunas de sustentação	M³	0,8	2500	2,00
Cintas de amarração		0,65	2500	1,63
Total			27,90	

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

O projeto da residência contemplou uma área de alvenaria de aproximadamente 124,5 m², o que resultou em aproximadamente 4.500 tijolos cerâmicos, já estimando uma taxa de cerca de 10% de desperdício de material.

Para o projeto com tijolos ecológicos, optou-se por deixar a alvenaria aparente, o que exigiu o uso de rejunte e verniz acrílico para proteção e impermeabilização. O levantamento quantitativo realizado no *software Revit* indicou a necessidade de 6.415 tijolos ecológicos, além de 603 unidades de meio tijolo, 500 tijolos canaletas e 22 meios tijolos canaletas.

O custo da mão de obra foi padronizado em R\$ 500,00/m² para ambos os sistemas construtivos. Embora o sistema com tijolos ecológicos dispense etapas como a montagem de fôrmas e o chapisco, o valor da mão de obra permaneceu o mesmo, pois a falta de

profissionais especializados na região levou os construtores consultados a aplicarem o mesmo custo para ambas as técnicas.

Em relação às instalações complementares, foram elaboradas de forma que fossem as mesmas, tanto para a construção com tijolos ecológicos, quanto a convencional, sendo assim, os valores foram os mesmos em ambas.

Os custos dos tijolos ecológicos foram: R\$ 3,00 por tijolo, R\$ 1,50 por meio tijolo, R\$ 2,00 por canaleta e R\$ 1,00 por meio canaleta, devido à baixa demanda em Bacabal. Já o valor unitário do tijolo cerâmico de 6 furos, foi de R\$ 0,75. Os orçamentos finais foram R\$ 87.398,53 para a construção convencional e R\$ 96.084,12 para a construção com tijolos ecológicos, conforme Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Orçamento resumo de materiais e mão de obra (Construção Convencional)

Item	Descrição	Preço	Corresponde
1	Mão de Obra	R\$ 27.500,00	31,47%
2	Infraestrutura	R\$ 10.685,16	12,23%
3	Superestrutura	R\$ 6.119,78	7,00%
4	Alvenaria	R\$ 4.756,00	5,44%
5	Instalações Hidrossanitárias	R\$ 3.802,99	4,35%
6	Instalações Elétricas	R\$ 4.682,48	5,36%
7	Cobertura	R\$ 4.413,40	5,05%
8	Chapisco e Reboco	R\$ 3.087,57	3,53%
9	Contrapiso	R\$ 2.371,53	2,71%
10	Soleira e Peitoril	R\$ 1.124,90	1,29%
11	Esquadrias	R\$ 4.770,10	5,46%
12	Forro	R\$ 2.434,56	2,79%
13	Revestimento Piso e Paredes	R\$ 5.128,61	5,87%
14	Cubas, Bancadas, Louças e Aparelhos	R\$ 2.797,90	3,20%
15	Pintura	R\$ 3.722,94	4,26%
Total		R\$ 87.398,53	100,00%

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Tabela 4 – Orçamento resumo de materiais e mão de obra (Tijolo Ecológico)

Item	Descrição	Preço	Corresponde
1	Mão de Obra	R\$ 27.500,00	28,62%
2	Infraestrutura	R\$ 10.685,16	11,12%
3	Superestrutura	R\$ 2.473,09	2,57%
4	Alvenaria com Tijolo Ecológico	R\$ 21.632,40	22,51%
5	Instalações Hidrossanitárias	R\$ 3.802,99	3,96%
6	Instalações Elétricas	R\$ 4.682,48	4,87%
7	Cobertura	R\$ 4.413,40	4,59%
8	Chapisco e Reboco	R\$ 133,52	0,14%
9	Contrapiso	R\$ 2.371,53	2,47%
10	Soleira e Peitoril	R\$ 1.124,90	1,17%
11	Esquadrias	R\$ 4.770,10	4,96%

12	Forro	R\$	2.434,56	2,53%
13	Revestimento Piso e Paredes	R\$	5.128,61	5,34%
14	Cubas, Bancadas, Louças e Aparelhos	R\$	2.797,90	2,91%
15	Pintura	R\$	2.133,49	2,22%
Total		R\$	96.084,12	100,00%

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

As diferenças de custo foram observadas em etapas como superestrutura, alvenaria, chapisco e reboco, e pintura. A superestrutura com tijolos ecológicos foi mais econômica, pois a distribuição dos furos nos tijolos reduziu o uso de concreto e ferragens. A alvenaria com tijolos ecológicos foi significativamente mais cara, com aumento de R\$ 4.756,00 para R\$ 21.632,40. O chapisco e reboco foi mais barato na construção ecológica, e a pintura teve uma diferença menor, pois os tijolos ecológicos ficaram aparentes, exigindo apenas rejunte e verniz.

5. CONCLUSÃO

A análise dos resultados mostrou que os tijolos ecológicos oferecem vantagens ambientais significativas em relação aos cerâmicos, reduzindo o consumo de energia, as emissões de CO₂ e a geração de resíduos na obra. Além disso, a menor necessidade de madeira e o uso de materiais sustentáveis reforçam seus benefícios ambientais.

No entanto, do ponto de vista econômico, a construção com tijolos cerâmicos se mostrou mais viável para residências em Bacabal – MA, sendo 9% mais barata devido à maior disponibilidade de materiais e infraestrutura consolidada. O custo elevado dos tijolos ecológicos decorre da baixa demanda e da necessidade de mão de obra especializada.

Apesar do custo inicial superior, os tijolos ecológicos apresentam potencial para redução de custos a longo prazo. A viabilidade econômica poderia ser melhorada com produção em maior escala, popularização do material e incentivos, tornando-os uma alternativa sustentável para o futuro.

REFERÊNCIAS

YEMAL, J. A.; TEIXEIRA, N. O. V.; NÄAS, I. A. **Sustentabilidade na Construção Civil**. 3rd International Workshop Advances In: Cleaner Production. Santos, 2011.

LE PRESTRE, Philippe. **Ecopolítica Internacional**. Tradução Jacob Gorender. 2. ed. São Paulo: SENAC, 2005. p. 174-175.

PASSOS, P. N. C. A conferência de Estocolmo como ponto de partida para a proteção

internacional do meio ambiente. **Revista Direitos Fundamentais & Democracia**, v. 6, 2009.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (WCED). 1987. **Our Common Future** (Nosso futuro comum), Oxford and New York: Oxford University Press.

LIMA, M. C. A.; SILVA, A. K. B.; & SILVA JUNIOR, M. A. B. Certificação ambiental de habitações: um instrumento para ações sustentáveis na construção civil. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental Da Alta Paulista**, v. 16, n. 2, 2020.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO – CBIC. **PIB Brasil e Construção Civil**, 2024. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>>. Acesso em: 15 nov. 2024.

PEREIRA, Patrícia Isabel. **Construção Sustentável: o desafio**, 2009. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Fernando Pessoa, Porto, Portugal, 2009.

ARAÚJO, Márcio Augusto. **A moderna construção Sustentável**. IDHEA: Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica, 2008.

SIVIRINO, K. J., FISCHER, Y. P., & LINKE, P. P. Construção sustentável: uma reflexão necessária. **Revista Monografias Ambientais**, v. 20, e. 2, 2021.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção**, v.1, Rio de Janeiro, 1995.

TEIXEIRA FILHO, Fernando José. **O solo-cimento e suas aplicações rurais**. 2. ed. São Paulo: ABCP, 1996. 28 p. (BT-117).

SILVA, Beatriz A. Levantamento bibliográfico do tijolo solo-cimento com resíduo de construção e demolição. **Revista Científica Eletrônica de Ciências Aplicadas da FAIT**, v. 10, n. 2, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Estradas de concreto: este é o caminho do futuro**. São Paulo: ABCP, 2002.

MOTTA, C. J. et al. Tijolo de Solo Cimento: Análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis. **Revista e-Xacta**, Belo Horizonte, v. 7, n. 1, p. 13-26, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8491**: Tijolo de solo-cimento: requisitos. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492**: Tijolo de solo-cimento: análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água: método de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10833**: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica: procedimento. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10834**: Blocos de solo-cimento sem função estrutural: requisitos. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10836**: Bloco de solo-cimento sem função estrutural: método de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Fabricação de tijolos de solo cimento com a utilização de prensas manuais**. 3. ed. rev. atual. São Paulo: ABCP, 2000. 16 p. (BT-111).

SAHARA: Tecnologia, Máquinas e Equipamentos Ltda. Brick 2001. **O tijolo ecológico e o sistema construtivo modular**, Sahara, São Paulo, 2001.

PISANI, M. A. J. Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solo-cimento. **Revista Aedificandi**, São Paulo, v. 1, p. 1-17, 2006.

BUSON, Márcio A. **Autoconstrução com tijolos prensados de solo estabilizado**. Brasília: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UnB, 2007.

THOMAZ, Ercio et al. **Código de práticas nº 1**: alvenaria de vedação em blocos cerâmicos. São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2009.

NASCIMENTO, Otávio Luiz do. **Alvenarias**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270**: Componentes cerâmicos: blocos e tijolos para alvenaria. Rio de Janeiro, 2013.

AZEREDO, Hélio Alves de. **O edifício até sua cobertura**. 2. ed. rev. 1997, São Paulo: Edgard Blücher, 1997.

SÃO PAULO. Secretaria de Estado da Fazenda. **Cerâmica**: manual de conhecimentos. São Paulo, 1992. 57 p.

VASQUES, C. C. P. C. F.; PIZZO, L. M. B. F. **Comparativo de sistemas construtivos, convencional e wood frame em residências unifamiliares**. São Paulo: Unilins, 2014.

TREVEJO, H. H. **Análise comparativa entre sistemas construtivos convencional e monolítico em painéis EPS para residências unifamiliares**, 2018. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Maringá – UNICESUMAR, Maringá, 2018.

GASPAR, Marília. **Conheça tudo sobre o Tijolo Ecológico e seu uso nas obras**, 2020. Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/blog/tijolo-ecologico/>>. Acesso em: 14 dez. 2024.

CAPÍTULO VIII

APLICAÇÃO DO SOFTWARE IRAMUTEQ NA ANÁLISE DE ESTUDOS SOBRE MICROPLÁSTICOS

**Dany Geraldo Kramer
Nathalie de Sena Pereira
Anésio Mendes de Sousa
Geraldo Barroso Cavalcanti Júnior**

DOI: 10.5281/zenodo.17306089

1. INTRODUÇÃO

A produção mundial de plásticos, mais que 800 vezes desde a década de 50, saltando de 500.000 para 430.000.000 de toneladas por ano, em 2023. Por outro lado, o percentual de reciclagem desses materiais, ainda é muito baixo, 9,0%, os demais são incinerados ou descartados inadequadamente no ambiente natural. Quando expostos aos intemperes, sofrem degradação e produzem pequenas partículas denominadas de microplásticos -MPs (GUO et al., 2024), quem podem ser definidos como:

Materiais diferentes, variando em forma e tamanho, densidade e composição química, e muitas vezes consistem em partículas menores que 5 mm de comprimento (MEDEIROS et al., p.135, 2025).

Qualquer forma de matriz polimérica ou partícula sólida sintética, com tamanhos que variam de 1 µm a 5 mm (HASSAN et al., p.1, 2024).

Estes materiais apresentam variada composição polimérica (polipropileno, poliéster, polietileno, poliamida e tereftalato de polietileno) e formatos físicos diversos, sendo insolúveis em água (HASSAN et al., 2024). Ademais, como explicam Guo et al (p.2, 2024)

Os microplásticos têm propriedades como hidrofobicidade, carga superficial, arranjo de cadeia molecular longa, grande área de superfície específica, tamanho, forma, cor e diversidade de grupos funcionais. As propriedades físico-químicas dos MPs conferem fortes habilidades de adsorção e migração e são considerados transportadores ideais para muitos poluentes no ambiente.

Os resíduos microplásticos são lançados no ambiente natural, através de materiais particulados na atmosfera, descarte de resíduos no solo ou micropartículas presentes em efluentes. Como explicam Lee et al (p. 5, 2024) *a liberação de microplásticos no ambiente aquático a partir da terra ocorre por meio de várias vias, incluindo escoamento urbano, transporte atmosférico, descarga de esgoto, efluentes de fábricas de plástico e introdução direta no ambiente aquático*

Cerca de 35% destes, acalçam os ambientes aquáticos (rios, lagos, oceanos e águas subterrâneas (MELO et al., 2024; SHI et al., 2024). As técnicas tradicionais de tratamento de águas residuais não são eficientes para remoção, sendo ainda observados a ocorrência em sedimentos pluviais (SHI et al., 2024).

Quando, alcançam o ambiente natural, os microplásticos podem ter efeitos tóxicos aos animais expostos, acarretando em alterações fisiológicas, ruptura dos órgãos internos e morte. Por serem biocumulativos, estarão presentes em maior concentração, nos topos de cadeias alimentares, como os seres humanos e predadores de maior porte, intensificando seus efeitos (CHINFAC et al, 2024; MELO et al, 2024), com riscos de causarem distúrbios no sistema imunológico, renal e nervoso. Ademais, aumentam o efeito carcinogênico aos seres vivos expostos (HENDRIKS et al., 2024),

A exposição humana, ocorre pelo contato com alimento e água contaminada; inalação de partículas no ar e contato dérmico (NALBONE et al., 2024). Após, o contato inicial, os microplásticos podem estimularem processo inflamatórios nos tecidos de contato inicial (pele, gastrointestinal e respiratório), bem como atingirem a circulação sanguínea

sistemêmica e promover citotoxicidade e carcinogênese em órgãos centrais - fígado, coração, sistema nervoso e medula óssea - (MEDEIROS et al., 2025). Assim, estudos sobre a temática se fazem relevantes, sendo objetivo deste análise textos com o tema microplásticos com o programa Iramuteq.

2. METODOLOGIA

Dados da pesquisa

O presente estudo foi realizado pela análise de textos publicados com a temática microplásticos. Para tanto utilizou-se como descritores: “microplástico, meio ambiente e impactos”, junto a plataformas acadêmicas, nas linguas inglesa e portuguesa. O período dos anos de buscas foram 2024 e 2025.

Após a leitura inicial de títulos e resumos de 50 textos, foram selecionados 18 textos completos, relacionados ao tema. Os materiais em duplicata foram desconsiderados. Na sequência os resumos foram compilados em um arquivo de texto, de acordo as especificações de uso do software *Iramuteq* para análise de conteúdo.

Análise de conteúdo

Nesta etapa, os textos selecionados, tiveram seu conteúdo analisado com auxílio do software *Iramuteq* (gratuito). No primeiro momento foi produzido o diagrama de Zipf, que relaciona ocorrência de palavras (frequência - eixo Y) com o quantitativo de palavras presentes nos textos (eixo X). Em seguida realizou-se a análise lexical simples (nuvem de palavras), que destaca as palavras mais frequentes, de forma mais centralizada e letras maiores. Outra, foi a Análise de Similitude, que possibilita observar a ligação entre as palavras no texto. Ademais, foi possível se realizar Classificação Hierárquica Descendente (CHD) ou método de Reinert, onde se observou-se divisão das palavras em cinco classe e a relação entre eles nestas divisões, pelo teste qui-quadrado - χ^2 (SOUZA et al., 2018; KLAMT; SANTOS, 2021).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

a. Resultados

Na primeira análise observou-se entre os 18 artigos analisados, 4.739 termos identificados, sendo representado no diagrama de Zipf. – Figura 1, onde tem-se no eixo X (ranges) a quantidade de palavras presentes no texto. Já no eixo Y (*frequencies*) é observado o quanto uma palavra ocorre nos textos (SOUZA et al., 2018; KLAMT; SANTOS, 2021). Assim, observou-se uma maior frequência dos termos: “De” e variações (460); “Em” e variações (205) e “A” e variantes (191).

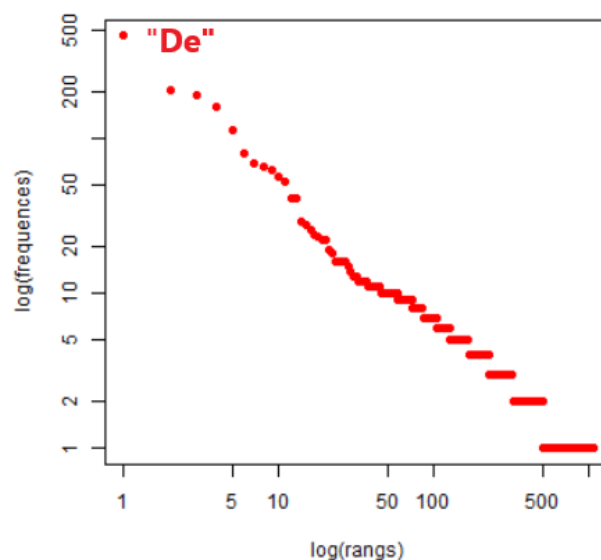


Figura 1 - Diagrama de frequência de Zipf - análise textual de artigos impregnação de prata. Fonte: Autores, 2025.

Conforme ilustrado na imagem acima, a palavra “de” e suas derivações lexicais, apareceram centenas de vezes, seguida da palavra “em” e “a” com respectivas derivadas. Por atuarem como conectivos no texto, são em geral, preposições e artigos, os mais frequentes nos textos. Desta forma, se faz necessária a restrição a esses grupos gramaticais no Iramuteq. Na presente avaliação foram consideradas as classes gramáticas adjetivos e substantivos, denominadas formas ativas.

Assim, teve-se como mais frequentes os termos: microplásticos (80); sigla de microplásticos mps (62); água (41); plástico (18); ambiental (16); ambiente (16); poluição (16); aquático (13); polímero (12); contaminação (10); e impacto (10). Sendo representados na nuvem de palavras – Figura 2. Observa-se mais centralizadas e em maior texto, as palavras mais recorrentes.



Figura 2 – Nuvem de palavras - análise textual de artigos sobre microplásticos. Fonte: Autores, 2025

Na sequência foi realizada a análise de similitude, que avalia a conexão entre as palavras nos textos (SOUZA et al., 2018; KLAMT; SANTOS, 2021). Na Figura 3 é possível se observar a ligação entre os termos, por meio da espessura das linhas cinzas, distribuídos em 05 balões coloridos. Como destaques tem-se no azul o termo “microplástico”, no amarelo “água” e no vermelho a sigla de microplástico “mps”.

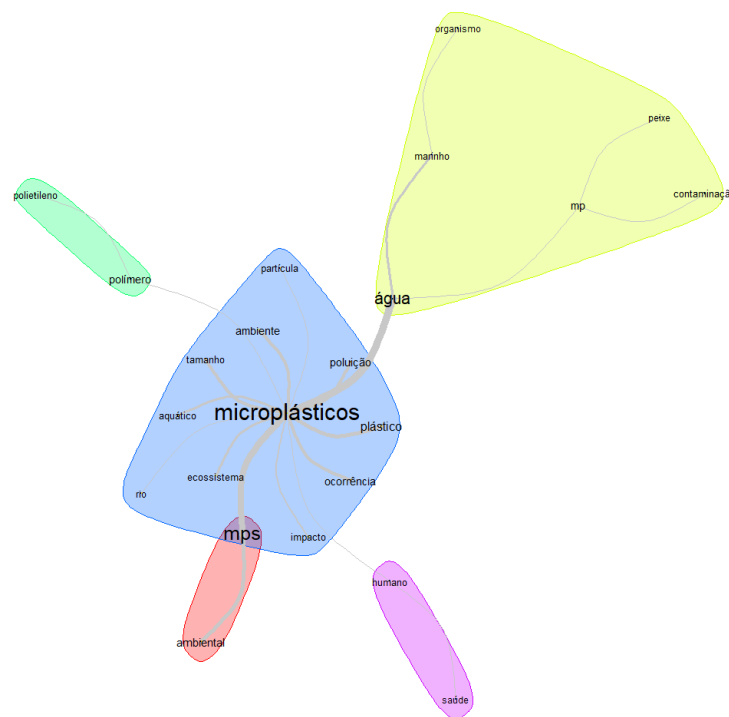


Figura 3 – Análise de similitude - análise textual de artigos sobre microplásticos. Fonte: Autores, 2025

Os textos abordam temas sobre microplásticos e suas consequências para o ambiente natural e organismos vivos. Observou-se associações contextuais, no azul o microplástico como item de poluição em diversos ambientes, principalmente o aquático. Semelhante ao grupo vermelho, com a sigla “msp” associado ao ambiente natural. Como um dos principais

polímeros estudados está o polietilento, relacionado no balão verde. No amarelo observa-se a conexão em ambientes aquáticos, com riscos aos peixes e sistemas marinhos. E por fim, a possível consequência para saúde humana no grupo rosa.

Por fim, realizou-se a Classificação Hierárquica Descendente (CHD) ou método de Reinert, onde são categorizadas pelo teste qui-quadrado (χ^2) a interação entre as palavras em classes, sendo considerado estatisticamente relevante para $p < 0,05$. Quanto ao qui-quadrado, deve ser valor maior que 3,84 (SOUZA et al., 2018; KLAMT; SANTOS, 2021). No presente estudo observou-se a presença de 05 classes com valores relevantes demonstrados na Tabela 1.

Tabela 1: Método de Reinert – teste de qui-quadrado - análise textual de artigos impregnação de prata.

PERCENTUAL DA CLASSE	TERMO	FREQUÊNCIA	QUIQUADRADO χ^2	P valor
CLASSE 1				
22,50%	Mps (sigla para microplástico)	15,85		0,0001
	Ambiente	11,34		0,0001
CLASSE 2				
27,50%	Água	09,91		0,0016
	Poluição	05,71		0,0017
	Plástico	04,57		0,0326
CLASSE 3				
18,80%	Microplástico	06,11		0,0134
	Plástico	05,97		0,0145
CLASSE 4				
15,00%	Aquático	07,47		0,0021
	Bivalve	05,82		0,0158
CLASSE 5				
16,20%	Saúde	14,06		0,0001
	Humano	13,04		0,0003
	Animal	08,22		0,0041
	Ambiental	06,73		0,0094
	Sedimento	05,46		0,0194

Fonte: Autores, 2025

Os dados apresentados acima permitem observar a correlação entre os termos nanopartícula e ambiente natural, sendo preocupação principal dos estudos abordados. Seguindo na classe dois, um dos principais ambientes poluídos, meio aquático por material

de origem de plásticos. Uma vez que esse material é decomposto em microplásticos, se observa a associação destes na classe seguinte. No ambiente aquático diversos animais são afetados, dentre os quais os bivalves, que filtram a água para obtenção de alimentos, e pode concentrar os microplásticos na sua estrutura. Por fim, relacionam-se os impactos a saúde humana e animal em decorrência da presença de microplásticos no ambiente e/ou sedimentos. Estas temáticas são resumidas no tópico a seguir.

b. Discussões

O polietileno é um dos polímeros mais estudados como fonte de microplásticos no ambiente. Liu et al (2024) observaram que a presença de micropartículas deste material afetava o crescimento bacteriano no solo, podendo comprometer a degradação de estrogênio local, e assim afetar o ciclo geológico local.

Já Cordova et al (2024) observaram a presença de microplásticos na água subterrânea na Indonésia, sendo contaminações advindas principalmente plásticos degradados. Já Lee et al (2024), em estudo realizado na Coreia do Sul, observaram fragmentos e fibras de MPs em maior quantidade de origem de politetrafluoretileno e poliéster. Outro estudo realizado na África do Sul por Hendriks et al (2024), descrevem a ocorrência de microplásticos em sedimentos fluviais, que acabam sendo carregados para córregos, rios e costa marinha. Os principais compostos observados foram polipropileno, polietileno e poliestireno.

As partículas plásticas chegam principalmente aos ambientes aquáticos, podendo contaminar diretamente, diversos tipos de animais. Dentre os quais os bivalves, como ostras e mexilhões, que filtram a água para obtenção de alimentos, e podem concentrar os MPs. Na literatura são relatadas observações deste tipo, como no estudo de Nalbone et al (2024), realizado na Itália, que observaram a um total de 135 microplásticos, com tamanhos entre 20 µm e 5000 µm em amêijoas (moluscos) locais. Já Chinfac et al (2024), observaram na Tailândia a ocorrência de microfibras azuis (<500 µm) presentes em animais deste grupo.

Por serem insolúveis em água esses materiais tornam-se biocumulativos na cadeia alimentar, com maior quantidade em animais maiores e seres humanos, consequentemente, como explicam Guo et al (p. 2, 2024) *podem acumular-se em plantas, animais e humanos através da cadeia alimentar, causando problemas de ecossistema e saúde*. Esta questão é reforçada pelo estudo de Melo et al (2024), realizado no sudeste do Brasil, que observou maior concentração de microplásticos no intestino de peixes em níveis tróficos.

O ser humano pode ser exposto aos microplásticos de diversas formas, dentre as quais, a inalação, de forma que as partículas pode desencadear inflamações pulmonares e maior risco de câncer neste órgão. Outra via, refere-se a ingestão de alimentos e água contaminada, podendo provocar inflamações estomacais e intestinais. Além da alteração na microbiota intestinal. Parte destes materiais inalados ou ingeridos podem chegar a corrente sanguínea central, atingindo órgãos centrais e assim provocar miocardite, inflamações neurológicas, hepatopatias e redução da imunidade (MEDEIROS et al 2025)

As fontes de contaminação ambiental por microplástico é variada, tendo-se como exemplos as setor industrial e confecções, setor médico, lavanderias, agropecuário e construção civil (NWEKE et al, 2024). Estas ocorrem principalente pela presença dos Mps em efluentes, já que os sistemas de tratamento tradicionais não conseguem reter esses materiais.

Shi et al (2024) explicam que plásticos biodegradáveis são uma opção alternativa, mas deve-se atentar que a taxa de biodegradabilidade destes materiais depende de variadas condições ambientais e ocorrências de microrganismos.

Assim, para a mitigação desta problemática insere-se as políticas públicas para redução de consumo de plásticos, como por exemplo a taxação de sacolas plásticas e ações de educação ambiental. Ademais, pode-se estimular setores de coleta e reciclagem destes materiais, para reduzir a geração de resíduos descartados inadequadamente.

5. CONCLUSÃO

No presente estudo foi possível observar correlações com qui-quadrado superior 3,84, entre os termos “MPs” e “Ambiente”; “água”, “poluição” e “plástico” e “saúde”, “humano” e “animal”, na qual os textos convergem para debater e explicar que os plásticos podem sofrer degradações e liberar microplásticos no ambiente, e por serem ecotóxicos e biocumulativos, acarretam em riscos a saúde da fauna, flora e humana.

Portanto, os textos demonstram que os microplásticos estão presentes em diversos ambientes naturais, especialmente no aquático, sendo requeridas medidas de mitigação desta exposição, como estímulos a reciclagem e a redução do consumo de material plástico. Ademais, desenvolver novas tecnologias para o tratamento de efluentes que possam reter essas partículas.

REFERÊNCIAS

ASORI, M., DOGBEY, E., AMPOFO, S.T. AND ODEI, J. "icroplastic pollution in Africa: an overview of abundance in aquatic organisms, freshwater and marine water environments and analytical methods for reporting, **Management of Environmental Quality**, Vol. 35 No. 3, pp. 634-652. 2024.

CHINFAK, N.; CHAROENPONG, C.; SAMPANPORN, A. et al. Microplastics in commercial bivalves from coastal areas of Thailand and health risk associated with microplastics in ingested bivalves, **Marine Pollution Bulletin**, Volume 208, 2024.

CORDOVA, M. R.; ISKANDAR, M. R.; SURINATI, D. et al. Microplastic occurrence in sub-surface waters of the Indonesian archipelago. **Frontiers in Marine Science**, v.11, 2024.

GUO, Y.; SHAO, W.; ZHAO, W.; ZHU, H. The Occurrence, Distribution, Environmental Effects, and Interactions of Microplastics and Antibiotics in the Aquatic Environment of China. **Water**, 16, 1435. 2024.

HASSAN, I.; SETHUPATHI, S.; MOHAMMAD, J.K.; BASHIR, Y. M. et al. A systematic review of microplastics occurrence, characteristics, identification techniques and removal methods in ASEAN and its future prospects, **Journal of Environmental Chemical Engineering**, Volume 12, Issue 2, 2024.

HENDRIKS, N.; OLATUNJI, O. S.; GUMB, B. P. Microplastic occurrence in sediments of informal settlement in Durban, South Africa: assessing the ocean impact in the aftermath of floods. **Environmental Science Advances**. 3, 850–860, 2024.

KLAMT, L. M.; SANTOS, V. S. O uso do software IRAMUTEQ na análise de conteúdo - estudo comparativo entre os trabalhos de conclusão de curso do ProfEPT e os referenciais do programa. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, 2021.

LEE, J.; CHEON, S.; KIM, C. et al. Nationwide evaluation of microplastic properties in municipal wastewater treatment plants in South Korea, **Environmental Pollution**, Volume 358, 2024.

LIU, J.; ZENG, D.; PEN, J.; HU, J.; ZHENG, M. et al. Effects of polyethylene microplastics occurrence on estrogens degradation in soil, **Chemosphere**, Volume 355, 2024.

MEDEIROS, J.C.G.; LUZ, D. K. R.; SOUSA, A. M. CAVALCANTI JUNIOR, G. B.; KRAMER, D. G. Occupational Risks of Microplastics in Textile Manufacturing: Health Impacts and Mitigation Strategies. **Advances in Research** 26 (1):134-39. 2025.

NALBONE, L.; GIARRATANA, F.; GENOVESE, M.; PANEBIACO, A. Occurrence of microplastics in store-bought fresh and processed clams in Italy, **Marine Pollution Bulletin**, Volume 206, 2024.

NWEKE, N.D.; AGBASI, J.C.; AYEJOTO, D.A. Sources and Environmental Distribution of Microplastics in Nigeria. **Microplastics in African and Asian Environments**. 2024.

MELO, R. R.R.C.B.; BARLETTA, M.; CYSNEIROS, F. F. J. A. et al. Top predator feeding ecology and microplastic (MP) contamination on the far eastern South American coast: Evidence of MP trophic biotransfer, Estuarine, **Coastal and Shelf Science**, Volume 301, 2024.

RICARDO, E. S. L.; ROSSA, Ü. B.; MARTINS, A. O. et al. Microplastics on the surface of marine waters of the coast of Santa Catarina (Brazil): identification by stereomicroscope and FTIR-ATR spectrophotometer. **Revista Brasileira De Ciências Ambientais**, 59, 2024.

SANTOS, V. S.; VIDAL, C.; BISINOTI, M. C. et al. Integrated occurrence of contaminants of emerging concern, including microplastics, in urban and agricultural watersheds in the State of São Paulo, Brazil, **Science of The Total Environment**, Volume 932, 2024.

SHI, C.; ZHANG,Y.; SHAO, Y.; RAY, S. S. et al. A review on the occurrence, detection methods, and ecotoxicity of biodegradable microplastics in the aquatic environment: New cause for concern, **Trends in Analytical Chemistry**, Volume 178, 2024.

SILVA, J. S.; CIDADE, J. A.; PENERO, F. S. et al. Microplastic pollution in the Amazon Basin: Current scenario, advances and perspectives, **Science of The Total Environment**, Volume 946, 2024.

SOUZA, M.A.R.; WALL, M.L.; THULER, A.C.M.C. et al. The use of IRAMUTEQ software for data analysis in qualitative research. **Rev Esc Enferm USP**.;52:e03353. 2018.

WANG, Y., FU, Z., GUAN, D. et al. Occurrence Characteristics and Ecotoxic Effects of Microplastics in Environmental Media: a Mini Review. **Appl Biochem Biotechnol** 196, 5484–5507 2024.

YAKUBU, S.; MIAO, B.; HOU, M. et al. A review of the ecotoxicological status of microplastic pollution in African freshwater systems, **Science of The Total Environment**, Volume 946, 2024.

CAPÍTULO IX

EFICIÊNCIA E INOVAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: O IMPACTO DOS SISTEMAS INFORMATIZADOS NA GESTÃO DE OBRAS

**Nathália Aguiar Leal de Melo
Emanoel Silva de Amorim
Max Lira Veras Xavier de Andrade**

DOI: 10.5281/zenodo.17306116

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil representa um campo de conhecimento vasto, cuja constante evolução exige a adoção de novas tecnologias e um maior aprofundamento acadêmico, garantindo seu desenvolvimento contínuo. O avanço tecnológico permite novas abordagens na criação e gestão de projetos, estimulando a reestruturação metodológica, o aperfeiçoamento conceitual e a reinterpretação de seus efeitos (Gomes, Gogliano, 2023). No entanto, historicamente, este setor apresenta desafios estruturais relacionados à produtividade, eficiência e sustentabilidade. Para tanto, faz-se necessário o domínio de um amplo repertório de competências técnicas e gerenciais, permitindo a condução assertiva das atividades no setor. Assim, de acordo com a empresa e do tipo de projeto que será

gerenciado, o sistema de gestão escolhido pode apresentar uma variação, dependendo da área de atuação, da natureza e dos delineamentos que serão conduzidos (Thielmann, 2021).

Durante décadas, a gestão de obras foi conduzida por métodos tradicionais, baseados em processos manuais, registros físicos e uma gestão descentralizada das decisões. Tendo como base desse raciocínio, a datar dos primeiros tempos das civilizações, os projetos têm sido elaborados e implementados com o intuito de desenvolver produtos e avançar na execução dos serviços (Munari, Gomes, Joaquim, 2022). Todavia, essa abordagem tradicional, além de suscetível a erros humanos, frequentemente resulta em atrasos nos cronogramas, estouros de orçamentos e problemas na qualidade da execução das edificações. Com o transcorrer dos anos e diante da crescente sofisticação de projetos, a capacidade de absorver, processar e aplicar as informações oriundas de múltiplas fontes configura-se como um requisito essencial para o atendimento das crescentes exigências desse ambiente dinâmico e competitivo, garantindo adaptabilidade e a inovação como pilares fundamentais para a excelência na construção civil.

Empresas que mantêm práticas de gestão analógica enfrentam dificuldades para controlar custos e evitar desperdícios, além de apresentar uma menor capacidade de mitigação de riscos e de adaptação a demandas específicas do mercado. Por outro lado, a administração voltada para a modernização da Construção 4.0, é possível destacar fases como gestão de projetos, planejamento das finanças, elaboração de orçamentos, gestão de compras e insumos (Sousa, *et.al.*, 2020). Diante desse cenário, a emergência da Construção 4.0 vem remodelando a dinâmica do setor ao integrar tecnologias digitais e sistemas automatizados no gerenciamento e execução das construções. A gestão de obras demanda uma abordagem estratégica e estruturada, consiste em controlar a gestão de riscos, gerenciar a administração de recursos, estabelecer um planejamento eficiente e promover uma comunicação transparente (Melo, Almeida, 2023). Entre inovações trazidas pela Construção 4.0, os sistemas informatizados de gestão de obras se destacam como ferramentas essenciais para aprimorar a coordenação das atividades, reduzir falhas de comunicação e garantir maior controle sobre prazos e orçamento. Soluções tecnológicas avançadas permitem o monitoramento em tempo real das obras, a integração entre os diferentes *stakeholders* e a automação de processos críticos, como a gestão de suprimentos e o acompanhamento financeiro.

Nesse contexto, diversos *softwares* especializados surgiram para atender às necessidades do setor, obtendo destaque para elaboração de orçamentos detalhados,

acompanhamento de obras e gestão de contratos, reduzindo falhas e otimizando processos, permitindo assim maior controle de custos e previsibilidade financeira. Em conformidade com a linha de raciocínio, o presente estudo tem como objetivo analisar a capacidade operacional dos sistemas informatizados de gestão de obras na otimização dos processos construtivos. Pretende-se investigar como essas tecnologias impactam a produtividade, a previsibilidade de custos e a qualidade das edificações, bem como identificar os desafios ainda existentes na sua implementação em escalabilidade.

2. METODOLOGIA

A abordagem metodológica empregada é de natureza estratégica, uma vez que busca agregar e organizar dados referentes aos aspectos e índices, que apontam o desenvolvimento eficaz da aplicabilidade dos sistemas informatizados de gestão de obras, no setor da construção civil, empregando uma abordagem qualitativa, sendo base para a definição da problemática enraizada em questão, dessa forma, almeja-se que os resultados desta pesquisa contribuam para um entendimento mais amplo sobre as inovações tecnológicas na produtividade, previsibilidade de custos e qualidade das edificações.

Para a condução desta pesquisa, são sondadas referências em sites especializados na temática, livros, artigos científicos e publicações técnicas disponíveis em base de dados reconhecidos, no período de 2015 a 2024, que exploram as inovações tecnológicas na gestão e os impactos no setor. Esse processo visa à consolidação do projeto de estudo em sua forma final, garantindo uma abordagem coerente e aprofundada.

Após a revisão bibliográfica, foram elaborados estudos sobre dois *softwares* para demonstrar, por meio de uma análise comparativa, sua aplicabilidade na gestão de obras na construção civil. A escolha desses sistemas considerou sua relevância no mercado, funcionalidades voltadas à produtividade, previsibilidade de custos e controle da qualidade das edificações. Esta etapa visa ilustrar na prática, como as inovações tecnológicas podem otimizar os processos de gerenciamento e tomadas de decisão no setor.

3. DO CONTROLE MANUAL À SISTEMATIZAÇÃO

3.1 A evolução da Gestão de Obras na Construção Civil

Ao longo da história, a gestão de obras na construção civil sofreu diversas mudanças. Nesse contexto, o setor pode apoiar-se em estudos e evidências de outros países para desenvolver políticas mais eficazes, especialmente quando a realização de pesquisas específicas no cenário local não for viável (Ibrahim, Geoffrey, Robert, 2019). No começo, os métodos eram conduzidos de maneira prática, fundamentado na experiência de mestres de obras e trabalhadores, sem registros minuciosos ou padronização. Essas abordagens convencionais geralmente levam a erros na coordenação interdisciplinar, aumentando o risco de pedidos de alteração, disputas dispendiosas e atrasos no projeto (Alshibani, *et.al.*, 2024). A Revolução Industrial foi responsável por transformações significativas, como o surgimento de métodos organizados, a implementação de planejamentos mais sistemáticos e o avanço tecnológico. O cenário inovador criado pela Revolução Industrial ajudou no desenvolvimento e na modernização das indústrias, despertando a atenção dos proprietários, que estavam em busca de mais rentabilidade por meio da aplicação de novas tecnologias (Pereira, Souza, 2021)

Nos séculos XX, o progresso da engenharia e o crescimento dos projetos em escalabilidade, demandam instrumentos mais avançados, tais como cronogramas detalhados e sistemas de controle de qualidade. O mercado requer um controle rigoroso das construções, sendo necessário a supervisão e essencial uma gestão financeira para alcançar a lucratividade conforme planejado, antecipando os riscos para que os gastos não sejam ultrapassados (Lucena, 2022). Com o progresso tecnológico, especificamente desde o final do século XX e no começo do século XXI, a informação passou a revolucionar de maneira significativa a gestão de obras. O setor privado reconheceu que o gerenciamento de projetos é uma ferramenta incrivelmente útil para executar uma variedade de empreendimentos (Gasik, 2023).

A utilização de planilhas eletrônicas e *softwares* especializados permitiu um gerenciamento orçamentário mais exato, bem como, cronogramas de prazos e distribuição de recursos, minimizando falhas e potencializando a eficiência das operações. Nesse cenário, os sistemas informatizados de gestão de obras tornaram-se ferramentas de suma importância para o controle eficaz dos projetos. Portanto, o gerenciamento da qualidade

abrange todas as atividades relacionadas à qualidade da empresa, estabelecendo as diretrizes e os objetivos para assegurar que a construção ou o projeto satisfaçam as demandas do cliente ou do usuário (Paiva, 2018).

A transformação digital no setor da construção civil trouxe melhorias e progressos notáveis na condução e realização de obras, possibilitando um maior domínio sobre os procedimentos e o uso mais eficiente dos recursos. Por isso, a administração de projetos é um elemento essencial no modelo de negócios de uma organização, pois funciona como o mecanismo responsável pela entrega de valores empresariais sustentáveis a longo prazo (Kerzner, 2018). A implementação de sistemas de gestão de obras informatizados se apresenta como uma abordagem inovadora para lidar com os problemas tradicionais do setor, como a falta de comunicação, o desperdício de materiais, os atrasos nos prazos e a dificuldade de controle dos custos.

Os Sistemas de Informação de Gerenciamento de Projetos (PMIS) têm sido amplamente utilizados para gerenciamento eficaz e eficiente de projetos de construção, especialmente na área de Engenharia, Aquisição e Construção (EPC) (Choi, Ha, 2022). Portanto, nota-se que a digitalização não só aumenta a eficiência e a sustentabilidade das construções, como também reestrutura as interações entre os vários participantes da obra. Hoje, a sustentabilidade em operações comerciais, juntamente com os recursos naturais e ambientais, são de suma importância, o que causou um impacto na concepção, planejamento, programação e execução das atividades de gerenciamento de projetos (Chawla, *et.al.*, 2018).

3.2 Gestão conectada: O papel dos *softwares* na cooperação entre profissionais

A conectividade e a fusão oferecida pelas tecnologias emergentes estimula a colaboração e cooperação entre os engenheiros, arquitetos, fornecedores e clientes, resultando em um ambiente de trabalho mais dinâmico, transparente, eficiente e unificado. É importante olhar tanto para a eficácia quanto para a eficiência do processo, e isso significa um relacionamento mais próximo entre o cliente e toda a equipe do projeto, inclusive durante os processos de definição (*briefing*), estratégia, design e construção (Fewings, Henjewe, 2019).

Atualmente, diversas plataformas foram desenvolvidas para atender às demandas do setor, proporcionando soluções integradas para orçamento, planejamento, monitoramento e controle de obras (Figura 1). O gerenciamento de obras combina domínios relacionados a:

estudos organizacionais, ciência da gestão, metodologia de governança, gerenciamento de risco, estudos comportamentais, tecnologia da informação e assim por diante (Renwick, Tierney, 2020). Entretanto, a implementação desses sistemas ainda enfrenta barreiras, como a resistência à mudança, a necessidade de capacitação profissional e os custos iniciais elevados. A adaptação a esse novo cenário exige um planejamento adequado e a reestruturação dos fluxos de trabalho para garantir o máximo aproveitamento das inovações tecnológicas.

Figura 1 - Atividades que compõem a Gestão de Obras



Fonte: Mais Controle (s.d.)

Quanto às mudanças estruturais, a aplicação de atividades digitais resulta na melhoria de produtos e serviços, no entanto, muitas vezes precisam de competências tecnológicas avançadas e expõem as empresas a riscos devido à falta de experiência num novo domínio (Nikmehr, *et. al.*, 2021). Além dos desafios mencionados anteriormente, a transição para uma gestão informatizada exige uma mudança cultural dentro das empresas do setor. Muitos profissionais da construção civil ainda estão habituados a métodos tradicionais e podem apresentar resistência ao uso de novas ferramentas tecnológicas. Para

superar essa barreira, é essencial investir em capacitação e treinamentos que facilitem a adaptação dos colaboradores às novas plataformas.

3.3 Softwares na Gestão: Eficiência e inovação na prática

Softwares como Mais Controle e OrçaFascio exemplificam essa tendência, permitindo que gestores acompanhem o andamento dos projetos de maneira precisa, minimizem desperdícios e otimizem a alocação de recursos. Como modelo, o OrçaFascio disponibiliza bases de dados com composições e materiais fundamentais para a construção como o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) (Coelho Filho, Jacinto, 2020). Essas ferramentas auxiliam na automação de tarefas repetitivas, melhoram a comunicação entre equipes e garantem maior previsibilidade de custos e prazos.

Outro fator relevante é a necessidade de personalização dos sistemas de gestão de obras para atender às especificidades de cada projeto e empresa. Embora existam diversos *softwares* robustos e abrangentes, a flexibilidade para ajustes conforme a demanda de cada obra se torna um diferencial estratégico. A integração desses sistemas com outras tecnologias, como drones para monitoramento de canteiros, sensores inteligentes para controle de materiais e realidade aumentada para visualização de projetos, amplia mais ainda o impacto positivo da digitalização na construção civil.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da metodologia empregada, os resultados desse estudo são apresentados em duas vertentes analíticas principais: a análise das referências relacionadas às inovações tecnológicas aplicadas à gestão de obras na construção civil e seus impactos, com ênfase nos avanços e transformações que promovem no setor; e a análise dos *softwares* Mais Controle e OrçaFascio, considerando aspectos como a melhoria da produtividade, a previsibilidade de custos e o aprimoramento no controle de qualidade das edificações ao longo de todo o ciclo de vida da obra.

A gestão de projetos na área da construção civil de forma eficaz e eficiente constitui-se como um dos maiores desafios enfrentados pelos profissionais do setor, exigindo, para sua plena execução, o uso de ferramentas especializadas que facilitem a coordenação de recursos, o monitoramento contínuo das finanças, o cálculo preciso de despesas e o controle

rigoroso dos cronogramas de obra. Nesse contexto, os *softwares* Mais Controle e OrçaFascio emergem como soluções tecnológicas avançadas, projetadas para otimizar o gerenciamento de projetos e, conseqüentemente, proporcionar uma significativa melhoria na eficiência operacional, contribuindo em diferentes âmbitos na construção civil, como o aumento de produtividade e redução de custos.

O Mais Controle é um *software* especializado em gestão de obras que se destaca pela sua capacidade de proporcionar um controle abrangente e detalhado de todas as fases do projeto (Tabela 1). Desenvolvido para atender às necessidades de profissionais da construção civil, ele se apresenta como uma ferramenta essencial para otimizar processos, reduzir desperdícios e melhorar a eficiência operacional. Para isso, oferece orçamentos ágeis e precisos, integrados à base SINAPI, permitindo a visualização detalhada de cada etapa do projeto, tanto na perspectiva de custos quanto na de vendas, com a aplicação do Benefícios e Despesas Indiretas (BDI).

Tabela 1 – Principais pontos chaves do *software* Mais Controle

MAIS CONTROLE	
Planejamento e Cronograma	Permite a elaboração de um cronograma detalhado, facilitando o acompanhamento das etapas da obra.
Gestão Financeira	Controle rigoroso de custos, fluxo de caixa e previsão orçamentária, reduzindo riscos financeiros
Monitoramento de Recursos	Gerenciamento de materiais, equipamentos e mão de obra, evitando desperdícios e aumentando a produtividade
Emissão de relatórios	Geração de relatórios detalhados sobre o progresso da obra, custos e desempenho operacional
Interface Intuitiva	Sistema de navegação amigável e adaptando às necessidades dos usuários
Controle de Qualidade	Possibilita o acompanhamento da execução conforme padrões normativos, minimizando falhas.

Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025)

Com uma interface intuitiva e funcionalidades abrangentes, o sistema permite não apenas a supervisão das atividades em tempo real, mas também a gestão financeira e a alocação eficiente de recursos. A proposta comercial, por exemplo, está integrada ao orçamento e pode ser gerada facilmente, pronta para ser enviada ao cliente, agilizando dessa forma o processo de negociação. Além disso, o cronograma físico-financeiro pode ser elaborado de forma rápida e simples, garantindo maior previsibilidade financeira para o

projeto e facilitando o planejamento da obra (Figura 2). O Mais Controle também disponibiliza ferramentas estratégicas para análise e otimização dos recursos. O relatório da Curva ABC possibilita a identificação de insumos mais importantes para execução da obra, ajudando na busca por economia e no gerenciamento de recursos. Da mesma forma, o *software* permite quantificar o progresso real da construção, garantindo um acompanhamento preciso da evolução do planejamento.

Figura 2 - Exemplificação do Cronograma Físico-Financeiro no Mais Controle

Item	Custo	Mês 1 Abr/23	Mês 2 Mai/23	Mês 3 Jun/23	Total
1 SERVIÇOS PRELIMINARES E GERAIS		100% R\$ 7.541,20	0% R\$ 0,00	0% R\$ 0,00	
2 INFRAESTRUTURA		50% R\$ 19.766,46	50% R\$ 19.766,46	0% R\$ 0,00	
3 SUPRAESTRUTURA		0% R\$ 0,00	10% R\$ 14.568,50	25% R\$ 36.421,26	
4 PAREDES E PAINÉIS		0% R\$ 0,00	0% R\$ 0,00	5% R\$ 2.119,16	
5 ESQUADRIAS					
6 COBERTURAS					
Acumulado					

Fonte: Mais Controle (s.d.)

Ao oferecer essas funcionalidades, o Mais Controle se torna uma ferramenta indispensável para os profissionais que buscam maior controle e eficiência na execução de obras. A capacidade de monitoramento detalhado permite que gestores identifiquem e solucionem problemas em tempo hábil, reduzindo riscos operacionais e financeiros (Figura 3). Além disso, a integração de recursos como planejamento estratégico, controle de custos e monitoramento da qualidade resulta em maior previsibilidade e assertividade nas tomadas de decisões. Por fim, todas as informações dos contratos com empreiteiros podem ser centralizadas no sistema, facilitando a realização de medições de serviços, dessa forma, a utilização do mesmo não apenas otimiza a gestão de recursos disponíveis, mas também contribui para o aumento da produtividade e a redução de desperdícios, garantindo uma execução mais eficiente e alinhada às melhores práticas do setor.

Figura 3 - Detalhamento Orçamentário gerado no Mais Controle

Item	Custo Total	BDI	Preço Unitário	Preço Total
1 SERVIÇOS PRELIMINARES E GERAIS	R\$ 7.541,20	60,00%		R\$ 12.065,93
1.1 Locação convencional de obra, utilizando gabarito de tábuas com corrimão portatéis a cada 2,00m - 2 utilizações. af_10/2018	R\$ 4.916,20	60,00%	R\$ 102,21	R\$ 7.865,93
1.2 Limpeza manual de vegetação em terreno com encosta af_05/2018	R\$ 2.625,00	60,00%	R\$ 6,00	R\$ 4.200,00
2 INFRAESTRUTURA	R\$ 39.532,93	60,00%		R\$ 63.252,69
3 SUPRAESTRUTURA	R\$ 145.685,04	60,00%		
4 PAREDES E PAINÉIS	R\$ 42.383,27	60,00%		
5 ESQUADRIAS				
6 COBERTURAS	R\$ 31.765,79	60,00%		

Resumo: Custo total: R\$ 634.994,34 | BDI: 60,00% | Preço: R\$ 1.015.990,94

Fonte: Mais Controle (s.d.)

O OrçaFascio é uma ferramenta amplamente reconhecida na Construção Civil por sua eficiência na elaboração de orçamentos detalhados e precisos para obras. Esse *software* se destaca por sua capacidade de fornecer uma visão abrangente dos custos envolvidos em cada projeto, auxiliando engenheiros, arquitetos e gestores na tomada de decisões financeiras estratégicas. Além disso, sua integração com bases de dados atualizadas e sua interface intuitiva facilitam a criação de projeções orçamentárias realistas, contribuindo para a previsibilidade financeira e redução de riscos (Figura 4).

Figura 4 - Visualização da Interface Orçamentária do OrçaFascio

ATV	ITEM	DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	LOCALIZAÇÃO	EQUIPE	DURAÇÃO
	1	PAREDES E PAINÉIS			
	1.1	PAV. TERRO - REVESTIME...			
☐	1	1.1.1 MASSA ÚNICA, PARA REC...	teste	0	14
☐	2	1.1.2 EMBOÇO, PARA RECEBIM...	teste	0	1
	1.2	2º PAV. - VERGAS/CONTR...			
☐	3	1.2.1 VERGA PRE-MOLDADA P...	teste	0	1

Fonte: OrçaFascio (s.d.)

O *software* da OrçaFascio, apresenta destaque, especialmente pela automação e integração com outras plataformas e tecnologias, como o BIM. Com o uso da ferramenta, é

possível elaborar orçamentos de forma mais acelerada, além de obter exatidão nos quantitativos e estar de acordo com todas as normas do Tribunal de Contas da União (TCU). Ou seja, com esse sistema, é possível ter controle do orçamento de obra e minimizar o risco de desclassificação em licitações de obras públicas, assim como, evitar prejuízos em obras privadas.

O OrçaFascio é, portanto, uma ferramenta indispensável para profissionais que precisam de previsibilidade e precisão financeira em seus projetos. Sua capacidade de fornecer cálculos detalhados e integrados a bases de dados atualizadas permite um planejamento mais eficiente, reduzindo riscos e aumentando a confiabilidade na execução das obras (Tabela 2). Além disso, sua interface intuitiva e suas funcionalidades avançadas de simulação possibilitam uma tomada de decisão mais assertiva, garantindo maior segurança, controle sobre os gastos envolvidos e maior eficiência na alocação de recursos financeiros.

Tabela 2 – Funcionalidades do *software* OrçaFascio

ORÇAFASCIO	
Orçamento Preciso	Cálculo automatizado de insumos e mão de obra, garantindo maior assertividade na previsão de custos
Banco de Dados Atualizado	Integração com tabelas de preços oficiais, como SINAPI, facilitando o cálculo de custos conforme valores de mercado
Simulação de Cenários	Permite testar diferentes alternativas de execução e prever impactos financeiros
Relatórios Customizáveis	Criação de relatórios específicos para tomadas de decisão estratégica
Integração com outras Ferramentas	Conectividade com softwares BIM, melhorando a gestão integrada de projetos
Acompanhamento em Tempo Real	Possibilita atualização instantânea dos custos e dos ajustes no orçamento

Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025)

A implementação de *softwares* especializados no gerenciamento de obras traz uma série de vantagens para empresas e profissionais do setor da construção civil. O Mais Controle, ao oferecer um acompanhamento detalhado das etapas de obra, permite uma visão ampla do projeto, reduzindo falhas na execução e garantindo maior assertividade no cumprimento de prazos. A possibilidade de monitoramento em tempo real possibilita ajustes dinâmicos e a minimização de desperdícios, impactando diretamente na eficiência operacional. Por outro lado, o OrçaFascio destaca-se na previsão financeira, uma vez que seu

banco de dados atualizado permite a elaboração de orçamentos realistas e alinhados no mercado. A precisão nos cálculos reduz os riscos de estouro de custos, auxiliando na tomada de decisão estratégica e na viabilidade econômica dos empreendimentos. Além disso, a integração com outras ferramentas, como o BIM, favorece uma gestão integrada e mais eficaz.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, fica evidente que a evolução da gestão de obras na construção civil tem sido diretamente impactada pelos avanços tecnológicos, permitindo maior controle sobre os processos, redução de desperdícios e otimização dos recursos. Nesse contexto, os *softwares* Mais Controle e OrçaFascio surgem como ferramentas essenciais para aprimorar o gerenciamento de projetos, proporcionando maior eficiência e previsibilidade nas etapas construtivas. A análise dos mesmos, demonstrou que seu uso pode trazer inúmeros benefícios para a gestão de obras, especialmente no que se refere à automatização de tarefas repetitivas, aprimoramento da comunicação entre equipes e monitoramento em tempo real das atividades. Ao integrar diferentes setores da construção, as plataformas permitem uma visão mais ampla e detalhada do andamento do projeto, possibilitando uma tomada de decisão mais estratégica e assertiva. Além disso, a capacidade de armazenar e analisar dados históricos facilita a identificação de padrões e tendências, auxiliando na melhoria contínua do processo.

Outro ponto relevante é a redução de erros e retrabalhos. Com a digitalização das informações e a centralização dos dados em um único sistema, minimizam-se falhas decorrentes da falta de comunicação ou do uso de documentos desatualizados. Isso impacta diretamente nos custos da obra, tornando o orçamento mais preciso e evitando gastos desnecessários. A funcionalidade de insumos e materiais, por exemplo, permite uma gestão mais eficiente do estoque, reduzindo desperdícios e garantindo que os recursos sejam utilizados de maneira otimizada.

Contudo, é importante destacar que a implementação de *softwares* de gestão de obras exige uma mudança cultural dentro das empresas. A resistência à adoção de novas tecnologias ainda é um desafio a ser superado, especialmente entre profissionais adaptados a métodos tradicionais de gerenciamento. Para garantir o sucesso desta transição, é fundamental investir em treinamentos e capacitação da equipe, promovendo um ambiente

mais receptivo à inovação. Diante desses fatores, conclui-se que o uso de *softwares* é uma tendência irreversível na construção civil. A gestão informatizada não apenas melhora a eficiência operacional, mas também contribui para a sustentabilidade no setor, reduzindo desperdícios e otimizando o uso de recursos naturais. Com o avanço contínuo da tecnologia, é esperado que novas funcionalidades sejam incorporadas a esses sistemas, tornando a gestão cada vez mais eficiente, estratégica e sustentável.

REFERÊNCIAS

ALSHIBANI, A.; *et. al.* Investigation of the driving power of the barriers affecting BIM adoption in construction management through ISM. **Results in Engineering**. v. 24, 2024, 102987, ISSN 2590-1230. Disponível em: Acesso em: 12 fev. 2025.

CHAWLA, V. K.; *et. al.* The sustainable project management: A review and future possibilities. **Journal of Project Management**. v.3, 157-170, 2018. DOI: 10.526/j.jpm.2018.2.001. Disponível em: https://www.growingscience.com/jpm/Vol3/jpm_2018_6.pdf. Acesso em: 13 fev. 2025.

CHOI, J.; HA, M. Validation of project management information systems for industrial construction projects. **Journal of Asian Architecture and Building Engineering**. v. 21, no. 5, 2046-2057, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13467581.2021.1941999>. Acesso em: 14 fev. 2025.

COELHO FILHO, M. H. C.; JACINTO, M. D. A. S. Automatização de orçamentos de referências para obras públicas em BIM. **Revista de Ciência e Tecnologia**. v.6, ISSN 2447-7028, 2020. Disponível em: <https://revista.ufrr.br/rct/article/view/6478/3119>. Acesso em: 15 fev. 2025.

FEWINGS, P.; HENJEWELE, C. **Construction Project Management: An Integrated Approach**. 3 ed, New York: Routledge is an imprint of the Taylor & Francis Group, an Informa Business, 2019.

GASIK, S. Alguns *insights* sobre o futuro da gestão de projetos na administração pública. **Revista de Gestão e Projetos**. v. 14, n.3, p.27-39, 2023, DOI: 10.5585/gep.v14i3.25043. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/gep/article/view/25043>. Acesso em: 10 fev. 2025.

GOMES, C. D. M; GOGLIANO, R. M. M. A tecnologia BIM para gestão de projetos em iluminação. REPAE - **Revista Ensino e Pesquisa em Administração e Engenharia**. v. 9, n. 1, 2023. Disponível em: <https://repae-online.com.br/index.php/REPAE/article/view/319/251>. Acesso em: 26 jan. 2025.

IBRAHIM, Y. W.; GEOFFREY, Q.P. S.; ROBERT, O.K. Scientometric review of global research trends on green buildings in construction journals from 1992 to 2018. **Energy and Buildings**. v. 190, 2019, ISSN 0378-7788. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.02.010>. Acesso em: 09 fev. 2025.

KERZNER, H. The future of project management. **Revista de Gestão e Projetos**. v.9, n.3, 2018. DOI:10.5585/gep.v9i3.10685. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/gep/article/view/10685>. Acesso em: 12 fev. 2025.

LUCENA, T. L. D. Gerenciamento de riscos na construção civil com a utilização do PMBOK. **Arquitetura e engenharia civil contemporânea: inovação, tecnologia e sustentabilidade**. DOI: 10.47573/aya.5379.2.84.4. Ponta Grossa: Aya, 2022, 109p.

MELO, G. L.; ALMEIDA, J. L. **Adequação do BIM na gestão de projetos**. 2023. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/33495>. Acesso em: 29 jan. 2025.

MUNARI, A. K.; GOMES, L. C.; JOAQUIM, F. D. A. **Gestão de projetos 1**. Capivari de Baixo: Editora FUCAP, 2022. ISBN 978-65-87169-38-5.

NIKMEHR, B. *et. al.* Digitalization as a Strategic Means of Achieving Sustainable Efficiencies in Construction Management: A Critical Review. **Sustainability**. 13, 5040, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13095040>. Acesso em: 15 fev. 2025.

PAIVA, G. V. C. D. **Processos de gestão de obras e projetos** - Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A. ISBN 978-85-522-0762-7, 2018, 176p.

PEREIRA, A. P. P.; SOUZA, R. O. M. D. Impacto da Indústria 4.0 e Inserção de Métodos Ágeis na Construção Civil. **Revista Boletim do Gerenciamento**. v.33, n.33, 2021. Disponível em: <https://nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento/article/view/709/454>. Acesso em: 10 fev. 2025.

RENWICK, R.; TIERNEY, B. Are Blockchain-based Systems the Future of Project Management? A Preliminary Exploration. **The JBBA**. v. 3, ed. 1, 2020. Disponível em: [https://doi.org/10.31585/jbba-3-2-\(2\)2020](https://doi.org/10.31585/jbba-3-2-(2)2020). Acesso em: 13 jan. 2025.

SOUZA, R. Z. P. D. *et. al.* Gestão de projetos aplicada à construção civil. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Ano 05, ed. 01, v. 01, p 14-30. Janeiro de 2020. ISSN: 2448-0959. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/wp-content/uploads/2020/01/gestao-de-projetos-1.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2025.

THIELMANN, R. **Gestão de projetos públicos**. Brasília: PNAP; Recife: UPE/NEAD, 2021. 135P. Formato: PDF. Material didático utilizado no Bacharelado em Gestão Pública - UAB - PNAP. ISBN 978-65-89954-13-2.

CAPÍTULO X

PANORAMA DE FENÔMENOS CORROSIVOS EM PLANTAS NUCLEARES

Willian Dimas Pompeo Siqueira
Alexandre Diório

DOI: 10.5281/zenodo.17306126

1. INTRODUÇÃO

Diante da crescente preocupação das autoridades mundiais com as mudanças climáticas provocadas pela emissão de poluentes na atmosfera, surge a necessidade de explorar fontes de energia progressivamente mais limpas e sustentáveis. Nesse contexto, as fontes nucleares emergem como uma alternativa particularmente atraente, uma vez que o urânio, o principal combustível utilizado nos reatores nucleares, é bem mais denso energeticamente do que petróleo e carvão, alcançando uma diferença da escala de milhões de MJ/kg. Além disso, estimativas indicam que as reservas de urânio poderiam atender à demanda global por energia por pelo menos mais um século (MACFARLANE; MILLER, 2007).

De acordo com dados disponíveis da Associação Nuclear Mundial (*World Nuclear Association*, em inglês), embora haja 440 reatores nucleares em operação no mundo, apenas dois deles estão no Brasil, constituindo 3% da sua matriz energética (WNA, 2025). Entre as vantagens mais significativas, destaca-se o fato da energia nuclear emitir uma menor quantidade de dióxido de carbono que a queima de petróleo e carvão (JEWELL, 2011), ser mais estável do que energia produzida por fontes renováveis como solar e eólica que dependem das condições meteorológicas da localidade em questão e não necessitar de alagamentos que levem a desequilíbrios ambientais tanto na fauna quanto na flora como ocorre na construção das usinas hidroelétricas.

Para que os reatores nucleares operem de maneira segura, eficaz e rentável, vários fenômenos devem ser gerenciados. Dentre eles, destaca-se a corrosão, um processo eletroquímico caracterizado pela interação de materiais metálicos e o ambiente de exposição, alterando suas propriedades físicas e químicas (SHAW; KELLY, 2006). Embora a corrosão esteja presente nos mais diversos tipos de indústrias, o reator nuclear fornece várias condições para acentuar a ocorrência deste fenômeno, dentre os quais pode se destacar (GRIMES; KONINGS; EDWARDS, 2008):

- A formação de radicais livres, em razão da incidência de raios ionizantes em moléculas de água e solventes orgânicos, levando ao fenômeno de radiólise;
- A presença de altas temperaturas e pressões; e
- A adição de compostos químicos para o controle de pH e taxa de fissão nuclear como o hidróxido de lítio e ácido bórico, respectivamente.

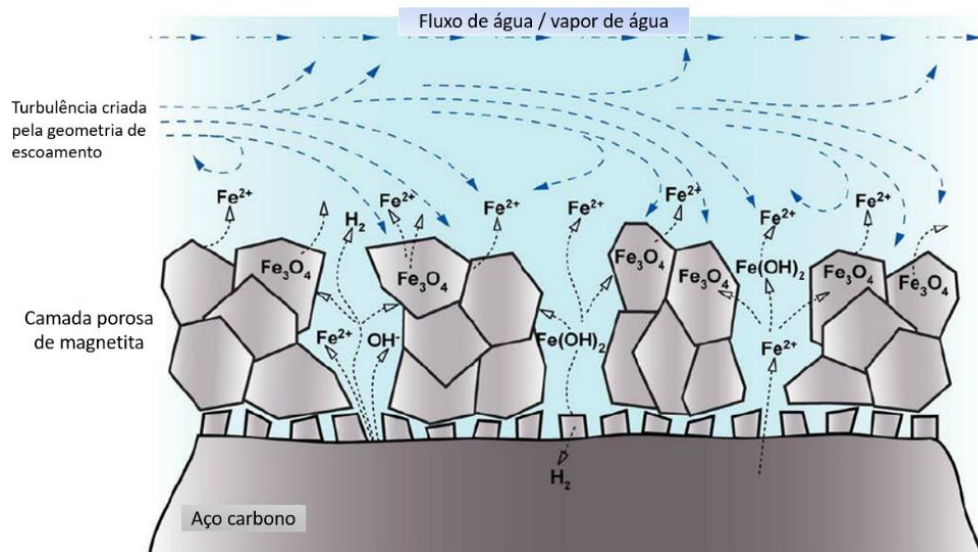
2. TIPOS DE CORROSÃO

Atualmente, existem diversos tipos de reatores nucleares em funcionamento, sendo cada um deles distintos em termos de condições operacionais, tipo de fluido refrigerante e componentes empregados. Portanto, é necessário levar em conta as particularidades de cada sistema nuclear para analisar os mecanismos de corrosão e suas estratégias de mitigação. Entre os principais tipos de corrosão, destacam-se a corrosão sob tensão fraturante, acelerada pelo fluxo, por fadiga, puntiforme e microbiológica.

2.1 Corrosão acelerada pelo fluxo (FAC)

A corrosão acelerada pelo fluxo (conhecida como *Flow Accelerated Corrosion*, ou FAC, em inglês) é caracterizada pela presença de fluidos que escoam em regime turbulento, ou seja, a altas velocidades. Seu mecanismo começa com a reação química entre o ferro (o principal componente das tubulações de aço carbono) e a água em movimento, resultando na formação de hidróxido de ferro (II), íons Fe^{2+} e uma camada superficial de magnetita (Fe_3O_4). Posteriormente, ocorre a difusão das espécies ferrosas através da camada porosa de óxido e a dissolução dessa camada na água. Por fim, há a transferência de massa entre as espécies ferrosas e o fluido circundante, devido ao gradiente de concentração (KHUNPHAKDEE; CHALERMSINSUWAN, 2023). Dessa forma, a taxa de perda de espessura da tubulação pela FAC é diretamente proporcional à solubilidade das espécies presentes na superfície do óxido. O mecanismo da FAC pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 - Mecanismo da FAC.



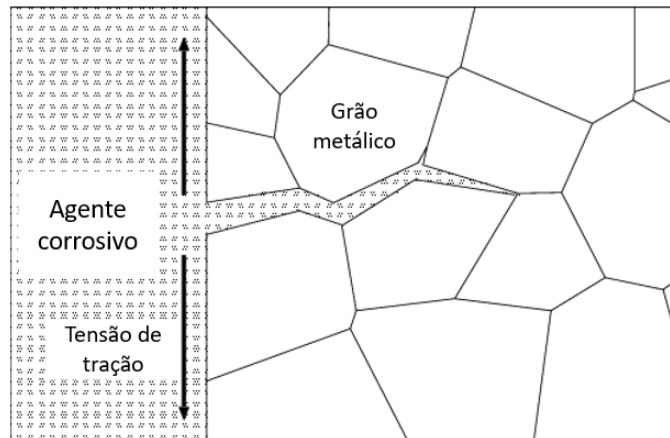
Fonte: Adaptado de Gordon (2013).

2.2 Corrosão sob tensão fraturante (SCC)

A corrosão sob tensão fraturante (conhecida como *Stress Corrosion Cracking*, ou SCC, em inglês), por sua vez, surge diante do crescimento de fissuras em razão da presença simultânea de um meio que provenha as condições necessárias para que a reação química ocorra e a aplicação de uma tensão de tração de forma sustentada. Em geral, a contribuição

do ambiente se deve ao descolamento do revestimento, nível de proteção catódica do material, pH e temperatura característicos. Enquanto isso, a tensão de tração é gerada desde o período da fabricação dos materiais (tensões residuais) até a operação, com a aplicação de carregamentos resultantes do gradiente de pressão e temperatura (MOHTADI-BONAB, 2019). O mecanismo da SCC é visto na Figura 2.

Figura 2 - Mecanismo da SCC.



Fonte: Adaptado de Itakura, Karubaki e Arakawa (2005).

2.3 Corrosão puntiforme

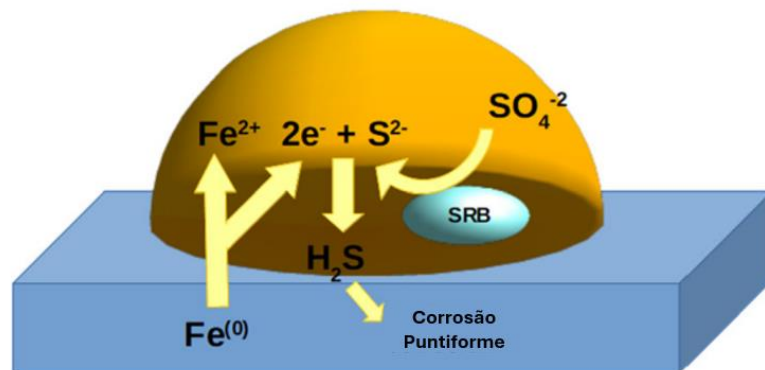
A corrosão puntiforme, também conhecida como *pitting*, é o resultado da formação de cavidades profundas na superfície metálica exposta a um meio aquoso com sais dissolvidos, caracterizando um ataque localizado. Seu mecanismo se inicia com a deterioração da camada passivadora protetora do metal, levando à redução do pH na área de formação da cavidade. A "repassivação" é crucial para interromper o processo, pois, caso não ocorra, a dissolução dos íons metálicos da cavidade persiste, sendo sua estabilidade diretamente relacionada à composição química, porosidade e resistência da camada que a cobre (OBEYESEKERE, 2017).

2.4 Corrosão microbiológica

A corrosão microbiológica é causada pelo contato dos produtos gerados pela atividade metabólica dos microorganismos e a superfície metálica em questão. O grupo de microorganismos mais relevantes neste tipo de corrosão são as bactérias redutoras de

sulfato (SRB). Eles vivem em ambientes isentos de oxigênio onde obtêm carbono necessário a partir de nutrientes orgânicos e sua energia a partir da redução de íons de sulfato a sulfeto, desta forma, só prosperam e causam danos se conseguirem obter sulfato suficiente, substância abundante em solos, águas doces e salgadas (STOTT; ABDULLAHI, 2018). O mecanismo da corrosão microbiológica do ferro pelas SRBs pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 - Mecanismo da corrosão microbiológica.



Fonte: Adaptado de Procópio (2020).

3. PROCESSO CORROSIVO NOS REATORES NUCLEARES

De forma geral, o mecanismo da energia elétrica gerada nas usinas nucleares independe do tipo de reator empregado. Inicialmente, ocorre a reação de fissão nuclear no combustível utilizado, comumente o Urânio ou Plutônio, através do bombardeio de nêutrons.

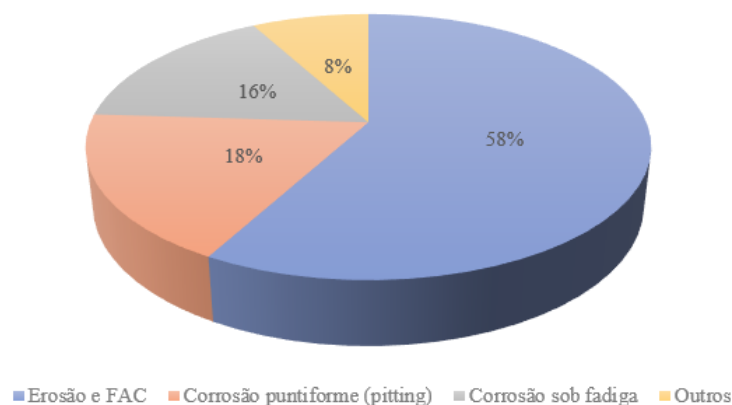
Devido à natureza altamente exotérmica das reações de fissão nuclear, ocorre uma intensa liberação de calor no núcleo do reator, seguida pela transferência térmica para o fluido refrigerante em uso. Esse processo facilita o transporte da energia térmica por entre os diversos sistemas do reator. No estágio final, o fluido refrigerante do último circuito entra em estado de vaporização, passa por uma turbina e um alternador converte o trabalho mecânico gerado pela turbina em energia elétrica. No sistema primário, a reação de fissão nuclear e a transferência térmica para o fluido refrigerante ocorrem, mas a energia trocada não é suficiente para vaporizá-lo à pressão específica. Já no sistema secundário, há a troca térmica entre o fluido refrigerante proveniente do sistema primário e outro fluido refrigerante, resultando em sua vaporização (HO *et al.*, 2019).

3.1 Reatores de Água Pressurizada (PWR)

O Reator de Água Pressurizada (conhecido como Pressurized Water Reactor em inglês, através da sigla PWR) é o principal tipo de reator empregado globalmente. Nesse reator, a água leve desempenha o papel de fluido refrigerante e moderador de nêutrons. A função do moderador é reduzir a velocidade dos nêutrons, possibilitando assim a manutenção da reação em cadeia da fissão nuclear (ROSA, 2007). Na fase inicial do sistema, há a transmissão de calor do material nuclear para a água subresfriada por intermédio de tubos de geração de vapor. Esse processo resulta na formação de vapor de água no segundo circuito. O vapor gerado é então utilizado para acionar uma turbina responsável pela produção de energia elétrica. Posteriormente, o vapor, após completar essa função, regressa ao ciclo como água subresfriada, passando pelo condensador (FERNÁNDEZ-ARIAS; VERGARA; OROSA, 2020).

Nos PWRs, a corrosão representa a fonte de problemas relacionados à segurança, manifestando-se em falhas nos tubos de geração de vapor. Isso resulta em acidentes devido à corrosão nos vasos de pressão que desempenham um papel crucial no funcionamento do reator. Segundo eventos reportados pela organização *Institut de Radio protection et de Sûreté Nucléaire*, observa-se a seguinte distribuição de corrosão nos operados pela companhia *Eletrecité de France* (LE CALVAR; DE CURIÈRES, 2012):

Figura 4 - Tipos de corrosão em PWRs.



Fonte: Adaptado de Le Calvar e De Curières (2012).

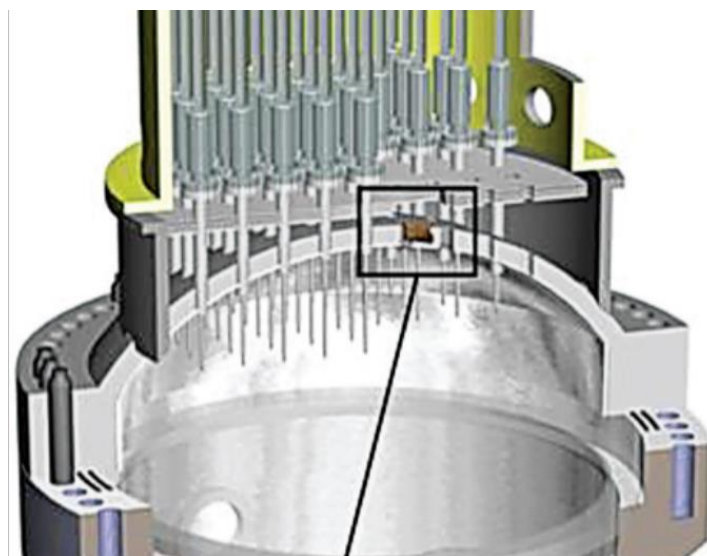
As particularidades de cada componentes devem ser levadas em consideração quanto a escolha dos materiais na fabricação, detecção da corrosão e estratégias de mitigação. Por exemplo, a escolha entre titânio e aço inoxidável é crucial na fabricação dos tubos do

condensador, devido a resistência destes materiais, sendo mais preferível que o cobre, especialmente quando se utiliza água de fontes naturais, como rios e mares. Essa decisão é vital para prevenir problemas sérios de segurança, especialmente em casos de contaminação por poluentes (LE CALVAR; DE CURIÈRES, 2012). Enquanto isso, para a detecção da corrosão nas lâminas das turbinas a vapor, utilizam-se de dispositivos ultrassônicos durante a interrupção para a manutenção (CLOSSEN-VON LANKEN SCHULZ *et al.*, 2006). Por sua vez, nos alternadores, especificações químicas mais rigorosas são consideradas para o fluido de refrigeração, a fim de evitar a obstrução dos canais condutores especialmente quando esses equipamentos são fabricados com cobre (SVOBODA; PICECH; HEHS, 2004).

A fim de mitigar a FAC, várias estratégias podem ser utilizadas, dentre elas destacam-se a elevação do pH do meio alterando as reações de hidrólise de ferro) e a injeção de oxigênio no vapor e no reaquecedor de separador de umidade, a fim de que a magnetita se oxide em hematita (Fe_2O_3), fazendo com que a solubilidade do óxido de ferro no fluido refrigerante diminua significativamente (MOREIRA *et al.*, 2022).

Um evento bastante conhecido quanto a corrosão nos PWRs março de 2002, a Usina Nuclear Davis-Besse, localizada na cidade de Oak Harbor (Estados Unidos), enfrentou um incidente grave envolvendo o cabeçote do vaso de pressão do reator. Durante uma parada para reabastecimento, foi descoberta uma degradação severa no cabeçote do vaso de pressão do reator. A localização do cabeçote do vaso de pressão pode ser vista na Figura 5.

Figura 5 - Localização da degradação do cabeçote do vaso de pressão.



Fonte: RILEY *et al.*, 2014.

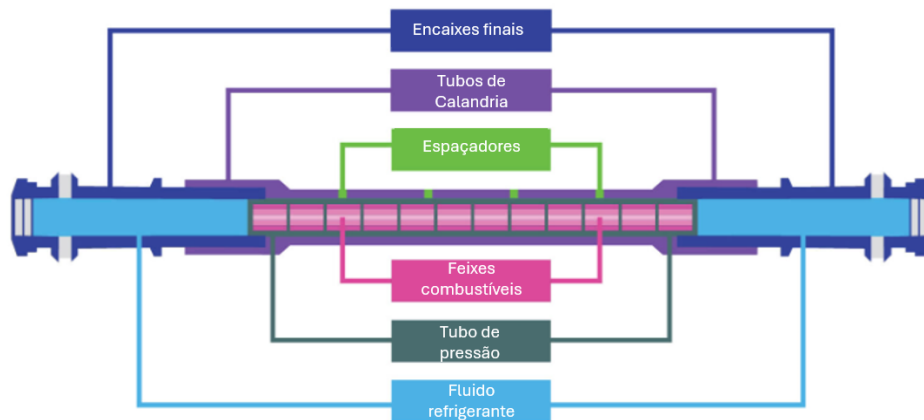
O aço carbono do cabeça do cabeçote do vaso de pressão do reator havia sido corroído pelo ácido bórico, deixando apenas uma fina camada de revestimento de aço inoxidável para suportar a pressão de operação do fluido refrigerante no núcleo do reator. Essa degradação representava um risco significativo de ruptura na cabeça do cabeçote do vaso de pressão do reator, o que poderia resultar em um evento de segurança grave. O incidente foi resultado de trincas por corrosão sob tensão fraturante na água do circuito primário nas ligas à base de níquel e nas soldas das penetrações da cabeça do recipiente. A Comissão Reguladora Nuclear já havia emitido um boletim solicitando informações sobre programas de inspeção para as conexões das penetrações da cabeça do recipiente devido ao potencial conhecido de trincas. Apesar dessa conscientização, a degradação em Davis-Besse ocorreu. O incidente levou à formação de uma força-tarefa da Comissão Reguladora Nuclear para avaliar e melhorar os processos regulatórios relacionados à integridade da cabeça do vaso de pressão do reator. A Usina Nuclear Davis-Besse foi fechada até que as reparações e melhorias necessárias fossem feitas, sendo autorizada a reiniciar as operações em 2004 sob certas condições e requisitos adicionais (RILEY *et al.*, 2014).

3.2 Reatores de Água Pesada Pressurizada (PHWR)

O reator de Água Pesada Pressurizada (conhecido como Pressurized Heavy Water Reactor em inglês, através da sigla PHWR) é um tipo de reator que geralmente utiliza urânio como fonte de combustível, e água pesada, também conhecida como água deuterada, como fluido refrigerante e moderador de nêutrons. Entre os reatores de água pesada pressurizada, destacam-se os reatores de modelagem canadense CANDU (Canadian Deuterium Uranium), que estão em operação no Canadá, Argentina, Coreia do Sul, Romênia e China (ABDELGHAFAR GALAHOM; IBRAHIM, 2022). Apesar do custo mais elevado da água deuterada em comparação com a água comum, há uma melhor utilização dos nêutrons gerados pela fissão nuclear. Isso possibilita o funcionamento do reator sem a necessidade de instalações para o enriquecimento do combustível (PETROSKI *et al.*, 2022).

As principais preocupações quanto a corrosão dos PHWRs estão atreladas aos canais combustíveis e geradores de vapor. Nos reatores CANDU, os tubos combustíveis são compostos de encaixes finais, tubos de calandria, espaçador, feixes combustíveis e tubos de pressão (BRUCE POWER, 2023) conforme pode ser visto pela Figura 6.

Figura 6 - Composição de um canal combustível.



Fonte: Adaptado de Bruce Power (2023).

Os tubos de pressão inicialmente eram fabricados com Zircaloy-2, uma liga composta de zircônio enriquecida com estanho, ferro, cromo e níquel. Este material era valorizado em razão de sua resistência à corrosão em água pesada e baixa captura de nêutrons. Contudo, com o avanço das tecnologias, o Zr-2,5%Nb substituiu o Zircaloy-2 devido a sua maior resistência mecânica, estabilidade sob altas temperaturas e pressões (aproximadamente 10 Mpa e 250-300 °C) e elevada resistência a corrosão. Além disso, essa liga oferece excelente desempenho na menor suscetibilidade à captura de nêutros, assim como capacidade estrutural em fluxo de neutrons rápidos (SHARMA *et al.*, 2017).

Não obstante, os tubos de calandria (que enfrentam um ambiente menos severo do que os tubos de pressão) apresentam inúmeros desafios quanto a sua integridade estrutural. Ao contrário de vasos nucleares mais espessos, suas paredes finas e múltiplas soldas atribuem certa fragilidade aos estresses térmicos e mecânicos associadas à retenção de detritos fundidos, levando a sérios problemas como explosões de vapor e hidrogênio, falhas no confinamento e a liberação de produtos de fissão (NIJHAWAN; JUNG, 2023).

Inúmeros materiais foram empregados na fabricação dos geradores de vapor. A Liga 800, uma liga Ni-Cr-Fe austenítica, é amplamente utilizada na fabricação dos geradores de vapor dos reatores CANDU e considerando a grande quantidade de tubos em operação, a degradação na Liga 800 constatada é relativamente pequena (LU; RAMAMURTHY; GOSZCZYNSKI, 2012). Contudo, embora a degradação operacional observada seja pequena, estudos mostram que a Liga 800 é propensa a corrosão em condições ácidas e em altas concentrações de íons fosfato e sulfato. Ademais, houve a detecção da ocorrência de corrosão sob tensão fraturante intergranular (IGSCC) que sugerem o desenvolvimento de novos materiais e adoção de técnicas para o controle de hidrazina e oxigênio dissolvido no fluido

refrigerante (PANDEY *et al.*, 2009).

A FAC nos reatores CANDU ocorre principalmente nos tubos de alimentação do sistema primário de transporte de calor. Várias condições agravam este fenômeno como a alta velocidade do fluido (6-16 m/s), temperatura elevada (310-312 °C) e química da água alcalina (pH entre 10,2 e 10,8), ainda assim a velocidade do fluxo, geometria dos tubos, temperatura e características metalúrgicas (YUAN; PANDEY; BICKEL, 2008). Desta forma, para garantir uma menor degradação, é necessária a fabricação com ligas com teor de cromo acima de 0,1 %wt, devido a uma maior susceptibilidade do material a formação de uma camada passivadora (CHUNG, 2010).

3.3 Reatores de Água Fervente (BWR)

Os Reatores de Água Fervente (conhecido como Boiling Water Reactors em inglês, através da sigla BWRs) são sistemas que empregam água comum como fluido refrigerante e moderador de nêutrons. Essa categoria de reator apresenta uma semelhança significativa com os reatores de água pressurizada (PWR), distinguindo-se principalmente pela pressão mais baixa à qual a água está sujeita, aproximadamente 75 atmosferas. Isso resulta em uma evaporação da água a uma temperatura mais baixa, cerca de 285 °C, no núcleo do reator (WNA, 2023).

A principal forma de corrosão nos BWRs é a IGSCC devido à combinação de fatores ambientais e mecânicos que afetam os limites granulares do aço inoxidável tipo 316. Há vários fatores que influenciam a ocorrência deste fenômeno (LIU *et al.*, 2024):

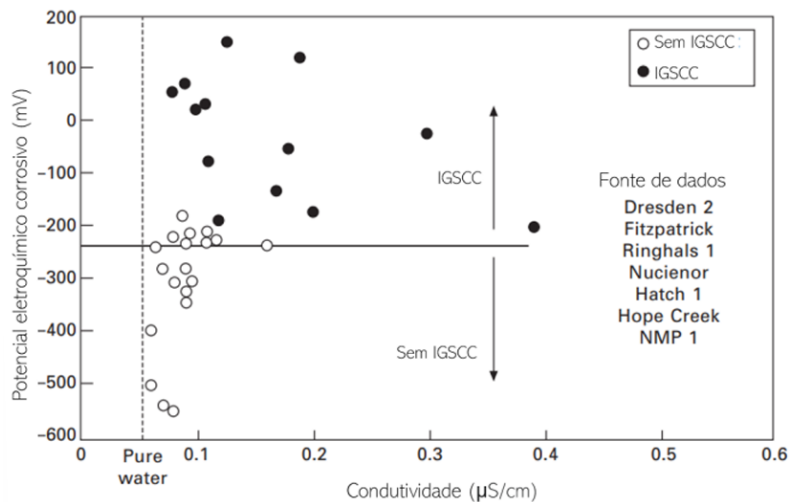
- Tamanho dos grãos
- Tratamento térmico
- Deformação residual
- Tensões de tração (fabricação, primária – origem por pressões internas e cargas mecânicas e secundária ou térmicas)

Ademais, os fenômenos eletroquímicos desempenham um papel central no desenvolvimento e na mitigação da IGSCC. A eletroquímica influencia diretamente a taxa de crescimento de trincas (CGR) e está relacionada ao potencial de corrosão (ECP), que deve ser mantido abaixo de um valor crítico para minimizar a suscetibilidade à IGSCC (HATA *et al.*, 2023).

O potencial crítico marca o ponto em que o crescimento das trincas se torna

significativo, e a redução do ECP para valores mais negativos, por exemplo, através da química da água com hidrogênio (HWC), pode diminuir exponencialmente o CGR. Fatores como reações redox e produtos radiolíticos (O_2 , H_2 e H_2O_2) afetam o ECP, enquanto parâmetros cinéticos, como densidades de corrente de troca e constantes de Tafel, determinam a impedância de transferência de carga e influenciam a corrente de acoplamento entre as regiões anódicas e catódicas, impactando a propagação de trincas. Estratégias de mitigação, como o uso de revestimentos catalíticos (metais nobres como platina) ou dielétricos (como filmes de ZrO_2), ajudam a controlar a eletroquímica do sistema, deslocando o ECP e aumentando a resistência do material (MACDONALD, 2002). A Figura 7 apresenta a influência da condutividade e potencial eletroquímicos corrosivo na ocorrência da IGSCC.

Figura 7 - Ocorrência da corrosão intergranular de acordo com a condutividade e potencial corrosivo.



Fonte: Adaptado de Ford, Gordon e Horn (2012).

4. PRODUTOS DE CORROSÃO E SISTEMAS DE PURIFICAÇÃO

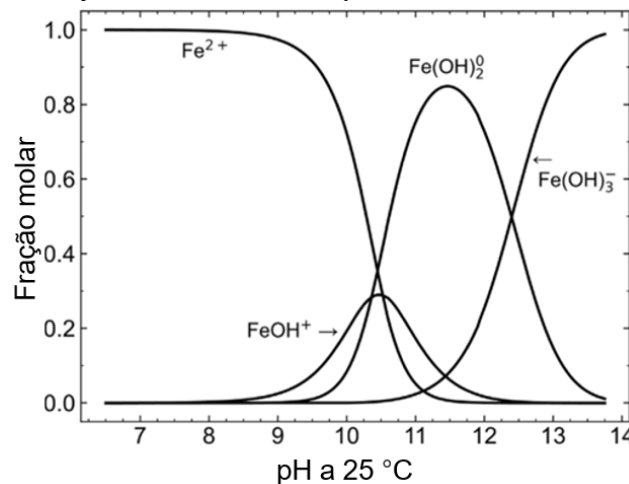
Os produtos de corrosão em usinas nucleares são influenciados pelos materiais constituintes dos sistemas de transporte de calor e pelas condições operacionais de cada tipo de reator. As ligas ferrosas são amplamente empregadas, sobretudo no sistema primário, e estão sujeitas a corrosão devido às altas pressões e temperaturas características desses ambientes. No caso dos reatores PWR/PHWR, a elevada temperatura do fluido refrigerante (270–315 °C) e a presença de um pH alcalino ou solução-tampão favorecem a formação de

espécies ferrosas dissolvidas e particuladas (LISTER; COOK, 2014). Já nos BWRs, o fluido refrigerante opera em condições de pH neutro e baixa condutividade, resultando em uma predominância de ferro (~98%) nos produtos de corrosão, com traços de cromo, manganês, níquel, cobre e cobalto (0,1–0,6%).

As resinas de trocas iônica são matrizes poliméricas amplamente utilizadas em sistemas nucleares devido à sua capacidade de remover impurezas e íons indesejados por meio de processos de filtração física e interações eletrostáticas. Elas são classificadas como aniônicas e catiônicas (fortes e fracas) dependendo do grau de dissociação dos grupos funcionais compostos conforme exposto pela teoria de Arrhenius e não pela eficiência do processo de separação (AL-ASHEH; AIDAN, 2020). As resinas catiônicas fortes utilizam grupos sulfonatos como sítios de troca iônica, enquanto as fracas empregam grupos carboxilatos. Por sua vez, as resinas aniônicas fortes possuem grupos amino quartenários carregados positivamente, e as fracas, grupos amino terciários neutros (CRITTENDEN *et al.*, 2012).

Além da purificação, as resinas de troca iônica são utilizadas como ferramentas de investigação em estudos relacionados a fenômenos de corrosão e transporte de íons em sistemas nucleares. Um exemplo relevante é a interrupção do sistema primário de transporte de calor na estação de Point Lepreau, onde a adsorção de óxidos de ferro afetou a concentração de íons de lítio, adicionados na forma de hidróxido de lítio para o controle de pH. Por meio de imagens de microscopia eletrônica, a formação dos óxidos de ferro foi atribuída às reações de hidrólise, fortemente afetadas por condições químicas do sistema (como o pH) conforme mostra a Figura 8 (PALAZHCHENKO; FERGUSON; COOK, 2023).

Figura 8 - Espécies ferrosas presentes em uma solução de ferro de 0,008 mol/L de acordo com o pH.



Fonte: Adaptado de Palazhchenko, Ferguson e Cook (2023).

As resinas de troca iônica apresentam propriedades fundamentais que influenciam diretamente na sua eficiência e desempenho (CRITTENDEN *et al.*, 2012):

- Seletividade: refere-se à preferência da resina por determinados íons, sendo influenciada pela carga e pelo raio iônico. Resinas catiônicas fortes, por exemplo, possuem maior seletividade para íons de carga elevada (como o Fe^{3+}) em relação a íons de menor carga (como o Na^+) (HELFFERICH, 1995);
- Capacidade de troca iônica: pode ser expressa em termos da capacidade teórica total, considerando o volume ou a massa total da resina, e a capacidade efetiva, que corresponde a fração funcional da resina que realiza efetivamente a troca iônica;
- Tamanho das partículas: está ligado a taxa de troca iônica e perda de carga na coluna, partículas menores favorecem uma maior taxa de troca, enquanto partículas maiores reduzem a resistência ao fluxo;
- Intumescimento: refere-se a expansão volumétrica da resina em resposta à interação com contra-íons, sendo influenciados pela pressão osmótica que pode causar a ruptura da matriz polimérica em casos extremos.

REFERÊNCIAS

ABDELGHAFAR GALAHOM, A.; IBRAHIM, A. Integrated analysis to investigate the viability of using Thorium-based fuel instead of traditional fuel in CANDU reactor. **Nuclear Engineering and Design**, v. 398, p. 111969, nov. 2022. DOI: 10.1016/j.nucengdes.2022.111969

AL-ASHEH, S.; AIDAN, A. A comprehensive method of ion exchange resins regeneration and its optimization for water treatment. **Promising Techniques for Wastewater Treatment and Water Quality Assessment**, p. 163-176, 2020.

BRUCE POWER. Pressure Tube Integrity. Disponível em: <https://www.brucepower.com/safety-first/pressure-tube-integrity/>. Acesso em: 12 fev. 2025.

CHUNG, H.-S. A REVIEW OF CANDU FEEDER WALL THINNING. **Nuclear Engineering and Technology**, v. 42, n. 5, p. 568–575, 31 out. 2010. DOI: 10.5516/NET.2010.42.5.568

CLOSSEN-VON LANKEN SCHULZ, M. *et al.* Mechanised UT Inspection of Turbine Components Way to Reduce Duration of Steam Turbine Outages. In: **6th International Symposium on Contribution of Materials Investigations to Improve the Safety and Performance of LWRs**. Fontevraud, França, 2006.

CRITTENDEN, J. C. *et al.* **MWH's water treatment: principles and design**. John Wiley & Sons, 2012.

FERNÁNDEZ-ARIAS, P.; VERGARA, D.; OROSA, J. A. A Global Review of PWR Nuclear Power Plants. **Applied Sciences**, v. 10, n. 13, p. 4434, 27 jun. 2020. DOI: 10.3390/app10134434

GORDON, B. M. Corrosion and Corrosion Control in Light Water Reactors. **JOM**, v. 65, n. 8, p. 1043–1056, 25 ago. 2013. DOI: 10.1007/s11837-013-0658-4

GRIMES, R. W.; KONINGS, R. J. M.; EDWARDS, L. Greater tolerance for nuclear materials. **Nature Materials**, v. 7, n. 9, p. 683–685, set. 2008. DOI: 10.1038/nmat2266

HATA, K. *et al.* Optimization of dissolved hydrogen concentration for mitigating corrosive conditions of pressurised water reactor primary coolant under irradiation (2) evaluation of electrochemical corrosion potential. **Journal of Nuclear Science and Technology**, v. 60, n. 8, p. 867–880, 3 ago. 2023. DOI: 10.1080/00223131.2022.2127955

HELFFERICH, F.G. Ion exchange. Courier Corporation, 1995.

HO, M. *et al.* A review on the development of nuclear power reactors. **Energy Procedia**, v. 160, p. 459–466, fev. 2019. DOI: 10.1016/j.egypro.2019.02.193

ITAKURA, M.; KABURAKI, H.; ARAKAWA, C. Branching mechanism of intergranular crack propagation in three dimensions. **Physical Review E**, v. 71, n. 5, p. 055102, 19 maio 2005. DOI: 10.1103/PhysRevE.71.055102

JEWELL, J. Ready for nuclear energy?: An assessment of capacities and motivations for launching new national nuclear power programs. **Energy Policy**, v. 39, n. 3, p. 1041–1055, mar. 2011. DOI: 10.1016/j.enpol.2010.10.041

KHUNPHAKDEE, P.; CHALERMSINSUWAN, B. Review of flow accelerated corrosion mechanism, numerical analysis, and control measures. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 197, p. 519–535, set. 2023. DOI: 10.1016/j.cherd.2023.08.012

LE CALVAR, M.; DE CURIÈRES, I. Corrosion issues in pressurized water reactor (PWR) systems. Em: **Nuclear Corrosion Science and Engineering**. [s.l.] Elsevier, 2012. p. 473–547. DOI: 10.1533/9780857095343.5.473

LISTER, D. H.; COOK, W. G. Nuclear plant materials and corrosion. **The Essential CANDU; Garland**, WJ, Ed.; UNENE: Canada, 2014.

LIU, P. *et al.* New insights into stress corrosion cracking mechanism of Alloy 600 in boiling water reactor (BWR) environment. **Corrosion Science**, v. 232, p. 112008, maio 2024. DOI: 10.1016/j.corsci.2024.112008

LU, Y.; RAMAMURTHY, S.; GOSZCZYNSKI, G. An aging assessment on ex-service Alloy 800 steam generator tubing. **Nuclear Engineering and Design**, v. 242, p. 91–99, jan. 2012. DOI: 10.1016/j.nucengdes.2011.09.040

MACDONALD, D. D. **The electrochemistry of IGSCC mitigation in BWR coolant circuits**. ETDEWeb. **Anais...**International Atomic Energy Agency, 1 jul. 2002.

MACFARLANE, A. M.; MILLER, M. Nuclear Energy and Uranium Resources. **Elements**, v. 3, n. 3, p. 185–192, 1 jun. 2007. DOI: 10.2113/gselements.3.3.185

MOHTADI-BONAB, M. A. Effects of Different Parameters on Initiation and Propagation of Stress Corrosion Cracks in Pipeline Steels: A Review. **Metals**, v. 9, n. 5, p. 590, 22 maio 2019. DOI: 10.3390/met9050590

MOREIRA, R. M. *et al.* Evaluation of Flow Accelerated Corrosion in Typical Recovery Boiler Environments of Energy Production Industries. **Materials Research**, v. 25, n. suppl 1, 2022. DOI: 10.1590/1980-5373-mr-2021-0520

NIJHAWAN, S.; JUNG, J. Y. Challenges to the integrity of calandria, the CANDU PHWR moderator vessel, under serious accident loads and consequences of its failure. **Annals of Nuclear Energy**, v. 192, p. 109958, nov. 2023. DOI: 10.1016/j.anucene.2023.109958

OBEYESEKERE, N. U. Pitting corrosion. Em: **Trends in Oil and Gas Corrosion Research and Technologies**. [s.l.] Elsevier, 2017. p. 215–248. DOI: 10.1016/B978-0-08-101105-8.00009-7

PALAZHCENKO, O.; FERGUSON, J.; COOK, W. Iron hydrolysis and lithium uptake on mixed-bed ion exchange resin at alkaline pH. **Nuclear Engineering and Technology**, 2023. DOI: 10.1016/j.net.2023.06.032

PANDEY, M. D. *et al.* The estimation of lifetime distribution of Alloy 800 steam generator tubing. **Nuclear Engineering and Design**, v. 239, n. 10, p. 1862–1869, out. 2009. DOI: 10.1016/j.nucengdes.2009.05.027

PETROSKI, R. *et al.* Design of a direct-cycle supercritical CO₂ nuclear reactor with heavy water moderation. **Nuclear Engineering and Technology**, v. 54, n. 3, p. 877–887, mar. 2022. DOI: 10.1016/j.net.2021.09.030

PROCÓPIO, L. The era of ‘omics’ technologies in the study of microbiologically influenced corrosion. **Biotechnology Letters**, v. 42, n. 3, p. 341–356, 3 mar. 2020. DOI: 10.1007/s10529-019-02789-w

ROSA, L. P. Geração hidrelétrica, termelétrica e nuclear. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 39–58, abr. 2007. DOI: 10.1590/S0103-40142007000100005

RILEY, J. *et al.* 2002 Davis-Besse Reactor Pressure Vessel Head Degradation Knowledge Management Digest. [s.l.] Office of Nuclear Regulatory Research, 2014. Disponível em: [NUREG/KM-0005 "2002 Davis-Besse Reactor Pressure Vessel Head Degradation Knowledge Management Digest"](#). Acesso em: 2 jul. 2023.

SHARMA, R. K. *et al.* Influence of hydride orientation on fracture toughness of CWSR Zr-2.5%Nb pressure tube material between RT and 300 °C. **Journal of Nuclear Materials**, v. 488, p. 231–244, maio 2017. DOI: 10.1016/j.jnucmat.2017.03.025

SHAW, B.; KELLY, R. What is Corrosion? **The Electrochemical Society Interface**, v. 15, n. 1,

p. 24–26, 1 mar. 2006. DOI: 10.1149/2.F06061IF

STOTT, J. F. D.; ABDULLAHI, A. A. Corrosion in Microbial Environments ☆. Em: **Reference Module in Materials Science and Materials Engineering**. [s.l.] Elsevier, 2018. DOI: 10.1016/B978-0-12-803581-8.10519-3

SVOBODA, R.; PICECH, C.; HEHS, H. Experiences with stainless steel hollow conductors for generator stator water cooling. In: **ASME Power Conference**. 2004.

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION. **World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements**, 2025. Disponível em: <https://world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/world-nuclear-power-reactors-and-uranium-requirements>

YUAN, X.-X.; PANDEY, M. D.; BICKEL, G. A. A probabilistic model of wall thinning in CANDU feeders due to flow-accelerated corrosion. **Nuclear Engineering and Design**, v. 238, n. 1, p. 16–24, jan. 2008. DOI: 10.1016/j.nucengdes.2007.06.004

CAPÍTULO XI

CÁLCULO DE PRECIPITAÇÃO AUTOMÁTICO COM DIFERENTES MÉTODOS NO RIACHO TAPERA, CEARÁ

Luigi Pereira de Paiva

DOI: 10.5281/zenodo.17306153

1. INTRODUÇÃO

Ciclo hidrológico, segundo Albuquerque (2022) é um fenômeno natural crucial à sobrevivência da sociedade humana e seu entendimento é indispensável a subsistência dos seres vivos. Sua percepção está entrelaçada à ciência voltada para o estudo dele, chamada de hidrologia, que se refere a ciência que estuda o ciclo hidrológico e seus constituintes, ao qual se engloba a bacia hidrográfica, local onde ocorrem estes processos.

Silveira (2001) descreve bacia hidrográfica como uma região topograficamente delimitada que tem como individualidade a capacidade de captação da água em direção a um ponto comum, que também é chamado de exutório. Dentro da região de uma bacia ocorrem processos de entrada e saída da água, sendo a entrada, em uma dimensão natural, representada pela precipitação.

Segundo Marciano, Alexandre & Ana (2018), a compreensão da precipitação que ocorre em uma bacia é complexa devido a uma série de variáveis e dinâmica não determinística. A precipitação também é a responsável pela viabilidade da atividade humana, como a agropecuária e o abastecimento doméstico, por exemplo.

Sendo a água um dos recursos naturais de maior importância, ela é imprescindível para garantir a qualidade de vida, o desenvolvimento econômico e social da população, bem como componente da paisagem e do meio ambiente (Andrade et al., 2008). Arai (2010) afirma que o conhecimento acerca da disponibilidade hídrica é um dos fatores mais importantes quando o assunto é gerenciamento de recursos hídricos.

Dito isso, em um cenário de mudanças climáticas, a percepção desfragmentada de que a atividade de um local pode impactar no clima de outro, surge à reflexão a respeito da necessidade de profissionais dispostos a lidar com desafios e problemas futuros proeminentes das questões voltadas para o estudo da ciência hídrica. Vanelli (2023) destaca que alguns problemas ou desafios não surgem exclusivamente da dimensão natural ou dimensão social e sim de múltiplas interações que ocorrem ao longo do avanço cronológico-temporal. Diante disso, a hidrologia se destaca por sua ampla ligação entre a esfera conectiva humana e trópica.

O estudo do ciclo hidrológico, segundo Diodato et al. (2022) tem se tornado cada vez mais necessário e destaca a precipitação por sua capacidade de produção de escoamento superficial, que proporciona a possibilidade de inundações e enchentes. Além da capacidade de representar riscos por seu excesso, a estiagem ou seca torna indispensável o cuidado durante o processo de administração hídrica de uma região.

Por isso, o estudo da chuva é indispensável para estados que passam por longos períodos de estiagem ou insuficiência de água, como o estado do Ceará, por exemplo. A utilização de modelos com base matemática mostrou-se eficiente ao longo dos anos. Destaca-se o método de Thiessen (1911), que calcula a partir da relação de área de influência de um posto pluviométrico, a precipitação média do posto e a área total da bacia hidrográfica para calcular a precipitação média do todo.

A abordagem do método durante o processo de qualificação, junto da utilização de métodos atuais, como na utilização dos sistemas de informações geográficas (SIG) e outras ferramentas virtuais, torna o processo de análise matemática local algo mais prático, uma vez que há maior precisão e velocidade de disponibilidade de dados nos modelos automáticos que os manuais.

Segundo Almeida e Berger (2007), Modelo Digital de Elevação (MDE), ou o modelo de imagem utilizado no presente trabalho, é uma apresentação digital da variação contínua do relevo em um determinado espaço. Ele é utilizado constantemente em Sistema de Informações Geográficas (SIG) para análises hidrológicas, territoriais, de relevo e em várias outras formas.

Normalmente, o Modelo Digital de Elevação é um mosaico de várias fontes de elevação com vários níveis de precisão, qualidade e resolução (Frank & Rengarajan, 2023). No sensoriamento remoto, sua fonte de dados pode provir de satélites ou VANT's e possui uma resolução variável.

Direcionando a discussão para a hidrologia, visto que a aplicação dos complementos citados será voltada para aplicação nela, vale destacar a importância do conhecimento prévio de declividade. Segundo Garcia et al. (2020), declividade é a inclinação do relevo em relação ao plano horizontal. Tal afirmação aproxima-se dos desafios humanos a partir da percepção de que praticamente tudo depende da capacidade de suporte ou da possibilidade de atividade proporcionada pelo local.

A declividade impacta na movimentação de máquinas, na movimentação de águas, nas florestas, nas formações rochosas e ao longo do tempo, a topografia estudou formas de lidar com tais alternâncias na declividade de locais, proporcionando a atividade antrópica.

Partindo dessa premissa, a aplicação durante o processo de formação é indispensável. Portanto, o objetivo deste trabalho será reafirmar o indeclinável papel do estudo pluviométrico através de um relatório sobre a aula sobre cujo temática foi utilizar o método de Thiessen, isoietas e aritmético com o uso do software QGIS para fazer cálculo de precipitações, porém, no presente estudo, tendo como foco a microbacia localizada na região do Riacho Tapera, no estado do Ceará.

2. METODOLOGIA

2.1 Levantamento, processamento de dados e fisiografia

O trabalho se consiste primeiramente em fazer o levantamento de dados. A fonte de dados geoespaciais será o *United States Geological Survey* (USGS), fornecido através do site "earthexplorer.usgs.gov", em seguida, imagens *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), em formato *non-void* serão baixadas e processadas no software QGIS 3.38.1 para delimitação

da bacia e cálculos fisiográficos com a finalidade de discussão. Também será destacado os 3 postos pluviométricos que estão contidos na região da bacia através de uma consulta de séries temporais dispostas no site da FUNCEME. Os postos utilizados serão os de número 221, 665 e 809, séries temporais inferiores a 30 anos serão interpoladas em prol de comprimir o período de interesse, tornando como alvo de estudo o período de 1993 a 2023.

Serão calculados com base na utilização da calculadora de campo pertencente ao software usado na análise e os valores serão discutidos com base nos trabalhos de Faustino (1996), Cardoso (2006), Villela & Matos (1975), Rodrigues *et al.* (2016), Pereira *et al.* (2019) e a classificação da declividade será baseada nos parâmetros estabelecidos pela EMBRAPA (2013). As equações utilizadas para cálculo de parâmetros fisiográficos se encontram abaixo.

1. $\text{Área}(A)(\text{km}^2) = \frac{\$area}{1000000}$
2. $\text{Perímetro}(km) = \frac{\$perimeter}{1000}$
3. $L(km) = \frac{\$length}{1000}$
4. $\text{Coeficiente de Compacidade}(Kc)(m * m^{-2}) = 0,28 * \frac{\text{Perímetro}}{\text{Área}^{\frac{1}{2}}}$
5. $\text{Fator de forma}(F)(m * m^{-1}) = \frac{L}{A^2}$
6. $\text{Índice de circularidade}(IC) = \frac{12,57 * A}{P^2}$
7. $\text{Densidade de drenagem}(Dd)\left(\frac{km}{km^2}\right) = \frac{Lt}{A}$
8. $\text{Razão de alongação}(Re) = 1,128 * \frac{A^{\frac{1}{2}}}{L}$
9. $\text{Razão de relevo}(Rr)(m * m^{-1}) = \frac{\Delta H}{L}$
10. $\text{Índice de rugosidade}(Ir) = \Delta h * Dd$
11. $\text{Razão média escoamento superficial}(Lm)(km) = \frac{A}{4 * Lt}$
12. $\text{Razão total de textura}(T)(un * km^{-1}) = \frac{Nt}{P}$

Onde as siglas significam:

A: Área (km²); **P:** Perímetro; **L:** comprimento do rio principal; **Kc:** coeficiente de compacidade; **F:** fator de forma; **IC:** índice de circularidade em km; **Dd:** densidade de drenagem em km/km²; **Lt:** comprimento total de todos os rios em km; **Re:** razão de alongação; **Rr:** razão de relevo; **ΔH:** diferença entre a maior e a menor altitude da bacia em km; **Ir:** índice de rugosidade; **Nt:** número total de rios que alimentam a bacia; **Lm:** razão

média de escoamento superficial em Lm por km; **T**: razão de textura.

Os valores pluviométricos e fisiográficos serão processados no Word Excel para aplicação de cálculos, e formação do arquivo ".csv" utilizado no processo de formação das isoietas. Todos os valores serão aplicados em gráficos com a finalidade de comparação de resultados.

2.2 Método Aritmético

O método aritmético se consiste na soma dos valores médios de precipitação dividido pelo número de pontos. Os valores serão tabelados e comparados posteriormente com os demais métodos utilizados. Abaixo se encontra a equação utilizada.

$$P_{\text{médio}} = \frac{P1 + P2 + P3}{n}$$

Onde P representam os valores de precipitação médios anuais de cada posto e n representa o número de postos utilizados para o estudo.

2.3 Método de Thiessen

O método se consiste primeiramente na delimitação dos polígonos de Thiessen, que também são chamados de "Polígonos de Voronoi", que após a utilização, será calculada a área individual de cada polígono. Após a área ser, os valores de precipitação, juntamente com os valores de área de polígono e área total da bacia serão utilizados na aplicação da formula de Thiessen. Abaixo se encontra a equação que será utilizada.

$$P = \frac{\sum P_i * A_i}{A}$$

Onde P_i representa os postos pluviométricos e A_i a área dos polígonos, enquanto A se refere a área total da bacia. Após os valores de cada ano serem calculados, todos os valores serão postulados em gráfico com finalidade de discussão.

2.4 Método de Isoietas

Para a aplicação do método de isoietas, será necessário primeiro ter a bacia delimitada e produzir um arquivo em formato csv contendo as coordenadas dos postos pluviométricos, o número e suas precipitações médias totais. Após o arquivo ser produzido,

ele será introduzido como forma de vetor ponto no QGIS, com a finalidade de delimitar os pontos com suas tabelas de atributos já contendo seus valores pluviométricos, em seguida, será utilizado a função "interpolação IDW" utilizando como referência os valores de precipitação da camada produzida a partir do csv, gerando uma imagem raster sob a área da bacia já demarcando as zonas de influência dos postos pluviométricos.

Após a figura ser delimitada, ela passará por uma mudança de simbologia para a cor azul e em seguida, será utilizado a função "contorno", localizada na aba "raster", para manter apenas as linhas de nível, que serão as isoietas. Após a demarcação, será feito o recorte das linhas mantendo-as apenas sobre a bacia.

Após a delimitação das isoietas, será utilizado a função "poligonize", localizada na caixa de ferramentas, para gerar polígonos a partir das linhas produzidas, que em seguida poderão ter suas áreas calculadas, para por fim, aplicar na equação de isoietas.

Para concluir, será aplicado a equação de isoietas, cujo resultado será a precipitação média, para em seguida, repetir o processo por séries anuais e matematizar através de gráficos os resultados para fins de comparação. A equação utilizada se encontra abaixo:

$$Pm = \frac{\sum(Pi * Ai)}{A}$$

Onde Pm é a precipitação média da bacia, Pi precipitação média entre duas isoietas consecutivas e Ai é a área entre as isoietas consecutivas.

2.5 Análise estatística

As análises comparativas serão feitas com base nas tabelas resultantes da aplicação dos 3 métodos em uma planilha do Excel. Onde serão classificados como significantes resultados com valor-P > 0,5 e F > F crítico, uma vez que ambos são atestados de significância nos resultados e por fim, será feita uma ANOVA de fator duplo sem repetição.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Levantamento, processamento de dados e fisiografia

A caracterização fisiográfica foi feita com base no resultado proporcionado pela aplicação das equações citadas anteriormente. É possível observar os resultados na tabela 1.

Tabela 1 - caracterização fisiográfica da bacia

Área (km ²)	319,800
Perímetro (km)	124,557
Comprimento do rio principal (L)(km)	31,292
Comprimento total de todos os rios (Lt)(km)	53,729
Coefficiente de compacidade (Kc)	0,218111069
Fator de forma (F)	0,326596718
Índice de circularidade (IC)	0,259105992
Densidade de drenagem (Dd)	0,16800813
Razão de alongação (Re)	1,448069559
Razão de relevo (Rr)	0,010865397
Índice de rugosidade (Ir)	0,057122764

Fonte: Autor, 2025.

Faustino (1996), classifica microbacia como bacia cujo a área seja maior que 100 km² e inferior a 700 km². Desta forma, a presente bacia é categorizada como uma microbacia.

O coeficiente de compacidade, consoante à Cardoso (2006), é o valor que relaciona a bacia com uma forma circular, o qual se torna mais próximo de um círculo a medida que se aproxima de 1. A bacia estudada possui um Kc de aproximadamente 0,21, que também quanto mais próximo de 1, mais propenso a enchentes.

O fator de forma (F) encontrado foi de 0,32. F é o valor concebido pela comparação da bacia com uma retangular. Villela & Matos (1975) afirma que menor o fator de forma, menor a tendência a enchentes que outras de mesmo tamanho mas com um fator de forma maior.

Índice de circularidade (IC) faz um comparativo da bacia com uma forma circular mas com destaque ao alongamento da bacia. O IC encontrado foi de 0,2591.

A densidade de drenagem (Dd) explica a velocidade da água na bacia hidrográfica relacionando os canais da bacia. O valor calculado foi 0,16 e quanto mais alto, maior a velocidade que a água se distribui através da região. O valor também é um indicador de eficiência no sistema de drenagem.

Razão de alongação (Re) é a relação entre o diâmetro da área e o comprimento da bacia e no presente estudo se deu por 1,44. Razão de relevo (Rr) indica a declividade média entre a amplitude altimétrica e o comprimento axial, que apontou o valor de 0,01. O índice de rugosidade (Ir) é a combinação da diferença de nível e a densidade de drenagem, onde valores altos apontarão vertentes íngremes e longas, 0,05 significa uma superfície da rede

de drenagem próxima de uniforme. A maior declividade encontrada na bacia foi de 74,5%, entretanto, a maior parcela da bacia se classifica como Suave Ondulado, que segundo EMBRAPA (2013).

A relação dos valores fisiográficos possuem relação direta com a dinâmica da precipitação e da bacia. Uma vez que ela possui regiões povoadas e atividade chuvosa intensa mas com características propensas à enchentes, tanto as atividades locais necessitam de maiores precauções em relação ao excesso de água, como também poderá necessitar de atividades específicas para lidar com a seca ou estiagem.

3.2 Método Aritmético

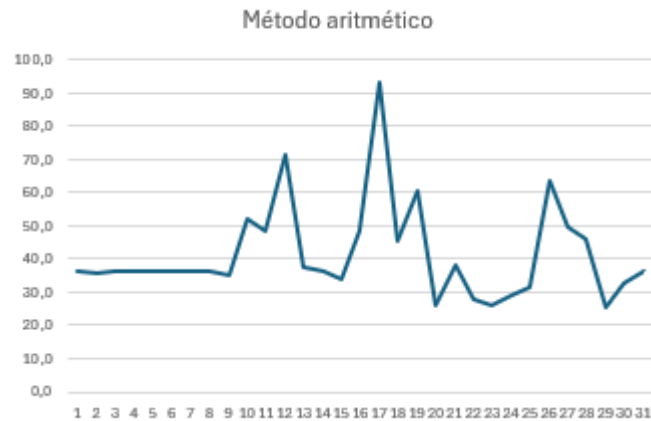
Após a obtenção dos dados e da interpolação para reposição de valores ausentes, todas as médias anuais ao longo de 30 anos foram retiradas, onde anualmente a equação foi aplicada.

O posto 665 se destaca pela baixíssima ocorrência chuvosa, que talvez se deva a más condições de infraestrutura ou problemas no equipamento, o que foi perceptível devido à falta de dados recorrente e alta necessidade de interpolação para complementação de dados. Os valores médios totais para os postos 221, 665 e 809 foram respectivamente 57,1; 18,4 e 48,8 mm/ano.

É importante destacar que o posto com menor tendência gráfica é o que possui o comportamento de maior similaridade entre o posto com maior valor de precipitação, onde a diferença entre a média de ambos seja de 32% apenas, porém, o que possui uma proximidade de 85%, dentro do contexto gráfico, possui a maior diferença comportamental e isso se dá pela constância ao longo de 27 anos, que aproximou a curva gráfica de uma constante, entretanto, entre 2021 e 2023 houve uma tendência de queda na captação da precipitação no posto, o que ocasionou um aumento exponencial do desvio padrão, que em 27 anos seguiu na faixa de 4 e que depois subiu para 9, representando um aumento de aproximadamente 46%.

Os valores máximos nos 3 postos foram respectivamente de 124,4; 106,8 e 62,2. Os valores máximos explicam que há maior intensidade de chuva no posto 665 mas com menor frequência, enquanto há menor intensidade de chuva, porém, maior frequência no posto 809. Abaixo encontra-se na figura 3 o resultado da aplicação final do método aritmético.

Figura 3 – Precipitação média da bacia por método aritmético.



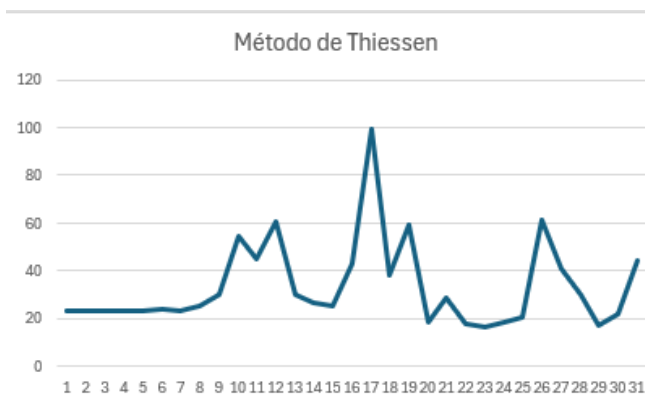
Fonte: Autor, 2025.

3.3 Método de Thiessen

Com a produção dos polígonos de Thiessen, as áreas de influência dos postos 221, 665 e 809 foram respectivamente 74,282; 181,833 e 63,686.

Não foi encontrada uma anormalidade nos resultados da aplicação do método de Thiessen. O valor máximo em 30 anos foi de 99,23 mm no ano de 2009, enquanto o valor mínimo foi de 16,70 e ocorreu no ano de 2015. Há um desvio padrão de aproximadamente 18 mm, que pode ser explicado pela tendência gráfica de saltos em duplas anuais, ou por exemplo, em 2002 e 2004, para depois se repetir o padrão em 2009 e 2011. Abaixo encontra-se na figura 4 o gráfico representativo da precipitação média encontrada.

Figura 4 – Precipitação média da bacia por método de Thiessen.



Fonte: Autor, 2025.

3.4 Método de Isoietas

O método resultou nos valores médios pluviométricos de cada ano na bacia, uma vez que a interpolação IDW gera um mapa de distribuição com base nos valores de pluviometria, sendo mais escuro onde possuir maior precipitação e mais claro onde houver menor. Nas propriedades da camada raster em "informação", se encontra em "STATISTICS_MEAN" a precipitação média da bacia, que dentro do contexto no qual ela foi produzida com os valores de cada ano, representa consequentemente a precipitação anual. Foram produzidas um total de 30 camadas onde cada valor levantado foi postulado em um arquivo no excel, para em seguida ser levantado graficamente os valores.

A forma gráfica dos valores por fim, se assimilou aos resultados encontrados nos demais métodos, como será mostrado na figura 5.

Figura 5 – Precipitação média por método de isoietas.



Fonte: Autor, 2025.

Devido a relação entre os gráficos, para fins de discussão, serão levantados análises estatísticas.

3.5 Análise estatística

Há possibilidade de que as características fisiográfica da bacia proporcione tal modelagem gráfica nos métodos, entretanto, vale também destacar que no presente caso, há possibilidade de especificamente no local os métodos empregados serem pertinentes.

Após aplicar os valores dos 3 métodos em uma análise de correlação, proporcionada pelo Excel resultou 0,98, que foi empregado individualmente por pares nas 3 variáveis.

Quando aplicado o método ANOVA, que seria o mais indicado para analisar as 3 colunas resultantes ao mesmo tempo, encontrou um F crítico de 3,09, e um valor-P de 0,083 . A variância entre os grupos foi de 22,96, que significa que se tratam de resultados significativos, uma vez que a variância é superior ou igual ao F crítico.

Como resultado da Anova de fator duplo e sem repetição, a tabela abaixo expõe os resultados tendo como base linhas e colunas.

Tabela 2 – Resultado análise estatística

Ano	Contagem	Soma	Média	Variância
1993	3	84,77327	28,25776	115,9414
1994	3	84,56998	28,18999	115,3796
1995	3	84,78677	28,26226	115,8794
1996	3	84,94216	28,31405	116,161
1997	3	85,14302	28,38101	116,7064
1998	3	86,03317	28,67772	119,2361
1999	3	85,14302	28,38101	116,7064
2000	3	86,38061	28,79354	114,0673
2001	3	86,67677	28,89226	93,15024
2002	3	134,9736	44,99121	174,8417
2003	3	121,7941	40,59803	166,4616
2004	3	175,5298	58,50992	373,4199
2005	3	91,63877	30,54626	110,8262
2006	3	87,69452	29,23151	111,8917
2007	3	80,98188	26,99396	93,54177
2008	3	120,5428	40,18092	170,2484
2009	3	241,7576	80,58588	535,447
2010	3	111,458	37,15266	152,4083
2011	3	154,0146	51,33819	245,5542
2012	3	61,81214	20,60405	58,41825
2013	3	92,19436	30,73145	119,8569
2014	3	65,76511	21,9217	71,59826
2015	3	61,46909	20,4897	62,58251
2016	3	67,75447	22,58482	74,68416
2017	3	73,76172	24,58724	86,7455
2018	3	161,6344	53,87814	276,3481
2019	3	122,4416	40,81387	191,6379
2020	3	108,6082	36,20272	188,133
2021	3	57,87907	19,29302	50,48671

2022	3	74,73468	24,91156	82,89693
2023	3	99,50331	33,16777	87,3709
Métodos				
Aritmético	31	1284,971	41,45066	213,6012
Thiessen	31	634,5932	20,47075	84,46273
Isoietas	31	1216,829	39,25254	240,2919

Fonte: Autor, 2025.

Assim como nos valores encontrados nas demais análises, os índices de significâncias foram atendidos.

4. CONCLUSÃO

Os métodos proporcionaram valores próximos, cujo discrepâncias podem ser explicadas por características locais. Em razão das características propensas a não enchentes, bem como a baixa intensidade de chuvas, a região possui pouca possibilidade de enchentes. A respeito dos métodos empregados, houve uma similaridade gráfica entre os três métodos, embora numericamente e individualmente os resultados se distanciem. Devido à declividade majoritariamente pouco ondulada ou plana, baixos índices indicativos de enchentes ou de eficiência distributiva da água na bacia, os resultados apontam uma região intermitente e com alta capacidade de perda. Estudos voltados para uso e ocupação de solo faz-se necessário em prol de encontrar potencial de evapotranspiração ou outras formas de perda de água em prol de melhor compreensão do comportamento da bacia.

5. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. M. T. D. (2022). **Contextualizando o ensino de geografia: um mergulho no ciclo hidrológico**. (Trabalho de conclusão de curso em Geografia), Unidade acadêmica de geografia, Universidade Federal de Campina Grande, Cajazeiras, Pernambuco, 2022.

ALMEIDA, A. Q. de.; BERGER, B. Comparação entre áreas de preservação permanente demarcadas a partir de diferentes escalas topográficas. In: MORAIS, A. C. de.; SANTOS, A. R. dos. (Org.) Geomática e análise ambiental: aplicações práticas. Vitória: EDUFES, 2007.

cap. 1, p.19-39.

ANDRADE, N. L. R.; XAVIER, F. V.; FREITAS ALVES, É. C. R.; SILVEIRA, A.; & DE OLIVEIRA, C. U. R. (2008). Caracterização morfométrica e pluviométrica da bacia do Rio Manso-MT. **Geosciences= Geociências**, 27(2), 237-248.

ARAI, F.K. 2010. **Caracterização da Disponibilidade Hídrica na Bacia Hidrográfica do Ivinhe-ma, MS**. Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dissertação de Mestrado.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; & MARTINS, S. V. (2006). Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista árvore**, 30, 241-248.

CHOW, VEN T; DAVID R. MAIDMENT; AND LARRY W. MAYS. 1988. **Applied Hydrology**. McGraw-Hill.

DIODATO, J. O.; GALBETTI, T. A. S.; GALBETTI, M. V.; OLIVEIRA RIBEIRO, V.; & DANTE, M. (2022). Comparação dos métodos da Média Aritmética, dos Polígonos de Thiessen e do IPD na avaliação espacial de dados pluviométricos. **Revista EIA**, 19(37), 37002-pp.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2013. 306 p.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. Turrialba: CATIE, 1996. 90p.

FRANKS, S.; & RENGARAJAN, R. (2023). Evaluation of Copernicus DEM and Comparison to the DEM Used for Landsat Collection-2 Processing. **Remote Sensing**, 15(10), 2509.

GARCIA, Y. M.; CAMPOS, S.; TAGLIARINI, F. S. N.; CAMPOS, M.; & RODRIGUES, B. T. (2020). Declividade e potencial para mecanização agrícola da bacia hidrográfica do ribeirão pederneiras-pederneiras/sp. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, 14(1), 62-72.

MARCIANO, A. G.; BARBOSA, A. A.; & SILVA, A. P. M. (2018). Cálculo de precipitação média utilizando método de Thiessen e as linhas de cumeada. **Revista Ambiente & Água**, 13(1), e1906.

PEREIRA, L. C. F.; BRITO, G. H. M.; VESPUCCI, I. L.; & JOSÀ, I. (2019). Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio dos Patos, GO. **Ipê Agronomic Journal**, 3(1), 4-13.

RODRIGUES, R. S. S.; FERNANDES, L. L.; CRISPIM, D. L.; DE ABREU VIEIRA, A. S.; & PESSOA, F. C. L. (2016). Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do igarapé da Prata, Capitão Poço, Pará, Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 11(3), 143-150.

SILVEIRA, A.L. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica**. In: TUCCI, C.E.M. (Org.), Hidrologia: ciência e aplicação. São Paulo: Ed. UFRGS, p. 35-51, 2001.

THIESSEN, A. H., 1911. Precipitation averages for large areas. **Monthly weather review**, 39(7), 1082-1089.

VANELLI, F. M. (2023). **Contribuições da socio-hidrologia na redução de riscos e desastres associados a perigos naturais** 145 f.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

CAPÍTULO XII

ANÁLISE DA DUREZA DE UM AÇO ESTRUTURAL CA SUBMERTIDO A TRATAMENTOS TÉRMICOS

**Yury Yashyn Fonseca Lopes Leite
Dorivane Cohen Farias
Gabriel Henrique Gomes de Souza
Lourival Alves de Souza Neto
Vitória Araújo Castro
Otávio Fernandes Lima da Rocha
João Lobo Peralta**

DOI: 10.5281/zenodo.17306804

1. INTRODUÇÃO

Entre os materiais metálicos, o aço apresenta diversas aplicações para uma variedade de áreas e segmentos da indústria, com destaque a construção civil, naval e confecção de ferramentas e maquinários etc. (Nunes, 2020). No que se refere a indústria da construção civil, encontram-se os aços aplicados para projetos de concreto armado, que podem ser classificados levando em consideração o valor da resistência de escoamento do aço à tração, sendo divididos em: CA-25, CA-32, CA-40, CA-50 e CA-60 (Andrade *et al.* 2023). O termo CA significa concreto armado, enquanto os números subsequentes são os valores correspondentes às tensões de escoamento da barra ou fio, ou seja, 50 kgf/mm² ou 500 MPa

para o CA-50, 25 kgf/mm² ou 250 MPa para o CA-25, e 60 kgf/mm² ou 600 MPa para o CA-60. A tensão limite de resistência à tração (σ_{LRT}) pode ser obtida multiplicando esses valores por 1,2, 1,08 e 1,05, respectivamente. As categorias CA-32 e CA-40 não se encontram mais normatizadas no Brasil segundo a ABNT NBR 7480 (ABNT, 2019).

Os aços nas categorias CA-25 e CA-50 são fabricados em formas de barras laminadas a quente e a categoria CA-60 em forma de fios trefilados. As barras CA-25 devem ter superfície obrigatoriamente lisas, desprovidas de nervuras ou entalhes, enquanto as da categoria CA-50 são obrigatoriamente providas de nervuras transversais e oblíquas. Os fios podem ser lisos, ou nervurados ou entalhado com diâmetros igual a 10 mm (ABNT, 2024). O vergalhão é o produto mais fornecido a empreiteiras e construtoras, possuindo diversas características. Há relatos na literatura que os aços para concreto armado utilizados no Brasil é um material com teor de carbono entre 0,4% e 0,6% aproximadamente, podendo ser classificados como barras ou fios, com as barras sendo produzido exclusivamente por laminação a quente, e seu diâmetro varia entre 6,3 mm e 40 mm, os fios são obtidos por laminação a frio ou trefilação, e seu diâmetro pode variar entre 2,4 mm e 10 mm (Nicodemos, 2022).

À medida que a sociedade continua a crescer, a necessidade de inovação tecnológica aumenta, e devido a isso, o estudo dos aços é fundamental para o seu desenvolvimento, com o objetivo de melhorar a sua qualidade e propriedades. Entre os métodos, o uso dos tratamentos térmicos permite aprimorar as propriedades do aço, tornando mais ou menos dúctil, tenaz, resistente e frágil, aumentando a sua utilização (Nunes, 2020). Isso se deve ao controle de diversos parâmetros envolvidos, como a temperatura, tempo, velocidade de resfriamento e até a atmosfera, acarretando um rearranjo cristalino que altera os microconstituintes encontrados no material (Anastácio, 2020). Dentre os tratamentos térmicos aplicados aos aços, destacam-se os mais comuns: têmpera, revenimento, normalização e recozimento (Santos, 2021). Para um melhor entendimento desse processo, é necessário o conhecimento de certos aspectos, como o diagrama de fases Fe-C, que mostra as fases e microconstituintes existente no aço, os diagramas de Transformação de Resfriamento Contínuo e Transformação-Tempo-Temperatura, que permite identificar as fases que o material pode adquirir depois do processo e como o meio de resfriamento influenciar na microestrutura resultante (Santos, 2021; Souza, 2021).

Existem métodos com o objetivo de avaliar as propriedades do aço após o processo de tratamento térmico, entre os ensaios mais utilizados está a dureza, sendo os principais

ensaios na escala Brinell, Rockwell e Vickers. Garcia, Spim e Santos (2015) relataram a existência de correlações que permitem converter dureza em tensão, tal como a relação experimental entre o limite de resistência à tração (σ_{LRT}) e dureza Brinell (HB) representada pela expressão matemática da Equação (1), aplicada para dureza até 380 HB (Garcia, Spim e Santos, 2015).

$$\sigma_{LRT} = \alpha \times HB \quad (1)$$

onde α é uma constante experimental que depende do material, sendo igual a 3,6 aço carbono e 3,4 para aço carbono tratado termicamente.

A dureza Brinell das fases ou microconstituintes para aços-carbono pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Relação entre fases e microconstituintes e dureza Brinell para aço-carbono.

Fases e Microconstituintes	Dureza Brinell (HB)
Ferrita	80
Perlita Grosseira	240
Perlita fina	380
Martensita 0,4%C	595
Martensita 0,8%C	735

Fonte: Garcia, Spim e Santos (2015).

Considerando o exposto, o objetivo desse trabalho foi realizar um estudo para avaliar a dureza de um aço estrutural para concreto armado (ST) sob diferentes condições de TT. Importante destacar que os resultados apresentados na presente investigação foram obtidos durante as práticas realizadas na disciplina Tratamento Térmico I do curso de Engenharia de Materiais do IFPA-Campus Belém.

2. METODOLOGIA

2.1 Preparação das amostras e tratamento térmico

Primeiramente, foi feito um corte no vergalhão (Figura 1) de aço CA desconhecido, visando preparar 4 corpos de provas (CPs) com 12,5 mm de diâmetro e 10 mm de espessura. Por sua vez, os CPs foram marcados, de forma a determinar o tipo de tratamento térmico que fora utilizado, sendo: sem tratamento (ST), recozimento (R), normalização (N) e têmpera (T). Os CPs foram tratados termicamente em um forno tipo Mufla a 900 °C/30 minutos. A referida

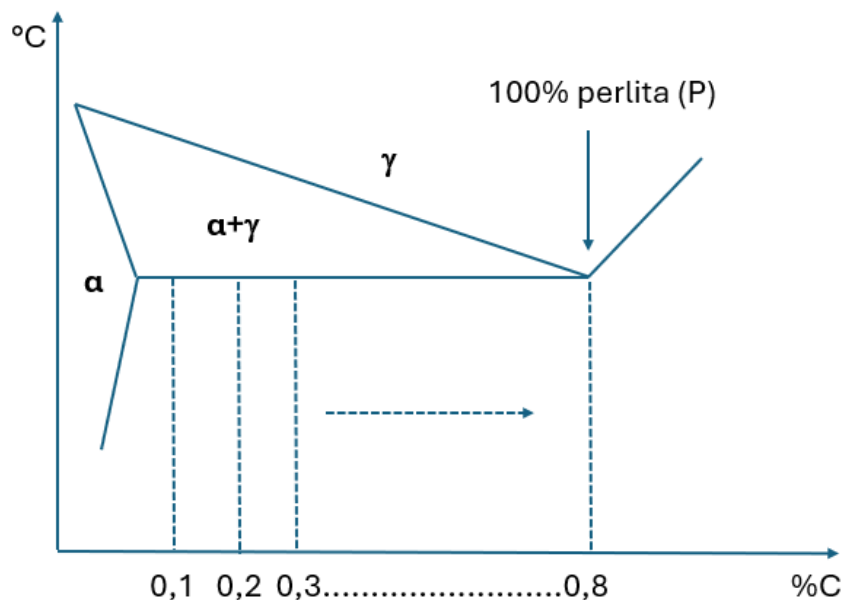
temperatura foi definida após análise da dureza HRB na condição ST, cujo valor foi convertido para HB e correlacionado matematicamente com os valores estimados pelas frações das fases calculadas pela regra da alavanca, usando o diagrama Fe-C, tal como mostrado no esquema da Figura 2.

Figura 1 – Registro do vergalhão do aço CA investigado.



Fonte: Autor (2025).

Figura 2 – Representação esquemática do cálculo das frações das fases do aço CA.



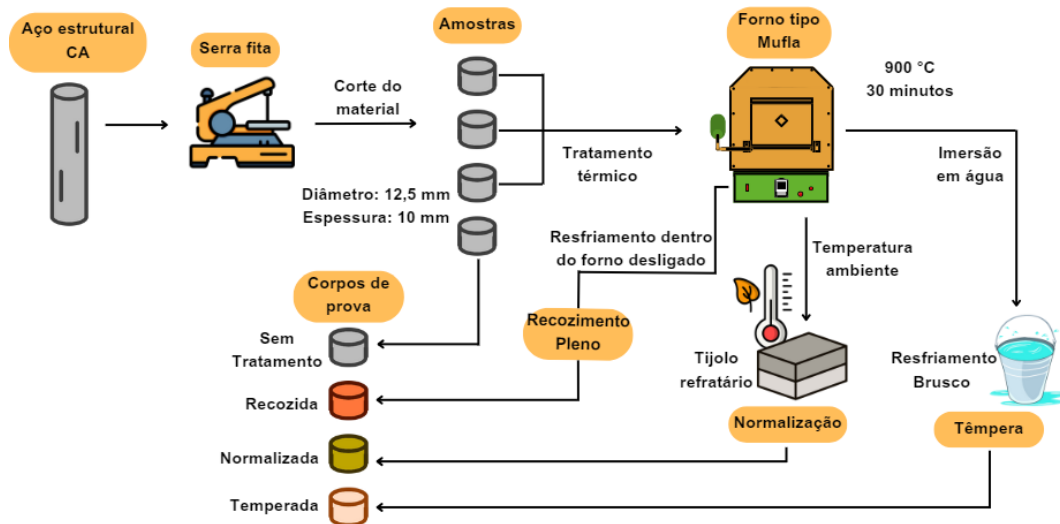
$$\%P = \frac{\%C}{0,8\%} \cdot 100\% \quad (2)$$

$$HB_{(aço)} = \%α \cdot HB_α + \%P \cdot HB_P \quad (3)$$

Fonte: Adaptado de Garcia, Spim e Santos (2015).

O fluxograma mostrado esquematicamente na Figura 3 representa de forma clara e detalhada as etapas experimentais percorridas no presente estudo.

Figura 3 - Fluxograma mostrando as etapas experimentais assumidas no presente trabalho.



Fonte: Fluxograma produzido no programa Canva.

2.2 Ensaio de dureza e conversão

Os CPs foram lixados com auxílio de lixas com granulometria de 80 até 1200 mesh, com o objetivo de manter uma superfície do material nivelada, limpa e completamente plana para o ensaio. Após isso, foi realizado o ensaio de dureza Rockwell nas faces selecionadas desses CPs, utilizando o durômetro Hardness Tester TH300 da marca TIME, onde, seguindo a literatura especializada e a norma ABNT NBR 6508-1 (ABNT, 2019), utilizou-se a escala de dureza Rockwell B (HRB) para as amostras ST, R e N, e a escala de dureza Rockwell C (HRC) para a amostra T.

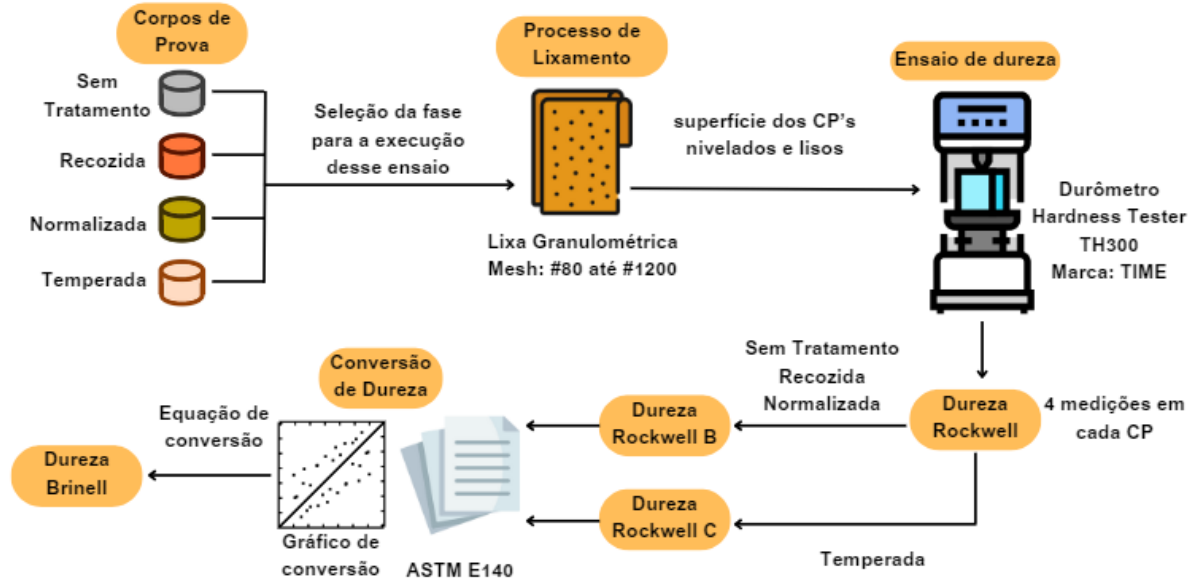
Seguindo a metodologia demonstrada por Pontes *et al.* (2024), desenvolveu-se neste trabalho um gráfico de conversão das durezas Rockwell B e C em Brinell (HB), utilizando os dados da tabela de equivalência de durezas, descrita na norma ASTM E140-12b (ASTM, 2019). Em seguida, foi gerada uma equação polinomial de terceiro grau, colocando a dureza HB em função da dureza HRB e da dureza HRC. O motivo se deve a escala de dureza Rockwell B possuir valores que não podem ser convertidos para dureza Rockwell C, e vice-versa. Na Tabela 2 são mostrados os valores das durezas medidas, e a Figura 4 apresenta um fluxograma detalhado do ensaio realizado.

Tabela 2 – Dureza medidas das amostras ensaiadas.

Corpo de prova	Ensaio de dureza	Valores de dureza
Sem tratamento	HRB	96,767 ± 0,208
Recozimento	HRB	91,333 ± 1,62
Normalizado	HRB	99,733 ± 0,451
Têmpera	HRC	62,467 ± 0,115

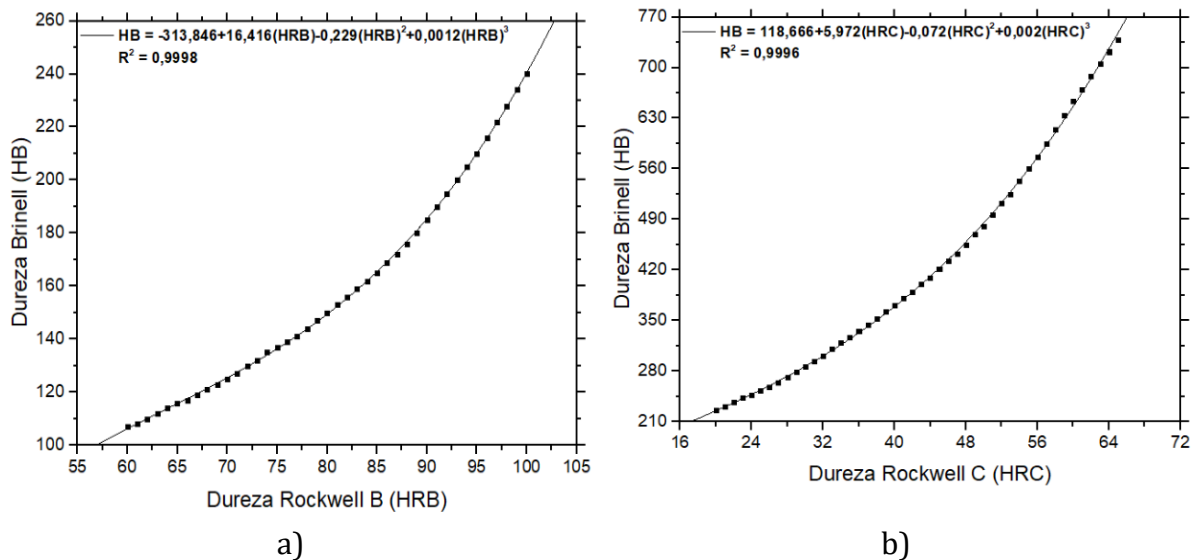
Fonte: Autoria Própria.

Figura 4 – Fluxograma do ensaio de dureza Rockwell.



Fonte: Fluxograma produzido no programa Canva

Figura 5 – Gráficos e equações polinomiais de conversão de dureza: a) HRB para HB; b) HRC para HB.

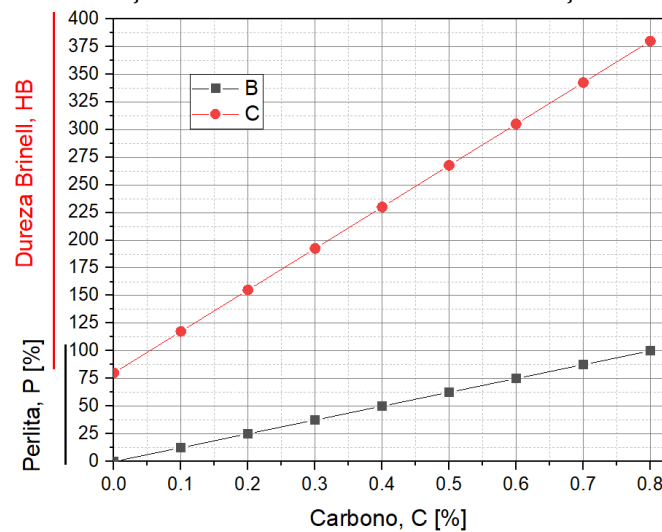


Fonte: Autoria Própria.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 6 apresenta uma simulação dos valores para o microconstituente perlita (%P) e dureza Brinell (HB) para vários aços hipoeutetóides em função do teor de carbono (%C), obtidos por meio da técnica apresentada na Figura 2, aplicando as Equações (2) e (3), respectivamente. Os valores das durezas das fases e microconstituíntes foram os sugeridos na Tabela 1, iguais a 80 e 380 HB para a ferrita e perlita, respectivamente.

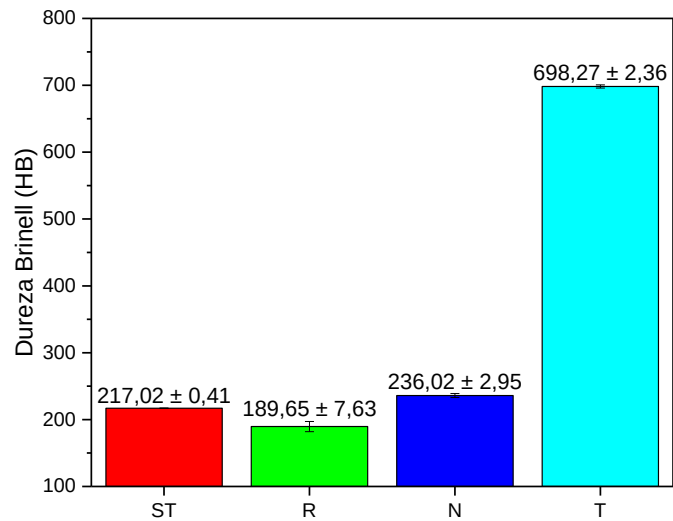
Figura 6 – Simulação dos valores de HB e Perlita em função do teor de C.



Fonte: Autoria Própria.

A Figura 7 mostra os resultados das médias das durezas e desvio padrão para cada CP convertidos para HB. Como observado, a dureza alcançada foi maior e bem mais elevada para os tratamentos térmicos de normalização e têmpera, respectivamente. O valor encontrado de HB ($\cong 217$) para a amostra ST sugeriu a partir de uma análise comparativa com os resultados da Figura 6 que o aço CA estudado pode conter um teor de carbono variando entre 0,3 e 0,4%C, o que permitiu adotar um valor médio de 0.35%C e, conseqüentemente, a temperatura de 900 °C para todos os tratamentos térmicos, garantindo desta forma completa austenitização das amostras durante o experimento.

Figura 7 – Resultado das durezas Brinell para os CPs ensaiados.



Fonte: Autoria Própria.

Um estudo mostrou por meio de uma análise química experimental quantitativa e qualitativa a composição química para barras de aços CA-25, CA-50 e CA-60 com teores de carbono iguais a 0,12, 0,26 e 0,12%C, respectivamente (Beltrami, 2016). O valor 0,26%C foi bem próximo aos teores observados na composição química do estudo desenvolvido para um aço CA-50 produzido nas usinas integradas (0,22 a 0,27%C) e semi-integradas (0,18 a 0,22%C) (Melo, 2024)

Os teores de carbono apresentados pelos referidos estudos foram inferiores ao sugerido no presente trabalho, porém muito próximo da quantidade de carbono indicado no estudo que analisou a microestrutura e propriedades mecânicas do vergalhão CA-50 em diferentes estados de tratamento térmico, o qual estimou teor de carbono na faixa entre 0,36 e 0,42% por meio de análise de imagem usando IMAGE J, mostrando que foi possível perceber que o aço CA-50 investigado pelo autores não apresentou o percentual que normalmente é proposto na literatura de 0,26%C (Feitosa *et al.*, 2016). Por outro lado, segundo o autor, o aço CA-50 foi temperado sem grandes dificuldades, assim como o aço estudado neste trabalho. É muito bem conhecido que maiores teores de carbono melhoram a temperabilidade dos aços carbono, tornando mais fácil a formação da martensita em grande profundidade, quando resfriados rapidamente. Isso pode ser comprovado pelo valor da dureza $\cong 698\text{HB}$ alcançada para a amostra temperada no presente trabalho.

Ao analisar a Figura 7, notou-se uma ligeira diminuição da dureza da amostra sem o tratamento térmico ($\cong 217\text{ HB}$) para a recozida ($\cong 189\text{ HB}$) possivelmente foi devido ao amolecimento que ocorreu com o tratamento térmico de recozimento, tendo em vista que o aço CA pode ter sido submetido ao processo de laminação a quente, cuja microestrutura

resulta em perlita refinada.

Importante destacar que os resultados obtidos estão de acordo com o esperado na literatura (Silva, 2021; Anastácio, 2020), ou seja, notou-se que a amostra temperada obteve o melhor resultado da dureza ($\cong 698$ HB). Isso se deve à estrutura martensítica gerada após a têmpera (Silva, 2021), tendo em vista que o valor encontrado se encontra entre os valores sugeridos na Tabela 1 (595 a 735 HB) para a fase martensita para um aço com C variando de 0,4 a 0,6%C. Ressalta-se que o processo de têmpera consiste no aquecimento para transformar a ferrita e perlita em austenita, e depois resfriá-lo bruscamente, utilizando como meio de resfriamento a água, óleo ou salmoura (dependendo da temperabilidade do aço), transformando a austenita em martensita (Santos (2021; Jocas *et al.* 2024).

O CP recozido apresentou menor dureza em relação aos outros tratamentos térmicos, devido à provável formação de uma microestrutura constituída de ferrita pró-eutetóide (α_P) e perlita (P) com espaçamento maior entre suas lamelas (perlita grossa) (Anastácio, 2020), formada pela transformação da fase austenita via processo com baixa taxa de difusão. A redução dessa dureza pode melhorar a usinabilidade e facilitar o trabalho a frio do aço, como também, atingir a microestrutura ou propriedades desejadas (Gallina *et al.*; 2022).

O CP normalizado apresentou uma dureza maior em comparação aos CPs sem tratamento e recozido, porém menor que a dureza da amostra tratada por têmpera. Esse resultado decorre da sua microestrutura apresentada, sendo similar ao obtido pelo processo de recozimento pleno, mas, de acordo com Jocas *et al.* (2024), devido ao resfriamento ser realizado no ambiente externo, os grãos são reduzidos, formando uma microestrutura uniforme e bem distribuída, onde sua microestrutura, embora similar à recozida (α_P+P), apresenta espaçamentos menores entre as lamelas de ferrita ou cementita, ou seja, perlita fina e, conseqüentemente, em uma dureza maior. Nesse tratamento, busca-se a homogeneização da microestrutura ao aquecer o aço a uma temperatura acima da zona crítica e resfriá-lo ao ar, e o foco principal está na microestrutura do material, e não nas propriedades mecânicas (Nunes, 2020; Belê, 2019).

4. CONCLUSÃO

Os resultados experimentais alcançados pelos diferentes tratamentos térmicos aplicados em um aço estrutural permitiram propor as seguintes maiores conclusões:

1. Constatou-se a grande influência dos tratamentos térmicos na dureza das amostras

ensaiadas sob as condições assumidas (900 °C a 30 min).

2. Verificou-se a diminuição da dureza com o recozimento aplicado na amostra ST, devido ao amolecimento que ocorre em amostras que foram fabricadas por laminação a quente.
3. Como esperado, constatou-se que a amostra temperada apresentou maior dureza em relação as demais que foram submetidas aos tratamentos térmicos de normalização e recozimento.
4. O valor da dureza $\cong 217\text{HB}$ obtido para a amostra ST bem como o estudo comparativo conduzido com resultados da literatura, permitiram sugerir que o aço CA estudado no presente trabalho tem um teor de carbono variando entre 0,3 e 0,4%C. Isso, combinado com as características intrínsecas do vergalhão como encontrado, tem permitido também indicar que o aço investigado no presente trabalho se enquadra à categoria CA-50.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E140-12b**: Standard Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, and Scleroscope Hardness. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2019.

ANASTÁCIO, A. P. **Influência dos diferentes tratamentos térmicos a 900 °C nas Variações microestruturais produzidas no aço SAE 4320**. 2020. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Fortaleza, 2020. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/55685>. Acesso em: 17 Jan. 2025.

ANDRADE, M. S. *et al.* Evolução dos critérios de projeto de pontes de concreto armado a partir da normatização brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 64, 2023, Florianópolis. **Anais eletrônicos** [...]. Belém: IBRACON, 2023. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/icobicet2020/258619-evolucao-das-normas-tecnicas-brasileiras-de-projeto-de-pontes-em-concreto-armado>. Acesso em: 20 Jan. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6508-1**: Materiais metálicos – Ensaio de dureza Rockwell – parte 1: Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7480**: Aço destinado às armaduras para estruturas de concreto armado – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

BELÊ, I. R. **Influência da dupla normalização na variação dimensional após processo de cementação e têmpera no aço ETN 22**. 2019. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Materiais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná,

Campus Londrina, Londrina, 2019. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/12222>. Acesso em: 10 Mar. 2025.

BELTRAMI, J. **Estudo de viabilidade de produção de um vergalhão de aço dual-phase com alto teor de silício via termodinâmica computacional**. 2016. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/163461>. Acesso em: 11 Mar. 2025.

FEITOSA, A. L. M. *et al.* Análise da microestrutura e das propriedades mecânicas do vergalhão CA-50 em diferentes estados de tratamento térmico. *In: CONGRESSO ANUAL DA ABM*, 71., 2016, Rio de Janeiro. **Anais eletrônico** [...]. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, 2016, p. 1-11. Disponível em: [10.5151/1516-392X-27949](https://doi.org/10.5151/1516-392X-27949). Acesso em: 11 Mar. 2025.

GALLINA, B. *et al.* Estudo dos efeitos do tratamento térmico nos aços Hardox® 500 e Strenx® 700. *In: ANDRADE, P. L.; RIBEIRO, I. M. (org.). Ciência e engenharia de materiais: princípios e fundamentos em pesquisa*. 1 ed. Guarujá: Editora Científica Digital, 2022, p. 131-142.

GARCIA, A.; SPIM, J. A.; SANTOS, C. A. **Ensaaios dos materiais**. 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015. 365 p.

JOCAS, S. N. *et al.* Avaliação das transformações microestruturais e propriedades eletromagnéticas do aço AISI/SAE 1045 tratado termicamente: Estudo baseado na técnica de correntes parasitas. **Revista Foco**, 17(12), 1-24, 2024. DOI: [10.54751/revistafoco.v17n12-017](https://doi.org/10.54751/revistafoco.v17n12-017).

MELO, A. C. S. **Estudo da influência da composição química do aço CA-50 em suas propriedades mecânicas**. 2024. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alagoas, Unidade Acadêmica Centro de Tecnologia, Maceió, 2024. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/jspui/handle/123456789/15317>. Acesso em: 11 Mar. 2025.

NICODEMOS, J. P. **Caracterização do aço CA-50 disponível no comércio de Jataí-GO**. 2022. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Jataí, 2022. Disponível em: <http://repositorio.ifg.edu.br:8080/handle/prefix/1083>. Acesso em: 05 mar. 2025.

NUNES, W. R. **Caracterização Estrutural e Microestrutural do aço SAE 1045 submetido a tratamento térmico**. 2020. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, Rio Verde, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/1386>. Acesso em: 20 Jan. 2025.

PONTES, I. M. S. *et al.* Efeitos dos parâmetros térmicos e da Concentração de Níquel na dureza de ligas Al-Cu-Ni solidificada unidirecionalmente. **Peer Review**, 6(7), 264-274, 2024. DOI: <https://doi.org/10.53660/prw-2055-3736>.

SANTOS, H. P. **Caracterização microestrutural dos aços 1020, 1045, 5160, 8620 após os determinados tipos de tratamento térmicos de têmpera, revenimento, normalização e recozimento.** 2021. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Fortaleza, 2021. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/60638>. Acesso em: 17 Jan. 2025.

SILVA, A. O. **Influência de diversos tratamento térmicos na microestrutura e dureza do aço 1045.** 2021. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Fortaleza, 2021. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/60636>. Acesso em: 18 Jan. 2025.

SOUZA, Y. R. **Processamento e caracterização estrutural de ligas NiTi com adição de cobre.** 2021. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Materiais) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia e Ciências, Instituto Politécnico, Nova Friburgo, 2021. Disponível em: <http://www.bdt.d.uerj.br/handle/1/17002>. Acesso em 15 Fev. 2025.

CAPÍTULO XIII

ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO POR PET: ESTUDO DA RESISTÊNCIA AO ATAQUE POR SULFATO

**João Pedro Silveira Salustiano
Ana Maria Gonçalves Duarte
Manoel Leandro Araújo e Farias
Arthur Nóbrega de Souza
Hillary de Oliveira Marinho
Leonardo Rodrigues Guedes
John Kennedy Guedes Rodrigues
Valter Ferreira de Souza Neto
Thamires Dantas Guerra**

DOI: 10.5281/zenodo.17306849

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, aliado à intensificação da urbanização e às mudanças nos padrões de produção e consumo, é um dos principais fatores responsáveis pelo aumento na geração de resíduos sólidos (ESMAEILIAN et al., 2018). Esses resíduos impactam a

sustentabilidade em nível global, devido aos danos ambientais e sociais resultantes de seu grande volume e do descarte inadequado (NOGUEIRA; MARTINS; SILVA, 2020).

Atualmente, os materiais plásticos representam uma parcela significativa do lixo doméstico e industrial, devido à sua alta versatilidade, que possibilita seu uso na fabricação de embalagens e diversos outros produtos (ASSIS; SANTOS, 2020). Estimativas apontam que, até 2015, aproximadamente 6.300 milhões de toneladas de plástico foram geradas globalmente, enquanto a taxa de reciclagem alcança apenas 5,9% da demanda (ALMESHAL et al., 2020). Além disso, sua elevada durabilidade é um fator preocupante, pois esses materiais podem levar séculos para se decompor, resultando no acúmulo em aterros sanitários e na poluição ambiental quando descartados inadequadamente (FREITAS et al., 2020).

Entre os plásticos mais amplamente utilizados, destaca-se o polietileno tereftalato (PET) devido às suas excelentes propriedades químicas, físicas e mecânicas, além de sua alta reciclabilidade (PASSATORE, 2013). No Brasil, em 2020, a capacidade de produção de PET atingiu 1 milhão de toneladas por ano, enquanto o potencial de reciclagem foi estimado em 450 mil toneladas, segundo a Associação Brasileira da Indústria do PET (ABIPET, 2021).

Assim como outros materiais plásticos, os resíduos provenientes do descarte inadequado do PET frequentemente recebem destinações insustentáveis (PRATA et al., 2019). Esse cenário impacta especialmente os ecossistemas aquáticos e a qualidade do solo (STONE et al., 2019), além de apresentar uma degradação extremamente lenta na natureza, podendo persistir por mais de mil anos (KOSHTI; MEHTA; SAMARTH, 2018).

Ademais, a indústria da construção civil é um dos setores com maior demanda por recursos naturais, o que gera preocupações quanto à sua sustentabilidade, devido à escassez e ao risco de esgotamento das matérias-primas (LEAL, 2021). No entanto, esse segmento apresenta grande potencial para a incorporação de resíduos provenientes de outros sistemas produtivos, incluindo o PET (ŞİMŞEK; UYGUNOĞLU, 2018).

Diversos estudos abordam a substituição parcial ou total do agregado miúdo pelo PET na produção de concreto e argamassas (OLIVEIRA; GOMES; CASTRO, 2011; VIDALES et al., 2014; BENOSMAN et al., 2017; KOCOT et al., 2021). Essa prática não apenas contribui para a redução do impacto ambiental, como também pode aprimorar certas propriedades dos compósitos (SILVA; BRITO; VEIGA, 2014).

Latroch et al. (2018) apontam que, por ser um agregado leve, o PET possibilita a produção de materiais com menor densidade, reduzindo o peso da estrutura e,

consequentemente, os riscos de danos estruturais e os custos da construção. Além disso, o material melhora o isolamento térmico e apresenta benefícios em termos de durabilidade, como menor penetração de água, maior resistência a ambientes quimicamente agressivos e melhor trabalhabilidade (ALMESHAL et al., 2020; THIAM; FALL, 2021).

Entretanto, algumas limitações dificultam sua aplicação em produtos cimentícios, especialmente devido à perda de desempenho mecânico, com redução da resistência à compressão e à tração na flexão (BADACHE et al., 2018; AOCHAROEM; CHOTICKAI, 2021).

Diante disso, recomenda-se expandir a viabilidade do uso do PET em produtos que demandem menores esforços compressivos e aprimorar suas propriedades mecânicas, visando um destino sustentável para esses resíduos na construção civil.

2. MATERIAIS E METODOLOGIA

2.1 Materiais

Para a execução do estudo foram necessários os seguintes materiais:

- **Cimento:** Foi utilizado o cimento Portland Pozolânico (CPII Z-32) da marca Elizabeth. Esse cimento contém adição de material pozolânico variando de 6% a 14% em massa, proporcionando maior impermeabilidade, melhor desempenho em ambientes agressivos e menor calor de hidratação.
- **Cal:** A cal utilizada foi a cal calcítica hidratada da marca Carbomil, fabricada em Limoeiro do Norte, Ceará. Segundo Farias Filho (2007), essa cal possui o maior teor de hidróxido de cálcio entre as disponíveis na região Nordeste do Brasil. O material é comercializado em sacos de papel “Kraft” com três camadas, contendo 20 kg. Para melhor conservação no laboratório, a cal foi armazenada em sacos plásticos, devidamente lacrados e etiquetados, evitando o processo de hidratação precoce.
- **Areia:** Utilizou-se um agregado miúdo natural, composto por areia quartzosa, proveniente da jazida do leito do Rio Paraíba.
- **PET:** O polímero utilizado foi obtido a partir da reciclagem de garrafas PET,

classificado como plastômero. O PET empregado nos ensaios foi adquirido da Indústria DEPET Reciclagem, localizada no município de Campina Grande, Paraíba.

- **Água:** A água utilizada nos ensaios foi fornecida pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA).

2.1 Procedimentos Metodológicos

Para desenvolvimento deste estudo foram estabelecidas cinco etapas para melhor organização e controle dos procedimentos e obtenção dos objetivos propostos.

1ª Etapa: Coleta e seleção dos materiais: descrição dos materiais e critérios adotados para escolha.

2ª Etapa: Caracterização física: realização de ensaios para determinação das propriedades físicas do cimento, cal, politereftalato de etileno (PET), e agregado miúdo (areia).

3ª Etapa: Determinação das dosagens das argamassas seguindo os traços: 1:1:6 (cimento:cal:areia); 1:2:9 (cimento:cal:areia) e nos percentuais de 5%, 10%, 15%, 20% e 25%, do PET triturado em substituição parcial ao agregado miúdo (areia).

4ª Etapa: Produção de corpos de prova de argamassas nas dimensões de 5 x 10 cm

5ª Etapa: Determinação da resistência ao ataque por sulfato de acordo com a norma NBR 13.583/2014.

2.2.1 Caracterização física

A caracterização física dos materiais foi feita de acordo com as normas apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Ensaios realizados para caracterização física dos materiais

Materiais	Ensaios
Cimento Portland (CP II-Z)	• Massa específica (NBR NM 23/2001); • Massa unitária (NBR NM 45/2006); • Granulometria a laser.
Cal (CH I)	• Massa específica (NBR NM 23/2001); • Massa unitária (NBR NM 45/2006); • Granulometria a laser.
Agregado Miúdo (Areia)	• Massa específica (NBR NM 52/2009); • Massa unitária (NBR NM 45/2006); • Granulometria (NBR NM 248/2003).
Politereftalato de etileno (PET)	• Massa específica (NBR NM 52/2009); • Massa unitária (NBR NM 45/2006); • Granulometria a laser.

Fonte: Adaptado Patrício (2021)

2.2.2 Dosagem da Argamassa

Foram utilizados o traço de argamassa para assentamento e revestimento na proporção de 1:1:6 (cimento:cal:areia) e 1:2:9 (cimento:cal:areia) em massa. Foi analisada uma argamassa de referência sem PET (0%) e amostras contendo 5%, 10%, 15%, 20% e 25% de PET, substituindo o agregado miúdo.

Após a definição das proporções, as medidas de volume foram convertidas em massa (m^3 para kg), considerando a massa unitária de cada material utilizado na formulação da argamassa.

Para a argamassa de referência, a relação entre os materiais segue a Equação 1, em que o volume de cimento é representado por uma unidade, enquanto a cal e a areia correspondem a “a” e “b” unidades de volume, respectivamente. Nos traços contendo PET, conforme a Equação 2, mantém-se “a” unidades de volume de cimento e “b” de cal, enquanto a areia é representada por “c” unidades de volume e o PET por “d” unidades de volume.

$$1 : a : b \quad (\text{Equação 1})$$

$$a : b : c : d \quad (\text{Equação 2})$$

Conforme a NBR NM 45/2006, a massa unitária de um agregado no estado solto é definida como a relação entre a massa do material colocado em um recipiente e o volume desse recipiente. Para simplificar a conversão das medidas de volume para massa, multiplica-se a quantidade em unidades de volume de cada material do traço por sua

respectiva massa unitária. Esse procedimento é detalhado nas Equações 3 e 4.

$$1 \times M_{ucim} : a \times M_{ucal} : b \times M_{uareia} \quad (\text{Equação 3})$$

$$a \times M_{ucim} : b \times M_{ucal} : c \times M_{uareia} : d \times M_{upet} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

M_{ucim} : massa unitária do cimento (g/cm³);

M_{ucal} : massa unitária da cal (g/cm³);

M_{uareia} : massa unitária da areia (g/cm³);

M_{upet} : massa unitária do PET (g/cm³).

Para converter cada unidade de volume em unidade de massa, conforme descrito nas Equações 3 e 4, divide-se os valores obtidos pela massa unitária do cimento. Esse processo garante que os traços de referência sejam ajustados para conter uma unidade de massa de cimento. No caso dos traços com PET, essa divisão também permite que o valor final reflita o percentual de substituição da areia pelo PET. As Equações 5 e 6 ilustram esse procedimento para os traços de referência e os traços contendo PET, respectivamente.

$$\frac{M_{ucim}}{M_{ucim}} \cdot \frac{M_{ucal}}{M_{ucim}} \cdot \frac{M_{uareia}}{M_{ucim}} \quad (\text{Equação 5})$$

$$\frac{M_{ucim}}{M_{ucim}} \cdot \frac{M_{ucal}}{M_{ucim}} \cdot \frac{M_{upet}}{M_{ucim}} \quad (\text{Equação 6})$$

Através destas equações foi obtido os valores dos traços em volume e em massa como pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores obtidos nas dosagens em volume e massa

Traço	PET (%)	Cimento:Cal:Areia:PET (m ³)	Cimento:Cal:Areia:PET (Kg)
1:2:9	0%	1:2:9:0	1:0,73:10,96:0
	5%	1:2:8,55:0,45	1:0,73:10,412:0,548
	10%	1:2:8,10:0,90	1:0,73:9,864:1,096
	15%	1:2:7,65:1,35	1:0,73:9,316:1,644
	20%	1:2:7,20:1,80	1:0,73:8,768:2,192
	25%	1:2:6,75:2,25	1:0,73:8,220:2,740
1:1:6	0%	1:1:6:0	1:0,36:7,30:0
	5%	1:1:5,70:0,30	1:0,36:6,935:0,365
	10%	1:1:5,40:0,60	1:0,36:6,570:0,730
	15%	1:1:5,10:0,90	1:0,36:6,205:1,095
	20%	1:1:4,80:1,20	1:0,36:5,840:1,460
	25%	1:1:4,50:1,50	1:0,36:5,475:1,825

Fonte: Adaptado Patrício (2021)

Após a conversão dos traços para unidade de massa, foi determinado o índice de consistência das argamassas de acordo com os critérios da NBR 13.276/2016, garantindo um espalhamento de $255 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$. Em seguida, foram moldados três corpos de prova para cada percentual de PET na mistura, visando sua utilização no ensaio de durabilidade.

2.2.3 Moldagem dos corpos de prova

Para a preparação das argamassas, os materiais foram homogeneizados em um misturador mecânico com capacidade de 5 litros. Em seguida, os corpos de prova foram moldados em moldes cilíndricos com dimensões de 5 x 10 cm, conforme a NBR 7.215/2019 (ABNT, 2019).

Após o desmolde, os corpos de prova foram identificados e acondicionados em sacos plásticos etiquetados. Posteriormente, foi aplicado o processo de cura úmida, no qual os corpos de prova foram armazenados em tanques e cobertos com areia úmida, garantindo as condições ideais para o processo de hidratação do cimento.

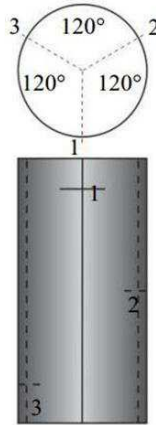
2.2.4 Determinação da Durabilidade - Ensaio de Ataque por Sulfato

Para avaliar a durabilidade, foi realizado o ensaio de ataque por sulfatos em corpos de prova de argamassa, seguindo a metodologia estabelecida pela NBR 13.583/2014 (ABNT, 2014). Essa norma define o método para avaliação da resistência das argamassas à ação de sulfatos.

O período de exposição e a concentração da solução de sulfato de sódio (10%) foram mantidos conforme as recomendações normativas. Corpos de prova cilíndricos de 5 x 10 cm foram moldados, tanto com quanto sem a incorporação de PET. Para cada composição, três corpos de prova foram analisados.

As medições de altura (mm) foram realizadas em três pontos distintos de cada corpo de prova utilizando um paquímetro. A posição das medições foi marcada com tinta permanente no início do ensaio, garantindo que as aferições fossem feitas sempre nos mesmos pontos, conforme ilustrado na Figura 1. Além disso, a massa úmida dos corpos de prova foi registrada a cada leitura das dimensões.

Figura 1 – Localização dos pontos de referência para fazer a medições dos corpos de prova



Fonte: Rezende (2013)

As medições foram realizadas no início do ensaio e repetidas a cada sete dias, durante um período total de seis semanas, correspondendo a 42 dias após a imersão. A expansão individual dos corpos de prova foi calculada utilizando a Equação 7.

$$Eid = \frac{(M_{idade} - M_{inicial})}{M_{inicial}} \times 100$$

Onde:

Eid – Expansão Individual (%);

$M_{inicial}$ – Média das medições iniciais (mm)

M_{idade} – Média das medições na idade correspondente (mm)

A expansão resultante é a diferença entre a expansão dos corpos de prova imersos na solução e nos corpos de prova imersos somente na água.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização física dos materiais

A Tabela 3 apresenta o resultado dos ensaios realizados para a caracterização física dos materiais.

Tabela 3 – Caracterização física

Material	Cimento	Cal	Agregado miúdo	PET
Massa específica	3,15 g/cm ³	2,63 g/cm ³	2,56 g/cm ³	1,45 g/cm ³
Massa unitária	1,15 g/cm ³	0,42 g/cm ³	1,40 g/cm ³	0,54 g/cm ³
Finura	2,84%	-	-	-

Para o cimento os resultados analisados mostraram conformidade com as normas da ABNT. O módulo de finura foi de 2,84%, abaixo do limite de 12% da NBR 11.579 (ABNT, 2012). A massa unitária foi de 1,15 g/cm³, enquanto a massa específica real atingiu 3,15 g/cm³, dentro do intervalo estabelecido pela CIMPOR (2,7 a 3,2 g/cm³). Comparando com os resultados obtidos por Recena (2012), os valores alcançados foram próximos aos padrões esperados para cimento. A granulometria a laser revelou um comportamento modal com diâmetro médio de 11,10 µm, e distribuição granulométrica semelhante à obtida por Souza (2012), confirmando suas características aglomerantes.

Para a Cal, o ensaio de granulometria a laser revelou que a mesma possui uma curva monomodal com ampla distribuição de partículas entre 0,10 µm e 100 µm. O diâmetro médio foi de 5,85 µm, com D10 de 1,49 µm, D50 de 5,10 µm e D90 de 11,12 µm. Além disso, observou-se uma alta concentração de partículas na faixa entre 2 µm e 60 µm.

A análise granulométrica a laser do PET indicou um comportamento monomodal com ampla distribuição de partículas entre 0,10 µm e 100 µm. O diâmetro médio foi de 91,84 µm, com D10 de 14,5 µm, D50 de 67,26 µm e D90 de 206,29 µm, evidenciando uma distribuição heterogênea dos tamanhos de partículas.

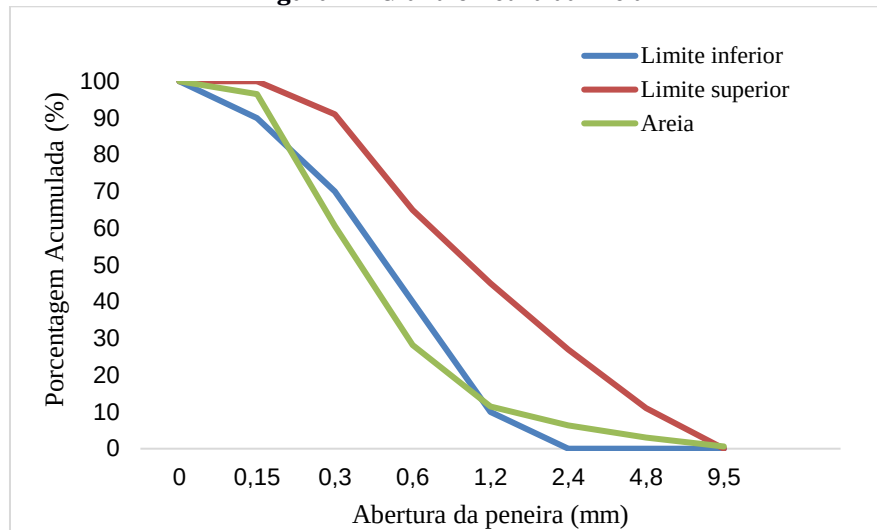
Em relação aos valores obtidos para o agregado miúdo areia, observou-se um comportamento semelhante aos obtidos por Recena (2012), a massa unitária e a massa específica real do agregado miúdo foram de aproximadamente 1,50 g/cm³ e 2,63 g/cm³, respectivamente. Os valores obtidos no estudo são similares aos mencionados pelo autor e estão dentro dos parâmetros adequados para uso.

Complementarmente foi realizado o ensaio de granulometria com o agregado miúdo, o qual o resultado pode ser observado na Tabela 4 e na Figura 2.

Tabela 4 – Valores obtidos da granulometria por peneiramento da areia.

Peneiras(mm)	Material Retido (g)	Material Retido (%)	Retido Acumulado (%)
4,8	0	0	0
2,4	45,22	4,52	4,52
1,2	65,73	6,57	11,09
0,6	208,82	20,88	31,97
0,3	476,28	47,63	79,60
0,15	184,77	18,48	98,08
>0,15	19,18	1,92	100
Módulo de Finura		2,25	
Diâmetro Máximo		2,4mm	

Figura 2 – Granulometria da Areia

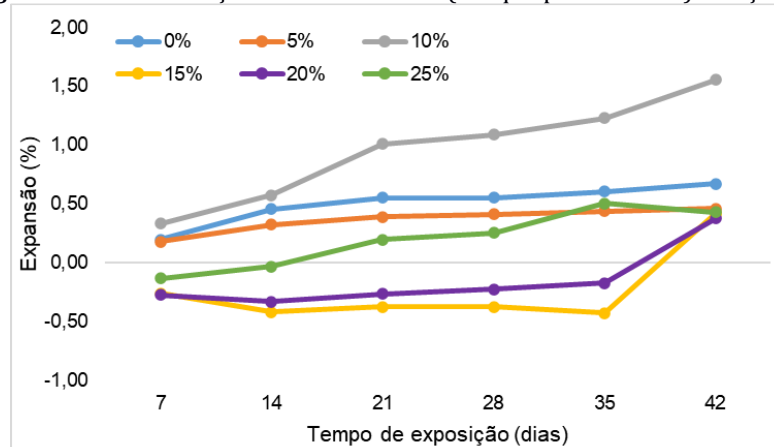


O agregado miúdo analisado apresentou um módulo de finura de 2,25 e um diâmetro máximo característico de 2,4 mm, com a maior parte do material retido nas peneiras de 0,6 mm e 0,3 mm. A curva granulométrica obtida atende aos limites da NBR 7.211/2009, enquadrando-se na zona ótima de utilização (módulo de finura entre 2,20 e 2,90). A areia foi classificada como tipo média e zona 3, sendo bem graduada, sem deficiência ou excesso de partículas de determinados tamanhos, o que melhora a trabalhabilidade da argamassa e reduz a quantidade de vazios entre os grãos. Assim, a areia é adequada para a confecção de argamassas.

4.2 Resistência ao ataque por sulfato

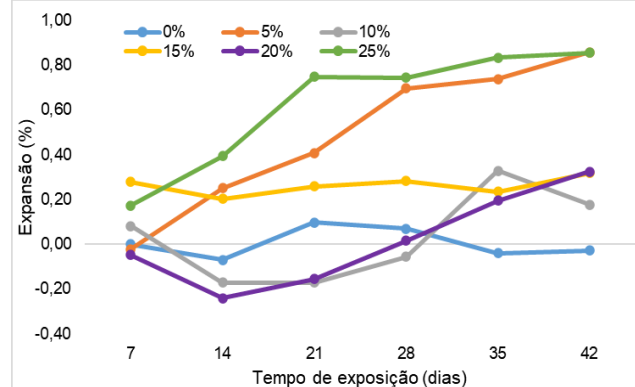
As Figuras 3 e 4 apresentam os resultados dos traços 1:2:9 e 1:1:6 respectivamente, submetidos ao ataque por sulfato:

Figura 3 – Determinação da durabilidade (Ataque por sulfatos) - traço 1:2:9



Para o traço 1:2:9, os valores de expansão aos 42 dias variaram entre 0,38%, correspondente à argamassa com 20% de substituição de PET, e 1,55%, registrado para a mistura contendo 10% de PET. A argamassa de referência (0% de PET) apresentou uma expansão de 0,67%, enquanto as demais registraram valores de 0,46% (5% de PET), 0,42% (15% de PET) e 0,43% (25% de PET).

Figura 4 – Determinação da durabilidade (Ataque por sulfatos) 1:1:6



No traço 1:1:6, a argamassa de referência apresentou uma leve retração de 0,03%. Entre as formulações com PET incorporado, a menor expansão foi observada na mistura com 10% de substituição, atingindo 0,18%. Já os produtos contendo 5%, 15%, 20% e 25% de PET apresentaram expansões de 0,86%, 0,32%, 0,32% e 0,85%, respectivamente.

O ataque por sulfatos ocorre devido à presença de íons dispersos na água, que penetram na argamassa, interagem com os componentes da pasta cimentícia e formam minerais que causam expansão e deterioração (ABU-SALEEM et al., 2021).

Ao avaliar o desempenho das argamassas modificadas com resíduos de PET, observa-se que elas tendem a apresentar maior resistência ao ataque por sulfatos (TANI et al., 2018). No traço 1:2:9, essa afirmação se confirma, uma vez que apenas a argamassa com 10% de PET apresentou expansão superior à da argamassa de referência. No entanto, para o traço 1:1:6, a argamassa de referência foi a que sofreu menores alterações dimensionais.

O coeficiente de resistência à corrosão tende a diminuir com o tempo de exposição ao meio agressivo (TANI et al., 2018). Segundo esses autores, os percentuais ideais de substituição por PET, considerando a durabilidade, variam entre 6% e 17%, valores próximos aos utilizados neste estudo. Por outro lado, Coppola et al. (2018) destacam que teores elevados de agregados artificiais podem aumentar a propensão à desintegração devido à formação da etringita, ao baixo nível de compactação e à menor coesão dos constituintes. Esse fator pode estar diretamente relacionado ao desempenho das argamassas

do traço 1:1:6 observadas no experimento.

Por fim, as argamassas analisadas não demonstraram efetividade significativa contra o ataque por sulfato de sódio, uma vez que os valores obtidos superaram o limite de 0,06% estabelecido pela norma ASTM C 452.

Figura 5 – Variação de massa do traço 1:2:9 submetido ao ataque por sulfato

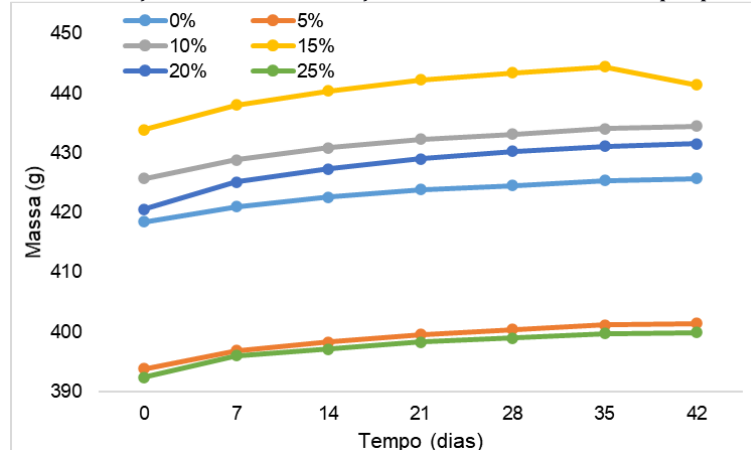
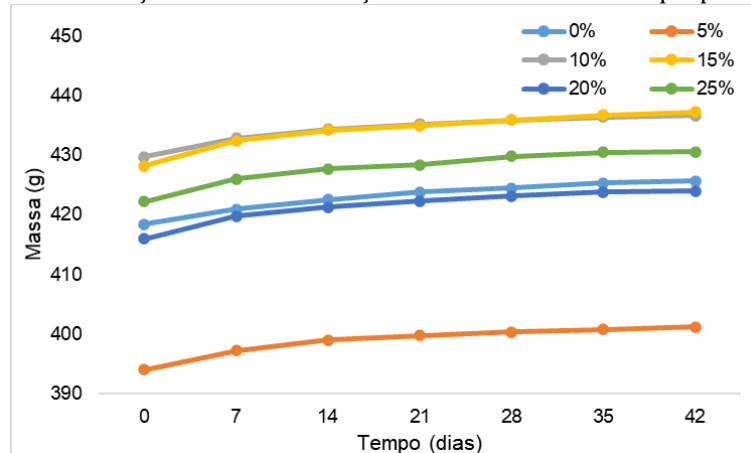


Figura 6 – Variação de massa do traço 1:1:6 submetido ao ataque por sulfato



Para ambos os traços, observou-se um ganho de massa ao longo do período de exposição ao meio ácido em todas as amostras. No traço 1:2:9, os menores ganhos de massa foram registrados nas argamassas com 5% e 25% de PET. A argamassa de referência apresentou um ganho intermediário, enquanto a amostra contendo 15% de PET incorporado exibiu a maior variação inicial, seguida de uma leve perda ao final dos 42 dias.

No traço 1:1:6, a menor variação de massa foi observada na argamassa com 5% de PET, enquanto os maiores ganhos foram registrados nas amostras contendo 10% e 15% de PET. A argamassa de referência apresentou uma variação intermediária em relação às demais composições.

O comportamento progressivo da variação de massa observado neste estudo também foi relatado por outros pesquisadores (BENOSMAN et al., 2017; COPPOLA et al., 2018; ABU-SALEEM et al., 2021). Esse fenômeno pode ser atribuído à saturação dos poros pela solução aquosa, que facilita o sequestro de íons sulfato e, conseqüentemente, a corrosão da argamassa (ABU-SALEEM et al., 2021).

Segundo Benosman et al. (2017), o aumento de massa pode estar relacionado à formação de novos produtos resultantes do processo corrosivo, como gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), etringita ($\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) e taumasita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot \text{CaSiO}_3 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$), que passam a preencher os poros ao longo do tempo de exposição.

Coppola et al. (2018) destacam que argamassas contendo polímeros apresentam menor densidade e, conseqüentemente, poros maiores, o que favorece a formação de etringita. Além disso, afirmam que, em ciclos de análise mais longos do que os adotados neste estudo, o ganho de massa tende a ser seguido por uma perda gradual, indicando a desintegração do material. Esse fator pode explicar a redução de massa observada na argamassa com 15% de PET no traço 1:2:9. No entanto, para uma compreensão mais detalhada desse comportamento, seria necessário ampliar o tempo de execução do experimento.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme resultados obtidos para determinação da durabilidade das argamassas por meio do ensaio de ataque de sulfatos, pode-se inferir que as argamassas desenvolvidas não demonstraram resistência efetiva ao ataque de sulfatos, principalmente devido à expansão observada.

De acordo com Silveira (1996), as resistências da argamassa frente ao ataque por sulfato se devem muito mais pelo fator água/aglomerante.

Para uma análise mais precisa da durabilidade, recomenda-se ampliar o tempo de realização do ensaio, permitindo avaliar a perda de massa dos corpos de prova e compreender melhor o comportamento das argamassas sob essa condição de degradação.

REFERÊNCIAS

ABIPET. RESINA. 2023. Disponível em: <https://abipet.org.br/resina/>. Acesso em: 27 maio

2023.

ABU-SALEEM, Mahmoud; ZHUGE, Yan; HASSANLI, Reza; ELLIS, Mark; RAHMAN, Md Mizanur; LEVETT, Peter. Impact Resistance and Sodium Sulphate Attack Testing of Concrete Incorporating Mixed Types of Recycled Plastic Waste. *Sustainability*, [S.L.], v. 13, n. 17, p. 9521, 24 ago. 2021.

ASSIS, Marcos Wilson Vicente; SANTOS, Taides Tavares. Propriedades químicas, problemas ambientais e reciclagem de plástico: uma revisão de literatura/Chemical properties, environmental problems and plastic recycling: a review. *Jornal Interdisciplinar de Biociências*, v. 5, n. 1, p. 31-37, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM 23/2001: Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

_____. NBR 11.579/2012: Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro: ABNT, 2012

_____. NBR 13.276/2016: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

_____. NBR 13.583/2014: Cimento Portland — Determinação da variação dimensional de barras de argamassa de cimento Portland expostas à solução de sulfato de sódio. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

_____. NBR NM 248/2003: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. NBR NM 45/2006: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

_____. NBR NM 52/2009: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. NBR 7.211/2009: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. NBR 7.215/2019: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ALMESHAL, Ibrahim; TAYEH, Bassam A.; ALYOUSEF, Rayed; ALABDULJABBAR, Hisham; MOHAMED, Abdeliazim Mustafa; ALASKAR, Abdulaziz. Use of recycled plastic as fine aggregate in cementitious composites: a review. *Construction And Building Materials*, [S.L.], v. 253, p. 119146, ago. 2020.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASMT). ASTM C 452: Standard Test Method for Potential Expansion of Portland Cement Mortars Exposed to Sulfate, 2002.

BADACHE, Abdelhak; BENOSMAN, Ahmed Soufiane; SENHADJI, Yassine; MOULI, Mohamed.

Thermo-physical and mechanical characteristics of sand-based lightweight composite mortars with recycled high-density polyethylene (HDPE). *Construction And Building Materials*, [S.L.], v. 163, p. 40-52, fev. 2018.

BENOSMAN, A. S.; TAIBI, H.; SENHADJI, Y.; MOULI, M.; BELBACHIR, M.; BAHLOULI, M.I. Plastic waste particles in mortar composites: sulfate resistance and thermal coefficients. *Progress in Rubber Plastics and Recycling Technology*, v. 33, n. 3, p. 171-202, 2017.

COPPOLA, Bartolomeo; COURARD, Luc; MICHEL, Frédéric; INCARNATO, Loredana; SCARFATO, Paola; MAIO, Luciano di. Hygro-thermal and durability properties of a lightweight mortar made with foamed plastic waste aggregates. *Construction And Building Materials*, [S.L.], v. 170, p. 200-206, maio 2018.

ESMAEILIAN, Behzad; WANG, Ben; LEWIS, Kemper; DUARTE, Fabio; RATTI, Carlo; BEHDAD, Sara. The future of waste management in smart and sustainable cities: a review and concept paper. *Waste Management*, [S.L.], v. 81, p. 177-195, nov. 2018.

FARIAS FILHO, João. Estudo da durabilidade de argamassas alternativas produzidas de resíduos da construção e granito. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande, 2007.

FREITAS, Ingrid Zanuto; SANTOS, Ana Paula; BRANDALISE, Loreni Teresinha; BERTOLINI, Geysler Rogis Flor. Os sacos plásticos na perspectiva da sustentabilidade: uma revisão sistemática. *Revista Metropolitana de Sustentabilidade* (ISSN 2318-3233), v. 10, n. 3, p. 182-203, 2020.

KOSHTI, Rupali; MEHTA, Linchon; SAMARTH, Nikesh. Biological recycling of polyethylene terephthalate: A mini-review. *Journal of Polymers and the Environment*, v. 26, n. 8, p. 3520-3529, 2018.

LEAL, Ailton Pires. RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: uma revisão sobre as possibilidades de aplicação. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, [S.L.], v. 7, n. 6, p. 459-483, 30 jun. 2021

NOGUEIRA, Luciana Íris Amaro; MARTINS, Islane Cristina; SILVA, Georgia Rolim da. A gestão de resíduos sólidos urbanos e o desenvolvimento sustentável: uma revisão. *Environmental Scientiae*, [S.L.], v. 2, n. 1, p. 48-57, 11 jan. 2020.

OLIVEIRA, Luiz A. Pereira; GOMES, João P. CASTRO. Physical and mechanical behaviour of recycled PET fibre reinforced mortar. *Construction and Building Materials*, v. 25, n. 4, p. 1712-1717, 2011.

PASSATORE, Cláudio Roberto. Química dos Polímeros. São Paulo: Centro Paula Souza, 2013

PATRÍCIO, Solange Maria da Rocha. Incorporação de pet triturado em substituição parcial ao agregado miúdo para utilização em argamassas. 2021. 137 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Ctrn, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2021.

PRATA, Joana C.; SILVA, Ana L. Patrício; COSTA, João P.; MOUNEYRAC, Catherine; Walker,

Tony R.; DUARTE, Armando C.; ROCHA-SANTOS, Teresa. Solutions and integrated strategies for the control and mitigation of plastic and microplastic pollution. *International journal of environmental research and public health*, v. 16, n. 13, p. 2411, 2019.

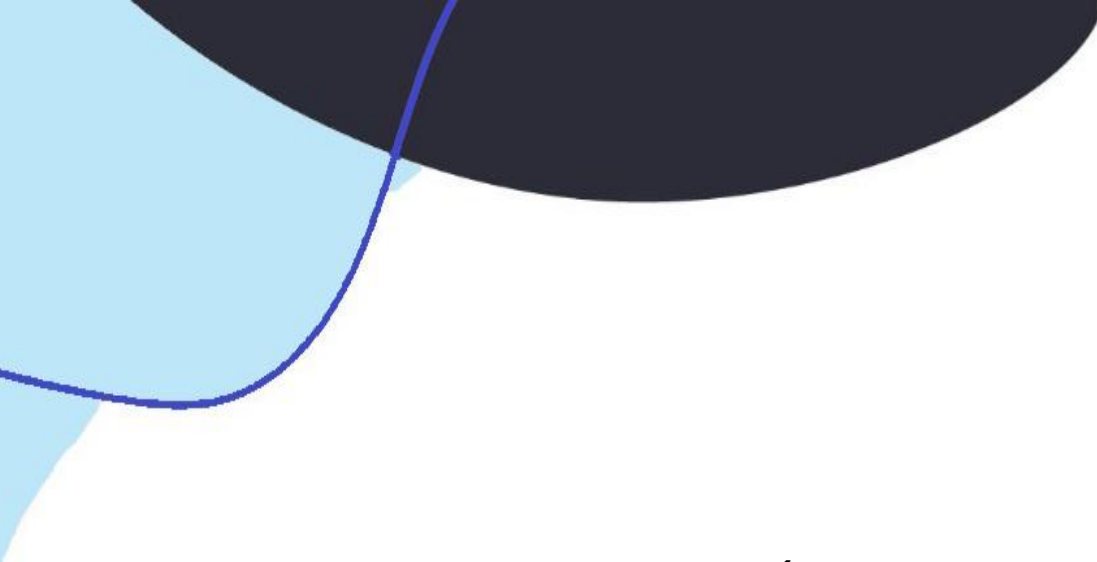
RECENA, Fernando Antônio Piazza. *Conhecendo Argamassa*. 1 Ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2011.

SILVA, Alexandra M.; BRITO, Jorge; VEIGA, Rosário. Incorporation of fine plastic aggregates in rendering mortars. *Construction and Building Materials*, v. 71, p. 226- 236, 2014.

SILVEIRA, Adriana Augustin. *A utilização de cinza de casca de arroz com vistas à durabilidade de concretos: estudo do ataque por sulfatos*. 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

ŞİMŞEK, Bariş; UYGUNOĞLU, Tayfun. Thermal, electrical, mechanical and fluidity properties of polyester-reinforced concrete composites. *Sādhanā*, v. 43, n. 4, p. 57, 2018.

TANI, Nabil Kazi; BENOSMAN, A.s.; SENHADJI, Y.; TAÏBI, H.; MOULI, M.; BELBACHIR, M.. Prediction models of mechanical properties for pet-mortar composite in sodium sulphate aggressive mediums. *Matec Web Of Conferences*, [S.L.], v. 149, p. 01051, 2018.



CAPÍTULO XIV

PRODUÇÃO DE CATALISADORES COM BASE EM ÓXIDO DE NIÓBIO APLICADO NA INDÚSTRIA DO BIODIESEL E TODO O SEU PROCESSO: UMA REVISÃO DE LITERATURA

**Yago Claudionor Fonseca Lopes Leite
Eric Vinícius Valente Belo
Vinícius Tavares Medeiros
Rayza Silva Pereira
Kellem Elizabeth da Silva Ferreira
Rafaela Letícia Campos Dias
Yury Yashyn Fonseca Lopes Leite
Aline Borges de Souza
Patrícia Teresa Souza da Luz
Ramon Kleyton Ferreira**

DOI: 10.5281/zenodo.17306858

1. INTRODUÇÃO

Uma das grandes questões atuais, envolvendo o crescente aumento na demanda da sociedade, está na busca por fontes energéticas alternativas as fontes de combustíveis fósseis

(Carvalho et al., 2020; Moreira et al., 2022; Putla et al., 2024) um recurso não renovável e que causa grandes riscos ao meio ambiente pelo consumo excessivo das indústrias e sociedade (Woemsbecher, 2021) ocasionando na emissão de gases de efeito estufa e material particulado gerados pela queima do combustível (Woemsbecher, 2021; Batalha; da Silva, 2021; Moreira et al., 2022), ainda utilizado pela dependência do combustível de origem fóssil (Machado et al., 2022).

De acordo com Guedes et al (2024) com bases em dados levantados pelos autores, revelou que quase 100% dos produtos químicos produzidos pelas indústrias químicas têm altos impactos ambientais, ultrapassando o limite de segurança e causando alterações no clima. Os autores também pontuam que o cenário gerado pela atuação da indústria promove um grande desafio: implementar processos mais seguros e verdes, sem que comprometa o mercado.

Visando superar essas dificuldades e contornar a problemática, se busca desenvolver processos industriais sustentáveis através de pesquisas de fontes alternativas para a produção de energia renovável com menor emissão de poluentes (Carvalho et al., 2020; Woemsbecher, 2021), substituindo a dependência do petróleo (Batalha; da Silva, 2021), um recurso não renovável (Machado et al., 2022) e favorecendo o crescimento sustentável e a estabilidade do clima (Rozina et al., 2024). Entre as fontes de energia estão os biocombustíveis, um recurso renovável produzido a partir de matéria-prima vegetal, resíduos de animais; micro-organismos ou biomassa, onde são convertidos através de reações diretas ou indiretas (Yani et al., 2021; Batalha; da Silva, 2021).

Entre os biocombustíveis está o biodiesel, um recurso biodegradável que pode ser usado como mistura de diesel de petróleo em processos industriais (Yani et al., 2021; Batalha; da Silva, 2021; Woemsbecher, 2021) ou substituto do mesmo (Machado et al., 2022). O produto é disponível comercialmente (Moreira et al., 2022) e tem a capacidade de produção quase mínima de poluentes em motores a diesel (Pereira et al., 2025), diminuindo a dependência do petróleo (Woemsbecher, 2021), se tornando um recurso alternativo com bastante destaque nas últimas décadas (Dewi et al., 2024).

Sua produção faz parte de um conjunto de reações químicas da indústria que depende de processos catalíticos para a sua síntese. Com a proposta de investigar processos mais verdes que não agredam o meio ambiente, se tem pesquisas aplicadas na catálise heterogênea, uma pedra angular para as rotas verdes (Guedes et al., 2024). Acompanhando o ritmo da inovação, se tem a produção de novos compostos catalíticos alternativos aos

usados de forma convencional.

Entre os compostos estudados estão os catalisadores a base de nióbio, principalmente em pesquisas com destaque pelo Brasil, que possui a maior reserva mundial do mineral (98%) (Pereira et al., 2025), sendo incorporado em catalisadores químicos e bioquímicos (Carvalho et al., 2020). O aumento das pesquisas em volta do nióbio visa promover a importância do mineral, incentivando pesquisas, principalmente brasileiras, e agregando valor econômico e tecnológico ao recurso estratégico (Pereira et al., 2025).

A incorporação do nióbio na produção de combustíveis permite tornar a rota de produção em um processo integrado às rotas verdes (Carvalho et al., 2020). Percebendo esse potencial do material, estudos tem sido realizados aplicando o material como catalisador heterogêneo e o melhorando, visando obter uma grande produção de combustível. Percebendo isso, o objetivo deste trabalho é apresentar os estudos e aplicações do óxido de nióbio, visando sua melhoria como catalisador heterogêneo, na produção de biodiesel e demais processos dele. Este trabalho apresenta uma revisão sistemática da literatura de pesquisas envolvendo o uso do material.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 BIODIESEL

O biodiesel (ésteres de ácidos carboxílicos de cadeia longa) é um combustível produzido por diferentes rotas e por diferentes óleos vegetais (como óleo de palma, soja, mamona, girassol, amendoim), gordura animal (como sebo) e óleos descartados ou residuais (óleo de fritura), sendo uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos, além de ser um composto livre de enxofre e aromáticos (Woemsbecher, 2021).

Tradicionalmente, a produção pela indústria utiliza a reação de transesterificação alcalina ou ácida, em que utiliza uma matéria-prima rica em lipídios (óleos e gorduras) com catalisadores homogêneos alcalinos (hidróxido de sódio (NaOH), hidróxido de potássio (KOH) ou seus alcóxidos) ou ácidos (ácido sulfúrico, clorídrico, sulfônico ou p-toluenossulfônico) e álcool de cadeia curta (como metanol ou etanol) como um aceptor acila, sendo uma reação, simples, rápida e com alto rendimento (Carvalho et al., 2020; Yani et al., 2021; Batalha; da Silva, 2021; Woemsbecher, 2021; Pereira et al., 2025).

Outra rota também utilizada pela indústria é a esterificação de ácidos graxos de

cadeia longa utilizando moléculas de álcool e produzindo ésteres, sendo uma reação importante para a indústria química e utilizado na produção de lubrificantes, aditivos alimentares, produtos de higiene e, principalmente, biocombustíveis (Machado et al., 2022).

No entanto, a reação apresenta algumas desvantagens e limitações devido ao processo oneroso resultado da purificação (Carvalho et al., 2020), separação do biodiesel e dos demais componentes (Yani et al., 2021) principalmente os catalisadores homogêneos (Batalha; da Silva, 2021), o gasto na utilização de deles e sua neutralização (Batalha; da Silva, 2021), corrosão dos reatores (Monte et al., 2021) e produção de efluentes (Machado et al., 2022), além de evitar reações indesejadas como saponificação (Monte et al., 2021), emulsões (Pereira et al., 2025) e dificuldade de separação do glicerol (Batalha; da Silva, 2021).

Essas reações indesejadas são provocadas quando a matéria-prima lipídica contém quantidades indesejadas de umidade e ácidos graxos livres (AGL), onde a umidade causa hidrólise dos triglicerídeos, liberando AGL no meio e formando sabão na interação entre o AGL e os cátions do catalisador, dificultando a recuperação, reaproveitamento (Batalha; da Silva, 2021; Pereira et al., 2025) e utilização dos catalisadores homogêneos (Batalha; da Silva, 2021).

Fator que impacta também na produção do biodiesel está na escolha da matéria-prima oleaginosa, onde de acordo com Batalha e da Silva (2021), Moreira et al (2022) a matéria-prima influência em 70% do custo do biodiesel, sendo um desafio para produção crescente do biocombustível. Os autores reforçam que os vegetais, como canola, palma, colza e girassol, que foram utilizados nas reações de transesterificação, são óleos comestíveis, que impacta no setor alimentício (Rozina et al., 2024), porém quando utilizado óleos não comestíveis e resíduos lipídicos (óleo de cozinha usado) na produção de biodiesel, se tem um custo reduzido e se tornando uma alternativa. De acordo com Rozina et al. (2024) a utilização de material não comestível, mas rico em material graxo, possibilita uma economia circular quando aplicando em resíduos de biomassa, favorecendo a economia circular, além de não impactar no setor comercial alimentício.

Outro problema relacionado a produção de biodiesel está na produção de glicerol, um subproduto pouco aproveitado e gerado pela produção da transesterificação dos triglicerídeos (óleo de gordura). Pela sua alta produção, resultado da produção colateral do biodiesel, o mesmo vem sendo investigado a fim de dar valor ao resíduo, empregando o mesmo na produção de aditivos de combustíveis (Putla et al., 2024).

Buscando um processo mais simples, pesquisas são realizadas visando a substituição

dos catalisadores homogêneos por catalisadores heterogêneos, um recurso tecnológico que utiliza processos mais limpos (Carvalho et al., 2020), simples (Yani et al., 2021) e que atenda os princípios da química verde (Machado et al., 2022).

O foco das pesquisas atuais está na síntese de catalisadores heterogêneos que possibilitem o resultado da conversão próxima aos obtidos de forma tradicional do biodiesel (Carvalho et al., 2020; Pereira et al., 2025), para tal se tem pesquisas avançadas na produção de catalisadores químicos, bioquímicos ou enzimáticos (Carvalho et al., 2020; Machado et al., 2022). Entre os materiais estudados estão o uso de biomassa como cinzas, adição de bases ou sais básicos como aditivos em material carregador (Yani et al., 2021) e o emprego de óxidos metálicos (Woemsbecher, 2021).

Entre os novos catalisadores estudados, estão os de caráter ácido sólido, por apresentarem uma alta atividade catalítica, já empregado em setores industriais amplamente, com grande interesse pela química verde, principalmente na conversão de biomassa. A grande dificuldade está na aplicação dos catalisadores em operar na água em condições hidrotermais. Percebendo isso, catalisadores a base de Nb_2O_5 surgiram como alternativa que permite contornar essa problemática, exibindo notável resistência a água (Guedes et al., 2024).

2.2. ÓXIDO DE NIÓBIO

O nióbio (Nb) é um metal raro, dúctil e macio em temperatura ambiente, possuindo um alto ponto de fusão e resistência a corrosão, tendo uma coloração cinza, podendo ficar com um tom azul quando exposto ao ar por longos períodos. Possuindo propriedades mecânicas excelentes, o metal, considerado leve, possui uma ótima resistência a tração e alto módulo de elasticidade, sendo empregado em liga e superligas metálicas. Os estudos atualmente, tem se concentrado nas atividades catalíticas da sua forma de óxido (Moreira et al, 2022).

O metal pode ser obtido a partir dos minerais pirocloro (96%) $[(\text{Ca},\text{Na})_2\text{Nb}_2\text{O}_6[\text{O},\text{OH},\text{F}]]$ e columbitas (4%) $[(\text{Fe},\text{Mn})\text{Nb}_2\text{O}_6]$ (Moreira et al, 2022). O metal possui a maior produção e reserva mundial encontrada no Brasil (Carvalho et al., 2020; Guedes et al., 2024). Estudos recentes têm buscado o uso do óxido do metal como material na produção de catalisadores químicos e bioquímicos em vários processos, entre eles está na produção de combustíveis como biodiesel.

O óxido de nióbio se tornou um dos óxidos de metais de transição mais estudados devido as suas características cristalinas e propriedades elétricas, ópticas, térmicas e químicas (Batalha; da Silva, 2021; Pereira et al., 2025), onde é empregado nas áreas aeroespaciais, eletrônicos, odontológicos, médicas e energéticas (Batalha; da Silva, 2021), sendo uma alternativa aos metais nobres (Moreira et al., 2022). O mesmo pode ser encontrado na forma de carboneto, hidreto e óxidos comercialmente (Batalha; da Silva, 2021).

O Nb, na forma de óxido, é encontrado em diferentes estados de oxidação, do +5 ao -1 (Guedes et al., 2024), na qual pode ser controlado por métodos de decomposição térmica ou cozimento (Pereira et al., 2025). Pode ser encontrado na forma de NbO, NbO₂ e Nb₂O₅, sendo os dois últimos possuindo propriedades semicondutoras e isolante (Batalha; da Silva, 2021; Céleri, 2024; Pereira et al., 2025). O metal também pode ser encontrado na forma de ânions em óxidos ternários, como NaNbO₃, KNbO₃ e LiNbO₃ (Guedes et al., 2024).

O pentóxido de nióbio (Nb₂O₅), a forma mais termodinamicamente estável do sistema oxigênio-nióbio (Woemsbecher, 2021), tem atraído grande interesse científico e tecnológicos devido à sua área superficial, resistência mecânica, sítios ácidos, ponto de fusão, estabilidade térmica e química alta (Woemsbecher, 2021; Yani et al., 2021; Pereira et al., 2025; Crisóstomo et al., 2025). A sua estrutura cristalina depende das condições a serem preparadas, tendo uma estrutura amorfa ou polimorfa e convertida com o aumento de temperatura em três fases: pseudohexagonal (TT-Nb₂O₅), formado em baixas temperaturas (100 °C – 300 °C), ortorrômbica (T-Nb₂O₅), entre 600 °C – 800 °C e monoclinica (H-Nb₂O₅) entre 1100 °C (Woemsbecher, 2021; Batalha; da Silva, 2021; Guedes et al., 2024; Pereira et al., 2025).

Classificado como semicondutor do tipo n, com potenciais aplicações em vários campos (Pereira et al., 2025; Crisóstomo et al., 2025). Por causa de suas possíveis aplicações, empresas têm cedido o material para pesquisadores, visando contribuir nas pesquisas aplicadas à ele (Carvalho et al., 2020).

Precusores de Nb são disponíveis, baratos e muito versáteis, podendo ser utilizado para produção de diferentes catalisadores sólidos (Céleri, 2024), com diferentes propriedades, aplicando diferentes métodos de síntese como Pechini, sol-gel, síntese hidrotérmica, enxerto, precipitação, coprecipitação e eletrofiação. A versatilidade do material permite diferentes aplicações específicas, tornando um catalisador ativo em vários processos (Batalha et al., 2021).

A utilização do Nb₂O₅ como material catalítico atua como promissor material de suporte devido a sua área superficial com sítios ativos, em catalisadores com propriedades redox e ácido (Batalha; da Silva, 2021; Moreira et al., 2022; Pereira et al., 2025). Sua acidez se deve aos sítios ativos em sua superfície que promove reações ácido e base de Brønsted e Lewis, contribuindo com a sua resistência a água, permitindo uma eficácia em processos catalíticos (Batalha; da Silva, 2021; Pereira et al., 2025). Sua acidez se deve aos átomos metálicos capazes de receber pares de elétrons em seus orbitais vazios do tipo d (Batalha; da Silva, 2021).

O uso do material em reações catalíticas são estudados para a aplicação em reações de desidratação de álcool, oxidação, fotocatalise, isomerização, acetilação, esterificação, transesterificação e fotocatalítica (Woemsbecher, 2021; Batalha; da Silva, 2021; Moreira et al., 2022; Pereira et al., 2025), tendo tido resultados com mais de 500 trabalhos no período de 2000 e 2021, como apontado por Batalha e da Silva (2021).

A estrutura complexa do Nb₂O₅ ainda é estudada visando compreender o material a fim de determinar a fase cristalina com o maior desempenho catalítico, tal estudo ainda se dá pela complexa interação entre o tipo de estrutura cristalina, sítios ativos, substrato e condições de reação (Pereira et al., 2025).

Devido as suas características únicas, principalmente sua força de acidez de Brønsted e Lewis, suas características estruturais e fácil recuperação do material, o mesmo se tornou um composto potencial em reações de esterificação e transesterificação contribuindo como catalisador heterogêneo na fabricação de biodiesel (Célieri, 2024), que diferentes de outros catalisadores, possuem uma melhor tolerância à água, principalmente o catalisador Nb₂O₅ (Batalha; da Silva, 2021).

Os catalisadores produzidos a partir do nióbio possuem um caráter ácido que tem atividade para reações de esterificação e transesterificação para produzir biodiesel, podendo ser aplicado na reação de esterificação do AGL e transesterificação de triglicerídeos (Batalha; da Silva, 2021).

De acordo com Moreira et al., (2022), para a conversão de resíduos lipídicos como óleos residuais que possuem um alto teor de AGL, os catalisadores que possuem a base de nióbio se tornam a melhor opção, principalmente pelos seus sítios ativos ácidos.

2.3. CATÁLISE

Para a produção de biodiesel, tem-se buscado a utilização, prioritária, de catalisadores heterogêneos de caráter ácido para melhorar a produção, compatíveis para utilização em matéria-prima oleaginosa, principalmente com a grande presença de AGL, evitando etapas adicionais e tendo mais possibilidades no seu uso (Batalha; da Silva, 2021). De acordo com os estudos de Batalha e da Silva (2021), catalisadores ácidos possuem o melhor resultado de conversão do material triglicerídeos com AGL. Machado et al. (2022) apontam que os catalisadores ácidos podem ser aplicados em matéria-prima de baixa qualidade (Machado et al., 2022).

O Nb é visto como um promissor catalisador na forma de material carregador devido a sua propriedade singular, sendo empregado em diferentes reações para produção de biodiesel ou aditivo de biocombustíveis, como uma alternativa mais viável, mesmo com a melhor rapidez dos hidróxidos alcalinos, os catalisadores de nióbio não necessitam de nenhum processo de neutralização ou causam reações indesejadas (Batalha; da Silva, 2021).

De Carvalho (2016) percebeu o potencial do estudo no uso de catalisadores nanométricos, principalmente o titânio e o ferro, e aplicou o Nb₂O₅ em escala nanométrica, utilizando a técnica sol-gel, e aplicou na reação de transesterificação do óleo comercial de soja, produzindo os primeiros resultados satisfatórios nessa técnica.

De Carvalho, Bregadiolli e da Silva-Filho (2018), percebendo o potencial do catalisador Nb₂O₅, realizaram trabalhos de conversão de outros materiais como NbCl₅ para produzir Nb₂O₅, além de aplicarem tratamentos térmicos para produzir um catalisador com o melhor arranjo e nível de cristalinidade.

Rade (2018) pesquisou a aplicação do ácido nióbico (Nb₂O₅•nH₂O) e fosfato de nióbio (NbOPO₄•nH₂O) para a esterificação do ácido oleico em etanol, aplicando tratamentos térmicos através da ativação em mufla (300 °C – 600 °C), onde o mesmo teve como resultado a diminuição da acidez total resultado do rearranjo estrutural, sendo a maior perda o Nb₂O₅•nH₂O do que o NbOPO₄•nH₂O, decaindo, significativamente, a conversão e síntese de biodiesel.

Arpini et al. (2019) estudaram o potencial do Nb₂O₅ e oxalato de nióbio e amônio (AmNO), um catalisador promissor, e comparando ambos com ativação em refluxo e sistema assistido por ultrassom. Em seus resultados, os autores constaram que o Nb₂O₅ possui uma característica inferior que o segundo catalisador em comparação com as temperaturas

estudadas de refluxo.

Moreira et al. (2022) aponta que o Nb2O5 hidratado possui uma acidez superior devido aos sítios ácidos (protônicos) de Brønsted causado pela interação com as moléculas de água. Os autores também relatam que além da interação com a água a geometria aumenta a acidez de Lewis do material, que é provocado pelo aumento de temperatura acima de 500 °C.

Enquanto os óxidos de outros metais possuem problemas quando interagindo em meio aquoso, Guedes et al. (2024) perceberam que o Nb2O5, na forma hidratada, mantém suas atividades catalíticas com a mesma eficiência em vários tipos de solventes. O material mantém esse mesmo comportamento entre temperaturas de 100 °C – 300 °C, tendo uma acidez comparável ao ácido sulfúrico 70%.

Pereira et al. (2025) estudou o Nb2O5, de forma isolada e sem aditivo, a fim de determinar o melhor arranjo cristalino, onde o mesmo estudou a sua forma H-Nb2O5, por apresentar uma melhor simetria e maior estabilidade, tendo como resultado uma boa conversão.

Na literatura são encontradas pesquisas aplicando diferentes materiais modificados para a produção de biodiesel utilizando o Nb2O5 (Pereira et al., 2025). Pereira et al. (2025) apontam que a aplicação do material em reações de produção de biodiesel se encontram entre 70% - 99,2 % sob muitas condições de reação, desde o processo de produção de biodiesel a produção e modificações de catalisadores.

Entre os métodos de modificação se encontram métodos clássicos de impregnação (Yani et al., 2021; Pereira et al., 2025), precipitação (Yani et al., 2021) e calcinação (Pereira et al., 2025), que aplicam bases, sais básicos ou óxidos alcalinos em material carregador (Yani et al., 2021). Além deles se encontram métodos inovadores como combustão (Pereira et al., 2025).

Entre essas pesquisas com catalisadores modificados de Nb, está os estudos de Tesser (2015) onde sintetizou um catalisador através da impregnação do dióxido de silício (SiO2) (também chamada de sílica comercial) com o oxalato de nióbio (produzido a partir do Nb2O5), onde aplicou o material em reações de transesterificação e esterificação de um óleo de caráter ácido, obtendo um resultado de 80% – 90% e 85% – 90%, respectivamente.

Policano et al. (2016) que produziram um catalisador ácido através da mistura do ácido sulfúrico (H2SO4) suportado por Nb2O5, nomeando com SO42-/Nb2O5, favorecendo o caráter ácido do catalisador, aplicando na reação de esterificação e transesterificação de

óleo de andiroba rico em AGL, tendo uma conversão de mais de 90% do material oleaginoso ácido.

García-Sancho et al. (2017) estudaram a influência do tamanho dos poros da sílica mesoporosa (SBA-15) como suporte para adição de Nb₂O₅ para a produção de biodiesel através da esterificação de ácidos graxos livres do óleo de mamona para produção de lubrificantes e biodiesel, encontrando um valor de carga de 12% para a maior conversão do óleo. Silva et al. (2017) realizaram o mesmo estudo do catalisador aplicado no ácido propanoico em metanol, acompanhado de um estudo sobre sua superfície e acidez quando aplicado tratamento térmico no material.

Rocha et al. (2018) utilizaram uma combinação de Nb₂O₅ e CaO, produzindo um catalisador nomeado de geo-Nb₂O₅:syn-CaO, e variaram a sua estrutura cristalina de acordo com a calcinação em mufla entre 400 °C – 1000 °C, onde o mesmo pontuou que temperaturas superiores a 400 °C removem a acidez de Brønsted e favorecem a acidez de Lewis. Tal resultado possibilitou produção de ésteres metílicos com valores máximos de 99%.

O mesmo catalisador foi estudado por Cubides-Román et al. (2019), nomeando como CaO/Nb₂O₅, visando compreender o impacto ambiental que o catalisador causaria no meio ambiente em comparação com o reação de transesterificação comum utilizando catálise homogênea. Os resultados obtidos pelos ensaios realizados por simulação computacional, revelaram que o catalisador heterogêneo possui uma resposta menos agressiva, apoiando a ideia da utilização de catalisadores heterogêneos na produção de biodiesel.

Carvalho et al. (2020) utilizaram o Nb₂O₅•5H₂O e aplicaram o método de impregnação no material com solução saturada de hidróxido de sódio (NaOH), produzindo um catalisador registrado como Na/Nb₂O₅ que possui uma capacidade de conversão e reutilização como resultado positivo. Os estudos aplicados no catalisador produzido na transesterificação de diferentes matérias-primas ricas em lipídios (andiroba, babaçu, crambe, coco, palmeira arara, palma, palmiste, jatropha, soja, Sebo bovino) com substituição do metanol tradicional por etanol como material alternativo mais verde. O procedimento empregado pelos autores teve resultados satisfatórios em todos os óleos testados.

Feng et al. (2020) produziu um catalisador bifuncional através da junção de nano partículas de platina (PT NPs) e camadas de Nb₂O₅ (L-Nb₂O₅), produzindo um catalisador nomeado como Pt/L-Nb₂O₅ utilizado na conversão do glicerol em ácido láctico, um recurso empregado na indústria de alimentos e cosmético.

Woemsbecher (2021) produziu um catalisador a partir da mistura do Nb₂O₅•5H₂O

impregnado com uma solução saturada de NaOH, onde o mesmo realizou estudos sobre o tratamento térmico aplicado no material (calcinação prévia (300 °C, 500 °C e 600 °C, sem calcinação prévia e ativação em mufla (200 °C e 500 °C)), onde o mesmo teve um resultado satisfatório nos ensaios onde o catalisador foi pré-ativado em 500 °C, indicando que para a produção de biodiesel através de transesterificação deve-se favorecer a acidez de Lewis, já para óleos ricos em AGL deve-se favorecer a acidez de Brønsted, algo que o próprio autor define sobre.

Yani et al. (2021) produziram um catalisador utilizando método de impregnação de uma solução de K₂CO₃, com variação da massa, no Nb₂O₅ produzindo um catalisador registrado como K₂O/Nb₂O₅. Em seus estudos, os autores variaram a carga da solução a fim de determinar o melhor catalisador produzido, onde mesmo obteve com a carga de 50% do sal básico devido ao aumento dos sítios ativos. Os resultados obtidos por Yan et al (2021) possibilitou o entendimento de que o aumento na carga influencia no aumento de sítios ativos, logo, uma maior conversão do material rico em lipídios em biodiesel.

Machado et al. (2022) apontaram que os catalisadores heteropoliácidos se tornaram opções excepcionais devido a sua alta acidez, tolerância à água, alta mobilidade/estabilidade de prótons e alta tolerância a altos níveis de AGL, porém, os mesmos são instáveis em altas temperaturas, alcançando estabilidade com a incorporação do Nb₂O₅, produzindo o catalisador HPW/Nb₂O₅, tendo um resultado de produção de biodiesel superior a 95%.

Pestana et al. (2022) sintetizaram catalisadores através da impregnação de óxidos metálicos de vanádio, molibdênio e cobalto em Nb₂O₅ e NbOPO₄ para a decomposição de glicerol em ácido acrílico e acroleína, compostos orgânicos de grande interesse para a indústria. Os testes tiveram 100% de conversão do glicerol, com a acroleína como produto principal.

Gomes et al. (2023) sintetizaram um catalisador através do método Pechini, utilizando o oxalato de amônio e nióbio, ácido cítrico e poliol, produzindo um catalisador de nano-partículas de TT-Nb₂O₅ para a produção de Solketal através do glicerol aplicando métodos fotocatalíticos, onde os mesmos tiveram resultados promissores.

De Brito et al. (2023) impregnaram o Nb₂O₅ com óxido de molibdênio (MoO₃) para a síntese de um novo catalisador ácido empregado na transesterificação de óleo residual de fritura, rico em AGL, onde obteve um resultado de conversão de 94,2%.

Dewi et al. (2024) realizaram testes de conversão do óleo de Jatropha, via transesterificação, utilizando diferentes tipos de catalisadores óxidos produzidos por

métodos de impregnação. Entre os catalisadores se encontra o Nb₂O₅-SiO₂.

Rozina et al. (2024) produziram um catalisador verde a partir do NbCl₅ e o extrato das folhas da planta *F. Indica* produzindo um catalisador de nano-partículas de Nb₂O₅ por método verde. A sua metodologia de produção, quando aplicado na transesterificação do óleo da semente *G. asiatica*, um óleo não comestível e rico em ácidos graxos, tendo uma reação seletiva de mais de 90%. O trabalho do mesmo emprega uso de uma biomassa pouco aproveitado, dando um papel significativo na produção de biodiesel, favorecendo a economia circular.

Putla et al. (2024) produziram um catalisador da junção de Nb₂O₅ e nanomateriais de WO₃, produzindo como produto o catalisador WO₃/Nb₂O₅, além de fazer a calcinação do material para compreender e otimizar seus resultados. O catalisador produzido foi aplicado na produção de Solketal, com rendimento de conversão de 92,3%.

Céleri (2024) produziu um catalisador ácido através da impregnação do Nb₂O₅ comercial com uma solução de H₂SO₄ 0,5 mol/L, denominado como Nb₂O₅/SO₄-2. O catalisador produzido pelo autor foi misturado a uma zeólita produzida pelo mesmo com resíduos de pedras ornamentais, nomeando de SOD/Nb₂O₅/SO₄⁻². O catalisador produzido teve um resultado promissor nas reações de esterificação e transesterificação.

2.4. RECUPERAÇÃO

Com a possibilidade de reutilização dos catalisadores heterogêneos, menor corrosão do reator, além da geração mínima de resíduos e efluentes nas fases de purificação do produto, os catalisadores se tornaram viáveis em vários processos industriais em larga escala, compondo 80% dos processos. A grande vantagem do uso dos catalisadores de nióbio, ao contrário de outros ácidos sólidos, está na fácil recuperação e reutilização, contribuindo na redução de resíduos e custo de processo (Batalha; da Silva, 2021).

Estudos também têm sido realizados visando a possibilidade do reuso dos catalisadores desenvolvidos através do Nb₂O₅, possibilitando a utilização do catalisador em vários ciclos de reação (Carvalho et al., 2020). O processo de reuso possibilita oferecer vantagens como redução de custo e simplificação de operação (Pereira et al., 2025).

Entre os estudos, se encontram os trabalhos desenvolvidos por Carvalho et al. (2020) utilizaram o catalisador Na/Nb₂O₅, lavado com diferentes solventes a fim de determinar o melhor solvente para lavagem e recuperação do catalisador, algo que obteve na lavagem com

tert-butanol, e o aplicando em 5 ciclos de reação de transesterificação do óleo de babaçu, teve resultados satisfatórios com poder de conversão superiores a 95%. Além deste solvente, os autores também notaram o potencial no uso de hexano e água, mas resultados desfavoráveis com etanol.

Pereira et al. (2025) utilizaram o Nb₂O₅, recuperado com n-hexano, em reuso na reação de transesterificação do óleo de soja, onde teve queda no processo de conversão variando de 10 – 21%, causada pela desativação parcial dos sítios ativos ou acúmulo de subprodutos.

3. CONCLUSÃO

Através desta revisão, se percebeu a importância do biodiesel como combustível alternativo a produção de combustíveis de fontes fósseis, como também a importância no desenvolvimento de tecnologias mais limpas aplicadas para a produção industrial, empregando catálise heterogênea, ao invés da homogênea, e favorecendo o uso de óleos residuais ou não comestíveis.

Acompanhado a esse desenvolvimento de novos processos, com a revisão também foi possível perceber o grande potencial que o nióbio e seus derivados podem ter ao serem aplicados nessas novas rotas sustentáveis, demonstrando um uso sustentável e inovador ao metal tão promissor em pesquisas da área. O metal estudado, demonstrou uma versatilidade de muitas pesquisas, onde o mesmo pode ser aplicado com tratamentos térmicos ou dopados com outros materiais, visando obter melhorias em sua estrutura, atividade catalítica e interação do material com a matéria-prima aplicada, devendo as pesquisas buscarem otimizar o seu uso e impregnar no desenvolvimento de novas tecnologias, possibilitando um futuro mais sustentável.

REFERÊNCIAS

ARPINI, B. et al. Simple niobium catalysts applied in reflux and ultrasound-assisted systems for biofuel synthesis. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, 2019.

BATALHA, D. C.; DA SILVA, M. J. Biodiesel production over Niobium-containing catalysts: A review. **Energies**, v. 14, n. 17, p. 5506, 2021.

CARVALHO, A. K. F. et al. Use and reusability of the Na/Nb₂O₅ catalyst in the ethanolysis of different feedstocks for biofuel production: Confirmation of heterogeneity of the catalyst. **Energy & fuels: an American Chemical Society journal**, v. 34, n. 6, p. 7105–7111, 2020.

CÉLERI, E. P. **Síntese De Zeólitas A Partir De Resíduos De Rochas Ornamentais, Modificadas Com Nb₂O₅/SO₄²⁻, E Aplicação Como Catalisador Para Síntese De Biodiesel**. Vitória: universidade federal do espírito santo, 2024.

CRISÓSTOMO, C. et al. Facile hydrothermal synthesis of niobium pentoxide semiconductor and their application in the photodegradation of dyes and reduction of free fat acids in waste oil. **Química nova**, 2025.

CUBIDES-ROMÁN, D. et al. Methyl esters production by heterogeneous catalyst mixtures of CaO/Nb₂O₅ hit simulation of analysis of environmental impacts. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, 2018.

DE BRITO, V. L. et al. Biodiesel production from waste frying oil using molybdenum over niobia as heterogeneous acid catalyst: Process optimization and kinetics study. **Renewable energy**, v. 215, n. 118947, p. 118947, 2023.

DE CARVALHO, J. H. L.; BREGADIOLLI, B. A.; DA SILVA-FILHO, L. C. Niobium compounds in transesterification reactions of soybean oil: A promising use of NbCl₅. **Orbital - The Electronic Journal of Chemistry**, v. 10, n. 5, 2018.

DE CARVALHO, J. H. L. **Estudos sobre a utilização de pentóxido de nióbio nanoestruturado na produção de biodiesel**. Bauru: Universidade Estadual Paulista, 2016.

DEWI, W. N. et al. Upgrading bio-fuel from Jatropha oil via onepot transesterification-isomerisation using solid acid catalysts. **E3S web of conferences**, v. 593, p. 09001, 2024.

FENG, S. et al. One-pot synthesis of lactic acid from glycerol over a Pt/L-Nb₂O₅ catalyst under base-free conditions. **Fuel processing technology**, v. 197, n. 106202, p. 106202, 2020.

GARCÍA-SANCHO, C. et al. Influence of pore size and loading for Nb₂O₅/SBA-15 catalysts on synthetic ester production from free fatty acids of castor oil. **Molecular catalysis**, v. 436, p. 267–275, 2017.

GOMES, G. H. M. et al. The role of oxygen vacancies in TT-Nb₂O₅ nanoparticles for the photoconversion of glycerol into solketal. **Ceramics international**, v. 49, n. 9, p. 14719–14732, 2023.

GUEDES, A. P. DE M. et al. Niobium pentoxide as an acid catalyst: An overview. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 10, n. 7, p. 19766, 2024.

MACHADO S. A. et al. Esterification of enzymatically treated macaw palm oil catalyzed by heteropolyacid supported onto Nb₂O₅. **Biofuels**, v. 13, n. 8, p. 1021 – 1029, 2022.

MONTE, P. M. et al. Niobium Catalysts Beyond Pentachloride. *Revista Virtual de Química*, v. 13, n. 6, p. 1391–1403, 2021.

MOREIRA, J. B. D. et al. The use of niobium compounds as catalyst in the production of biofuels: a review. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 8, n. 1, 2022.

PEREIRA, H. L. et al. Potential of Nb₂O₅ as a catalyst in biodiesel production: A study with different feedstock. **Molecules (Basel, Switzerland)**, v. 30, n. 5, p. 1075, 2025.

PESTANA, C. et al. Metal-supported niobium catalysts investigation for conversion of bio-renewable glycerol to organic compounds. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, 2022.

POLICANO, M. D. et al. Simultaneous esterification and transesterification of andiroba oil using niobium oxide-sulfate as catalyst. **International Journal of Engineering Research & Science (IJOER)**, v. 2, n. 10, p. 175–184, 2016.

PUTLA, S. B. et al. Valorizing biomass waste glycerol to fuel additive at room temperature using a nanostructured WO₃/Nb₂O₅ catalyst. **Catalysis communications**, v. 186, n. 106827, p. 106827, 2024.

ROCHA, B. G. et al. Nb₂O₅ preparado em mistura com cao como catalisador heterogêneo em reações de transesterificação de triacilgliceróis de bio-óleo com metanol para produzir biodiesel. **Tecnologia em metalurgia, materiais e mineracao**, v. 15, n. 1, p. 49–55, 2018.

RADE, L. L. **Biodiesel production from oleic acid and ethanol using niobia based catalysts**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2018.

ROZINA et al. Characterization of phytosynthesized niobium oxide nanoparticle for efficient conversion of *Grewia asiatica* L. waste seed oil into sustainable fuel. **Waste Management Bulletin**, v. 2, n. 2, p. 288–301, 2024.

SILVA, Â. et al. Nb₂O₅/SBA-15 catalyzed propanoic acid esterification. **Applied catalysis. B, Environmental**, v. 205, p. 498–504, 2017.

TESSER, R. et al. Niobia supported on silica as a catalyst for Biodiesel production from waste oil. **Catalysis for Sustainable Energy**, v. 2, n. 1, p. 33–42, 2015.

WORMSBECHER, G. **Influência do tratamento térmico do catalisador Nb₂O₅ para a produção de biodiesel**. Ponta Grossa: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2021.

YANI, F. T. et al. Performance of K₂O/Nb₂O₅ as a heterogeneous catalyst for biofuel production. IOP conference series. **Materials science and engineering**, v. 1098, n. 2, p. 022006, 2021.

CAPÍTULO XV

ENGENHARIA E MATERIAIS: CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA DE LIGANTES ASFÁLTICOS MODIFICADOS POR ÓLEO DE GERGELIM

**Vanessa Silva Oliveira
Ana Maria Gonçalves Duarte
Arthur Nóbrega de Souza
João Pedro Silveira Salustiano
John Kennedy Guedes Rodrigues**

DOI: 10.5281/zenodo.17306893

1. INTRODUÇÃO

O asfalto é um dos principais componentes do pavimento, seu uso tem função primordial na preservação das rodovias, onde é utilizado em mais de 99% dos trechos pavimentados no Brasil (CNT, 2019). Em contrapartida a sua extensa aplicação, segundo

Karlsson *et al.* (2020), o setor da construção de pavimentos é responsável por aproximadamente um quarto das emissões globais de CO₂. Isso gera uma série de preocupações, uma vez que a emissão desenfreada de gases do efeito estufa (GEE) impactam diretamente no avanço do aquecimento global.

A engenharia rodoviária tem intensificado os estudos quanto ao uso de materiais alternativos capazes de reduzir os custos de produção e o impacto ao meio ambiente relacionados à construção e manutenção de pavimentos asfálticos (Jiang *et al.*, 2018). Sendo assim, a adoção de materiais não convencionais possui boas perspectivas, uma vez que já são utilizados em diversos materiais.

Em pesquisas realizadas por (Melo, 2016; Bindu et al 2020; Xin et al, 2020) verificou-se que a utilização de resíduos ou subprodutos das mais diversas atividades produtivas podem proporcionar ganhos significativos no desempenho funcional e estrutural dos pavimentos. Isso torna possível a aplicação desses recursos nos mais variados contextos, desde rodovias com fluxo menos intenso, aeroportos ou até vias de tráfego mais intensas e pesadas.

Em busca de materiais não convencionais, o uso de aditivos naturais intensificou-se, em especial as oleaginosas como um possível agente redutor das temperaturas de compactação (TC) e usinagem (TU) dos ligantes asfálticos na mistura asfáltica (Carvalho, 2018; Guerra, 2019 e Torres, 2020). Além disso, pesquisas pioneiras abordam o uso de bioligantes como uma alternativa para o incremento de materiais renováveis ao ligante asfáltico.

Ainda segundo Arriel et al. (2007), o principal produto do gergelim são suas sementes, que fornecem um óleo rico em ácidos graxos insaturados, além de vários constituintes secundários como o sesamol, sesamolina e gama tocoferol, que lhe conferem uma alta estabilidade química em detrimento da resistência a rancificação por oxidação.

O objetivo desta pesquisa é avaliar as propriedades físicas e reológicas do ligante asfáltico modificado por óleo de gergelim nos teores de 1%, 3% e 5%.

2. MATERIAIS E METODOLOGIA

2.1 Materiais

- **Ligante asfáltico:** O ligante asfáltico é um material proveniente do petróleo o qual, possui alta viscosidade, com características impermeabilizantes e adesivas, não

voláteis e se apresenta na cor preta. Sua composição é basicamente de asfaltenos, resinas e hidrocarbonetos de natureza aromática, solúveis em tricloroetileno e adquiridos por refinação de petróleo, podendo, também, serem encontrados na natureza como depósito natural (gilsonita) ou associados à matéria mineral (asfalto de Trinidad) (PETROBRAS, 2019).

- **Óleo de gergelim:** o principal produto do gergelim são suas sementes, que fornecem um óleo rico em ácidos graxos insaturados, além de vários constituintes secundários como o sesamol, sesamolina e gama tocoferol, que lhe conferem uma alta estabilidade química em detrimento da resistência a rancificação por oxidação.

2.2. Metodologia

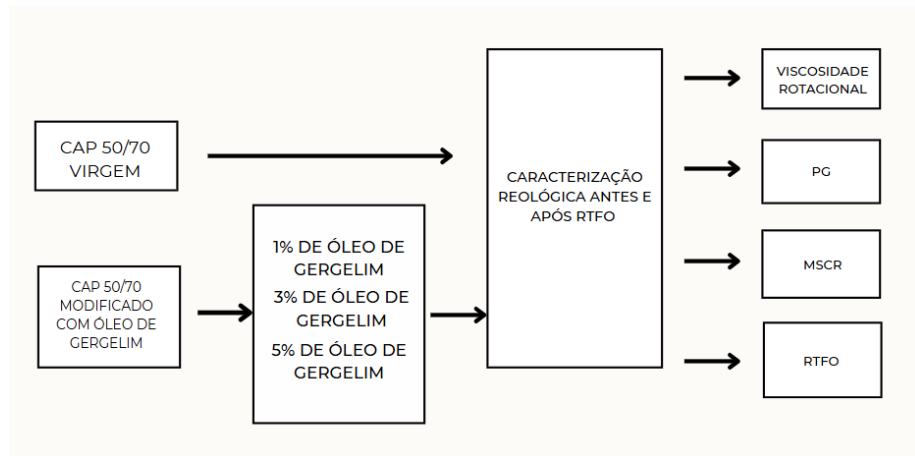
Os materiais utilizados na pesquisa abrangem o cimento asfáltico de petróleo (CAP 50/70) e o óleo de gergelim nos teores de 1, 3 e 5%. Dessa forma, para verificar o comportamento reológico do material, foram realizados os ensaios indicados na tabela 1 a seguir.

Tabela 3: Ensaios reológicos para o ligante asfáltico

Procedimentos	Diretrizes
Penetração	DNIT 155/10 – ME
Ponto de amolecimento	DNIT 131/10 – ME
Viscosidade rotacional	ABNT NBR 15184/05
<i>Rolling Thin Film Oven</i> (RTFO)	ASTM D 2872/12
<i>Performance Grade</i> (PG)	ASTM D 6816/11
<i>Multiple Stress Creep Recovery</i> (MSCR)	ASTM D 7405/15

Quanto aos aspectos metodológicos, o trabalho seguiu o fluxograma indicado na Figura 1.

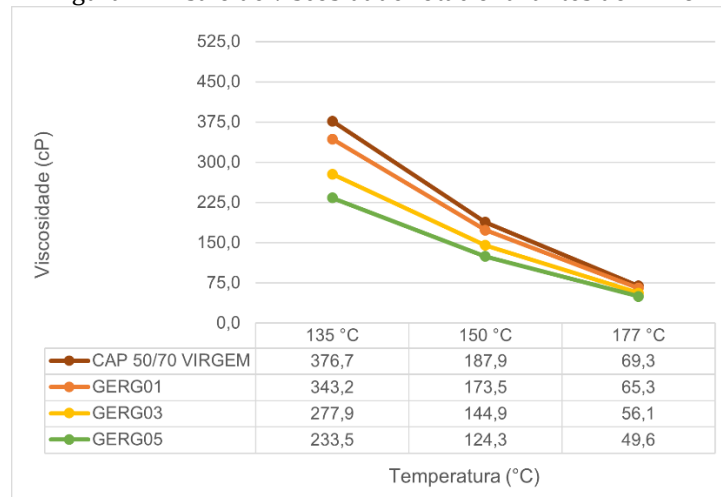
Figura 2. Fluxograma das etapas da pesquisa



3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

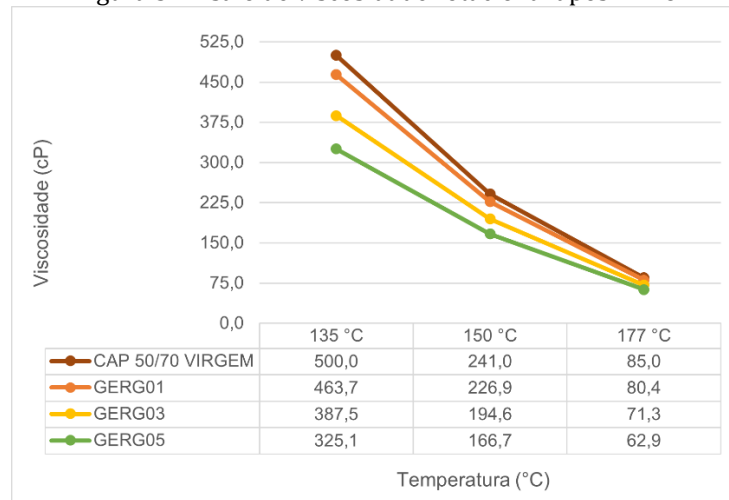
Os resultados apresentados na Figura 2 ilustram os valores obtidos para a viscosidade rotacional do ligante asfáltico antes do RTFO.

Figura 2. Ensaio de viscosidade rotacional antes do RTFO



Para os resultados após RTFO, todas as viscosidades atenderam aos parâmetros mínimos indicados pela norma do DNIT 095/2006-EM.

Figura 3. Ensaio de viscosidade rotacional após RTFO

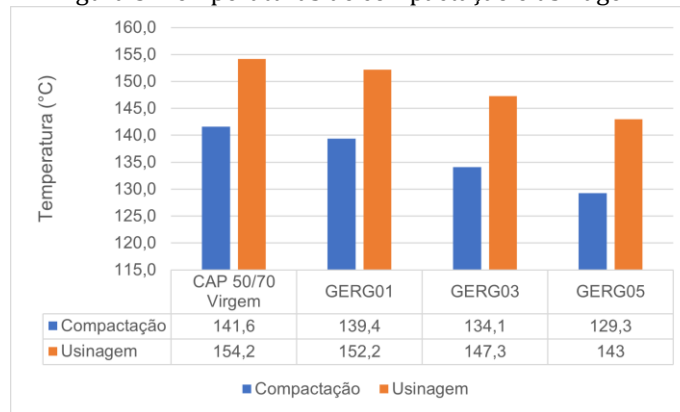


Os resultados exibidos nos gráficos das Figuras 1 e 2 indicam a redução da viscosidade do ligante asfáltico mediante o acréscimo do óleo de gergelim. A amostra GERG05 apresentou a menor viscosidade entre as amostras, além da maior redução das temperaturas de usinagem e compactação, sendo elas 12,3°C e 11,2°C respectivamente (figura 8). Os valores obtidos em comparação ao ligante virgem permitem uma redução significativa da energia utilizada nos processos de usinagem e compactação.

Portugal *et al.* (2017) investigou a adição de óleo de soja em ligantes asfálticos e obteve um panorama similar com tendência de redução das temperaturas de usinagem e compactação diante do aumento nos teores de óleo empregados.

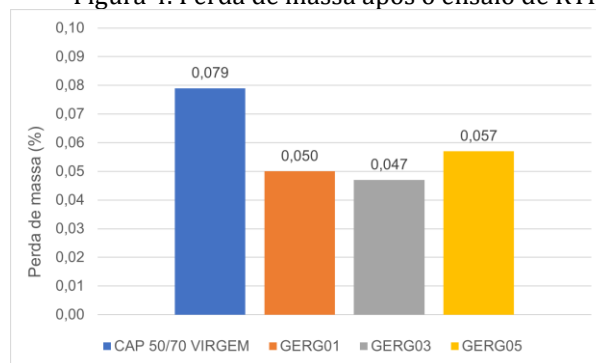
Embora a amostra GERG05 tenha obtido a maior redução nas temperaturas de usinagem e compactação, a amostra GERG03 apresentou uma redução significativa desses parâmetros também. Em comparação ao ligante virgem, a redução foi de 6,9°C para a temperatura de usinagem e 7,5°C para a temperatura de compactação (Figura 3). Dessa forma, no cenário onde GERG03 obteve resultados mais satisfatórios quanto aos parâmetros mínimos de viscosidade, avaliar o seu potencial redutor de temperaturas de usinagem e compactação é bastante plausível.

Figura 3. Temperaturas de compactação e usinagem.



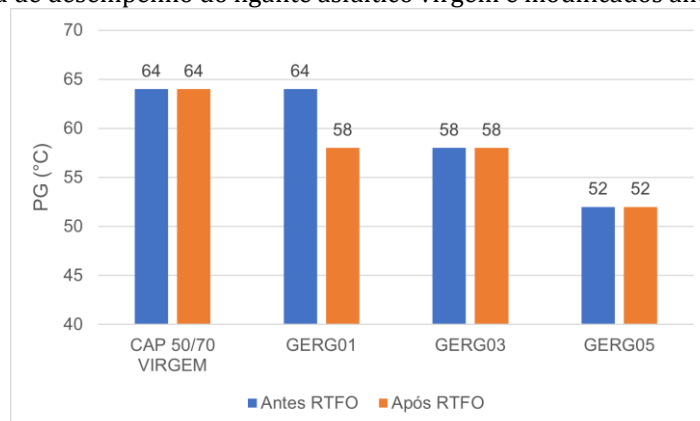
A normativa DNIT 095/2006-EM indica valores máximos para perda de massa após procedimento de RTFO de 0,5%. A Figura 4 indica os resultados de perda de massa para o CAP 50/70 virgem e os modificados com óleo de gergelim. Todas as amostras apresentaram valores adequados, com maior perda de massa para o ligante virgem.

Figura 4. Perda de massa após o ensaio de RTFO



Os resultados de *Performance Grade* (PG) antes e após RTFO indicados na Figura 5 apresentam informações importantes quanto as máximas temperaturas de utilização para os ligantes asfálticos modificados com óleo de gergelim e para o ligante virgem.

Figura 5. Grau de desempenho do ligante asfáltico virgem e modificados antes e após RTFO



Os valores obtidos indicam que o CAP 50/70 virgem e as amostras GERG03 e GERG05 mantiveram suas temperaturas de PG constantes antes e após o RTFO. Isso indica que os mesmos não foram susceptíveis aos efeitos da oxidação, mantendo suas propriedades de deformabilidade e rigidez em altas temperaturas.

A amostra GERG01 apresentou variação na temperatura de PG, decrescendo de 64°C Para 58°C, isso indica um comportamento contrário as demais amostras. A mesma foi afetada pelo efeito da oxidação de forma significativa. Entretanto, embora tenha ocorrido esta variação, a temperatura de falha da amostra GERG01 foi de 62,5°C, valor próximo à 64°C.

Ao passo que o teor de óleo de gergelim no ligante asfáltico aumenta, a temperatura de PG reduz, isso ocorre devido à redução da viscosidade e do aumento da deformabilidade do ligante em frente ao aumento da temperatura. A amostra GERG05 apresenta uma redução de 12°C na temperatura de utilização do ligante em comparação ao CAP 50/70 virgem.

Segundo Lei (2015), a redução da rigidez também possui aspectos positivos, uma vez que, quanto menor for esse parâmetro menor o stress térmico em que o ligante é submetido diante das mudanças de temperatura, o que pode reduzir o risco de fissuração do pavimento. Vale pontuar que a redução da temperatura de PG torna o ligante mais vulnerável a deformações permanentes. Isso requer atenção, uma vez que essa temperatura pode ser atingida em regiões muito quentes do Brasil, prejudicando o uso do ligante nessas situações.

As Figuras 6 e 7 indicam os resultados do módulo complexo (G^*) antes e após RTFO. Para ambas as situações é notável a redução desse parâmetro à medida que o teor de óleo de gergelim aumenta. Isso indica que o ligante asfáltico se torna menos rígido antes e após o envelhecimento a curto prazo. Logo, considerando o comportamento reológico, o desempenho dos ligantes modificados com óleo de gergelim foram inferiores ao ligante virgem.

Figura 3. Módulo Complexo (G^*) em função da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) antes do RTFO

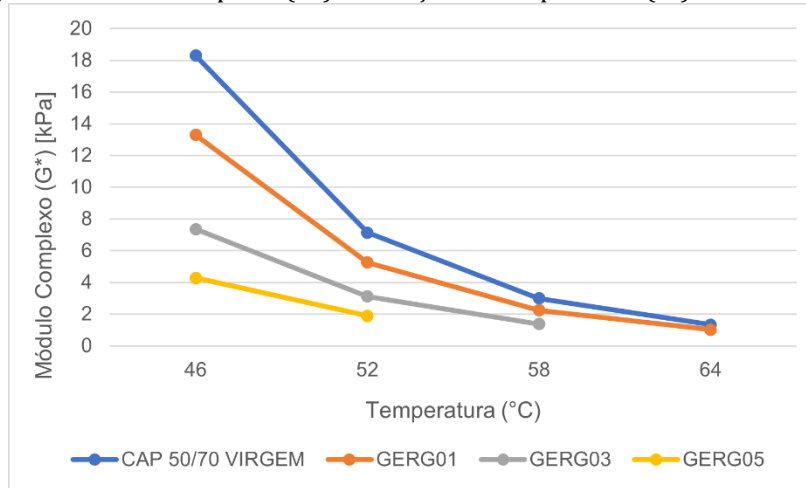
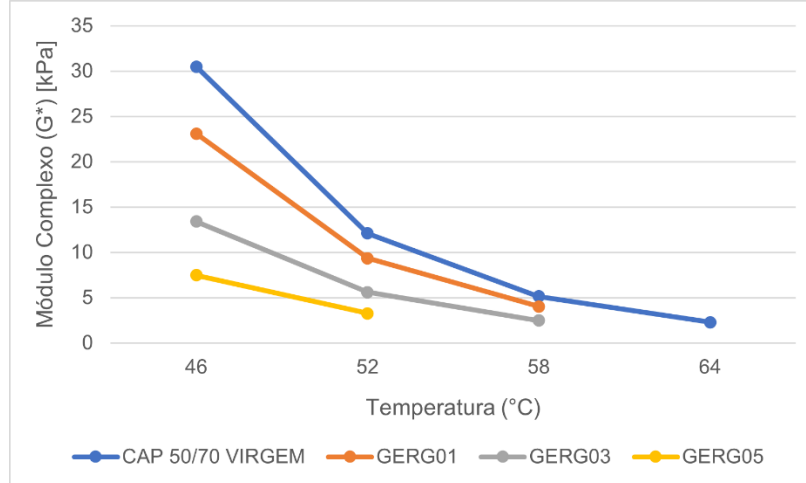


Figura 7. Módulo Complexo (G^*) em função da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) após RTFO



O panorama de redução da rigidez ao ligante mediante a adição de óleos no CAP 50/70 virgem também ocorreu em pesquisa realizada por Neto (2022). Após o envelhecimento a curto prazo, o módulo complexo aumentou para todas as amostras de maneira significativa, indicando um ganho de rigidez com o envelhecimento das amostras.

As Figuras 8 e 9 indicam os resultados observados para o parâmetro $G^*/\sin(\delta)$ antes e após RTFO. O mesmo trata-se de uma medida de resistência do ligante asfáltico à deformação permanente.

Figura 8. Variação do parâmetro $G^*/\sin(\delta)$ em função da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) antes do RTFO

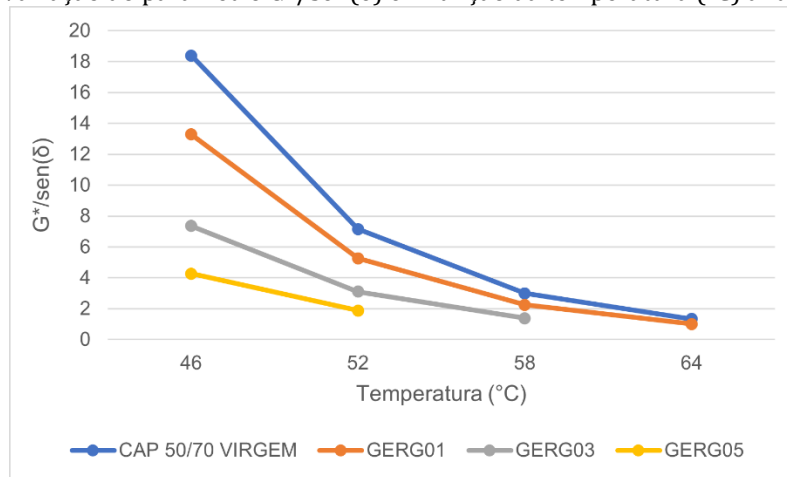
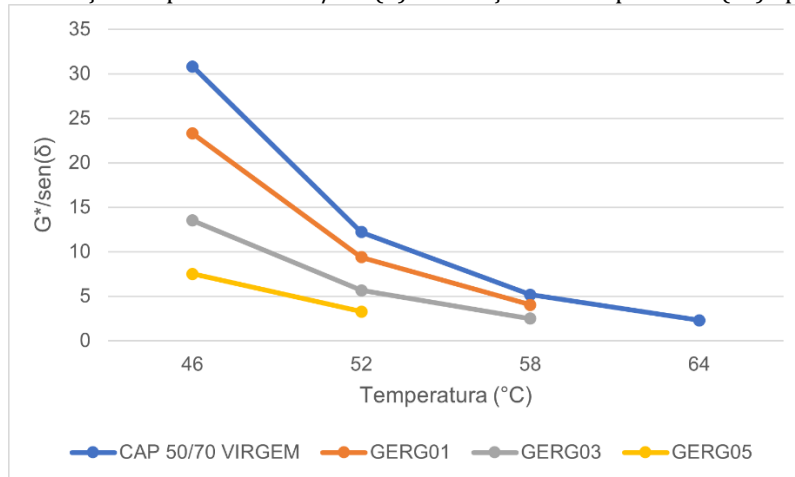


Figura 9. Variação do parâmetro $G^*/\sin(\delta)$ em função da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) após RTFO



Ao verificar os resultados das amostras, é evidente a redução da resistência a deformação permanente diante da adição de óleo de gergelim. Tanto antes, quanto após o RTFO a perspectiva de redução da resistência é bastante similar.

Antes do envelhecimento a curto prazo, o valor mínimo para o parâmetro $G^*/\sin(\delta)$ é 1,0. Nesse contexto, GERGO3 falhou em 64°C e GERGO5 falhou em 64°C e 58°C . Após o envelhecimento a curto prazo, o valor mínimo para o parâmetro $G^*/\sin(\delta)$ é 2,0. Dessa forma, todos os teores de modificação do ligante apresentaram falha na temperatura de 64°C , GERGO5 também falhou em 58°C . Esses parâmetros de falha, indicam as situações onde os ligantes modificados com óleo de gergelim estavam muito deformáveis e fora dos critérios mínimos.

Os resultados do ensaio de *Multiple Stress Creep and Recovery* (MSCR) estão indicados na Tabela 1. Os mesmos contemplam informações sobre o percentual de recuperação, a compliância não recuperável (J_{nr}) e a diferença percentual entre as compliâncias não

recuperáveis (Jnr diff). Além disso, os testes foram realizados na temperatura máxima de PG do ligante virgem (64°C) e nas temperaturas máximas de PG dos ligantes modificados com óleo de gergelim.

Tabela 1. Parâmetros obtidos no teste de fluência e recuperação sob tensão múltipla

Amostra	Ensaio (°C)	Percentual de recuperação (%)		Complância não recuperável Jnr (kPa ¹)		Jnr diff (%)
		0,1 kPa	3,2 kPa	0,1 kPa	3,2 kPa	
CAP 50/70 VIRGEM	64	-2,26	0,11	4,44	4,51	1,48
GERG01	64	2,44	-0,01	5,13	5,53	7,74
GERG03	64	1,23	-0,39	8,32	8,91	7,15
GERG05	64	-0,67	-0,96	15,00	16,00	7,27
GERG01	58	2,02	0,86	2,23	2,38	6,50
GERG03	58	0,15	0,30	3,78	3,98	5,48
GERG05	52	3,46	0,53	2,89	3,12	8,24

Segundo Torres (2020), valores de Jnr elevados revelam uma alta suscetibilidade do ligante asfáltico aos efeitos da deformação permanente. Nesse contexto, para a temperatura de PG máxima de 64°C, todas as amostras modificadas com óleo de gergelim apresentaram aumento desse parâmetro quando comparado ao CAP 50/70 virgem.

De acordo com a AASTHO M320 (2016), é possível avaliar o volume de tráfego a partir do valor de Jnr a 3,2 kPa. Nesse contexto, somente os ligantes modificados com óleo de gergelim nas temperaturas de PG de 58°C e 52°C atenderam as condições de nível de tráfego padrão (S). Para a temperatura de PG de 64°C todas as amostras indicaram valores de Jnr a 3,2 kPa acima de 4,0, valores não contemplados na classificação estipulada pela AASTHO.

Para ligantes asfálticos, os valores de Jnr diff indicam a sensibilidade das amostras ao aumento dos níveis de tensão. Tanto o ligante asfáltico virgem, quanto os ligantes modificados com óleo de gergelim apresentaram valores de Jnr diff abaixo de 75% conforme recomendação da AASTHO M320 (2017).

Outro parâmetro indicado pelo ensaio de MSCR é o percentual de recuperação elástica das amostras durante o tempo de nove segundos após a aplicação de carga para ciclos de tensão de 0,1 kPa e 3,2 kPa. Considerando a temperatura de PG a 64°C, para a tensão de 0,1 kPa todos os ligantes modificados com óleo de gergelim aumentaram a recuperação elástica. Já para a tensão de 3,2 kPa, ocorreu uma redução na recuperação elástica para todos os

ligantes modificados em comparação a amostra virgem.

Embora o aumento da recuperação elástica tenha ocorrido e seja um aspecto positivo para os ligantes modificados na faixa de tensão de 0,1 kPa. O aumento gradual do Jnr dessas amostras indica uma maior susceptibilidade a deformação permanente do que o ligante virgem.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos ensaios realizados observou-se que o óleo de gergelim impactou significativamente nas propriedades reológicas do ligante asfáltico, podendo-se concluir que:

Com relação aos aspectos reológicos para os ligantes modificados, a adição de óleo de gergelim nos teores de 3 e 5% mantiveram a temperatura de PG constante antes e após envelhecimento a curto prazo, indicando uma certa resistência aos efeitos da oxidação. Embora GERG01 apresentou redução da temperatura de PG após RTFO, o efeito da oxidação foi pontual para esse teor diante de uma falha no PG em 62,5°C, valor próximo a temperatura de PG de 64°C para a amostra GERG01 antes do RTFO.

O módulo complexo o parâmetro $G^*/\sin(\delta)$ e o MSCR indicaram que à medida que o teor de óleo de gergelim aumenta, a rigidez e a resistência a deformação permanente dos ligantes modificados diminuem com relação ao ligante virgem. Esse comportamento já era esperado, diante da redução da viscosidade do CAP 50/70 virgem.

De modo geral, o óleo de gergelim apresentou resultados positivos quanto a melhoria da trabalhabilidade do ligante asfáltico e na redução das temperaturas de usinagem e compactação. Esses aspectos são significativos para o meio ambiente diante da redução das emissões dos gases do efeito estufa.

Com intuito de avançar com as análises realizadas, sugere-se o estudo da aplicação do óleo de gergelim com teores de 1 a 3% em Revestimento Asfáltico Reciclado (RAP), a fim de conhecer os benefícios quanto a diminuição das temperaturas de usinagem e compactação e aprimoramento nos parâmetros de fadiga e deformação permanente.

REFERÊNCIAS

ARRIEL, Nair Helena Castro et al. A cultura do gergelim. Brasília, DF: Embrapa Informação

Tecnológica, 2007. 72 p.

BINDU, C. S., JOSEPH, M. S., SIBINESH, P. S., GEORGE, S., SIVAN, S. (2020).

CARVALHO, J. R. Estudo do comportamento do asfalto modificado com óleo de girassol visando à obtenção de misturas mornas. 2018. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2018. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/397>.

Confederação Nacional do Transporte (CNT). Transporte rodoviário: impactos da qualidade do asfalto sobre o transporte rodoviário. Brasília, 2019.

DNIT 095/2006 – EM. Cimentos asfálticos de petróleo – Especificação de material. Rio de Janeiro – RJ, 2006.

GUERRA, T. D. Utilização do óleo de canola para redução das temperaturas de usinagem e compactação de misturas asfálticas. 2019. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019.

JIANG, Y.; GU, X.; ZHOU, Z.; NI, F.; DONG, Q. Laboratory Observation and Evaluation of Asphalt Blends of Reclaimed Asphalt Pavement Binder with Virgin Binder using SEM/EDS. Transportation Research Record. p. 1-10, 2018.

KARLSSON, I.; ROOTZÉN, J.; JOHNSON, F. Reaching net-zero carbon emissions in construction supply chains – Analysis of a Swedish road construction Project. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 120, 2020.

LEI, Z.; BAHIA, H.; YI-QIU, T. Effect of bio-based and refined waste oil modifiers on low temperature performance of asphalt binders. Construction and Building Materials. EUA, n. 86 p. 95-100, 2015.

LUCENA, L. C. F. L.; SILVEIRA, I. V.; COSTA, D. B. Avaliação de ligantes asfálticos modificados com óleo da moringa oleífera lam para uso em misturas mornas. Revista Matéria, Brasil, v. 21, n. 01, p. 72-82, 2016.

MELO, J. V. S., TRICHÊS, G. (2016). Effects of organophilic nanoclay on the rheological behavior and performance leading to permanent deformation of asphalt mixtures. Journal of Materials in Civil Engineering, 28 (11).

NETO, O. M. M. Viabilidade de misturas asfálticas recicladas com ácido graxo da borra do óleo de soja. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2022. 154f.

Performance evaluation of warm mix asphalt using natural rubber modified bitumen and cashew nut shell liquid. International Journal of Pavement Research and Technology, 13, 442-453.

PORTUGAL, A. C. X.; LUCENA, L. C. F. L.; LUCENA, A. E. F. L.; COSTA, D. B. Rheological performance of soybean in asphalt binder modification. Road Materials and Pavement

Design. v. 19, n. 4, p. 768-782. 2017.

SILVA, G. G. da. Estudos Reológicos de Aditivos Utilizados na Fabricação de Misturas Mornas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil, 2016.

TORRES, P. R. B. Estudo de misturas asfálticas recicladas modificadas com a adição de óleo vegetal residual. 2020. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental – Ppgeca, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2020.

XIN, X., LIANG, M., YAO, Z., SU, L., ZHANG, J., LI, P., SUN, C., JIANG, H. (2020). Self-sensing behavior and mechanical properties of carbon nanotubes/epoxy resin composite for asphalt pavement strain monitoring. *Construction and Building Materials*, 257, 10.

CAPÍTULO XVI

GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE: UTILIZAÇÃO DE LIGNINA PROVENIENTE DA PRODUÇÃO DE PAPEL E CELULOSE COMO MODIFICADOR DE LIGANTES ASFÁLTICOS

**Marcelia Pitombeira da Silva
Ana Maria Gonçalves Duarte
Manoel Leandro Araújo e Farias
Arthur Nóbrega de Souza
Hillary de Oliveira Marinho
João Pedro Silveira Salustiano
Maria Fernanda Farias Magalhães
Cáyra Vitória Brito de Sousa E Silva**

DOI: 10.5281/zenodo.17306931

1. INTRODUÇÃO

O crescimento A crescente demanda por soluções sustentáveis na engenharia civil tem impulsionado pesquisas voltadas à substituição de materiais tradicionais por alternativas ecologicamente viáveis. No setor de infraestrutura viária, o emprego de aditivos no ligante asfáltico visa melhorar suas propriedades mecânicas e prolongar a vida útil do pavimento. Nesse contexto, a lignina, subproduto da indústria de papel e celulose, surge como um potencial modificador de ligantes asfálticos, contribuindo tanto para a eficiência

do material quanto para a valorização de um resíduo industrial.

A lignina é um biopolímero complexo e tridimensional encontrado na parede celular dos vegetais e é responsável por conferir resistência mecânica e impermeabilidade à madeira. Sua abundância pode variar de 15% a 30%, dependendo da espécie vegetal de origem. O processo industrial de produção de celulose separa a lignina da fibra de celulose para a fabricação de papel, resultando na geração de grandes volumes desse subproduto.

Atualmente, a maior parte da lignina extraída nas indústrias papeleras é utilizada para geração de energia térmica, sendo que apenas uma pequena fração é destinada a aplicações de maior valor agregado, como a síntese de resinas, biopolímeros e modificadores asfálticos. De acordo com a Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel (ABTCP), a indústria brasileira de celulose gera anualmente milhões de toneladas de lignina, mas menos de 5% desse volume é reaproveitado para outras finalidades. A valorização desse subproduto por meio de novas aplicações industriais pode contribuir significativamente para a economia circular, reduzindo a dependência de insumos fósseis e minimizando o impacto ambiental do setor papelero.

A incorporação de lignina ao ligante asfáltico tem sido amplamente estudada devido ao seu potencial de melhorar as propriedades mecânicas e químicas do asfalto. Estudos demonstram que a adição de lignina pode atuar como um modificador rígido, aumentando a viscosidade do ligante e reduzindo a deformação permanente sob cargas repetitivas. Ensaio reológicos indicam que ligantes modificados com lignina apresentam maior resistência ao envelhecimento térmico e menor sensibilidade à temperatura, fatores essenciais para garantir maior durabilidade do pavimento. Além disso, a lignina pode melhorar a adesão entre o ligante e os agregados minerais da mistura asfáltica, reduzindo problemas como descolamento e exsudação.

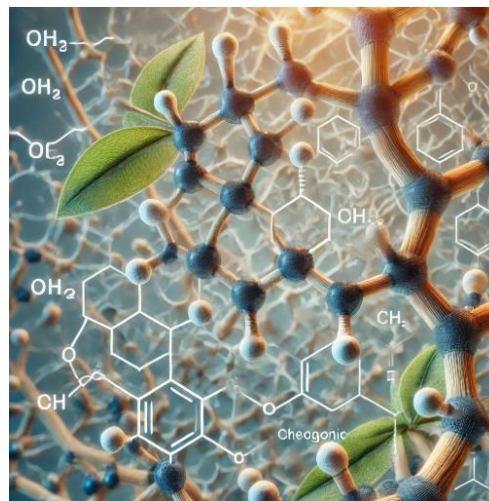
Os métodos de incorporação da lignina ao ligante asfáltico incluem a mistura direta, em que a lignina em pó é adicionada ao ligante aquecido, e a dispersão controlada, que envolve processos químicos para aumentar a compatibilidade entre a lignina e os componentes do ligante. A escolha do método adequado depende do tipo de lignina utilizada e das propriedades desejadas para o asfalto modificado.

A substituição parcial de derivados de petróleo por lignina na formulação de ligantes asfálticos oferece diversos benefícios ambientais. A utilização desse biopolímero contribui para a redução da dependência de insumos fósseis, minimizando as emissões de CO₂ associadas à produção de ligantes asfálticos convencionais. Além disso, a reutilização desse

subproduto na pavimentação viária reduz a necessidade de extração de novos recursos naturais e diminui a quantidade de resíduos descartados pela indústria de papel e celulose. Estudos indicam que o uso de lignina pode reduzir em até 30% as emissões de gases do efeito estufa na produção de asfalto modificado.

A Figura 1 apresenta a estrutura molecular da lignina, evidenciando sua composição complexa e sua importância como modificador de ligantes asfálticos.

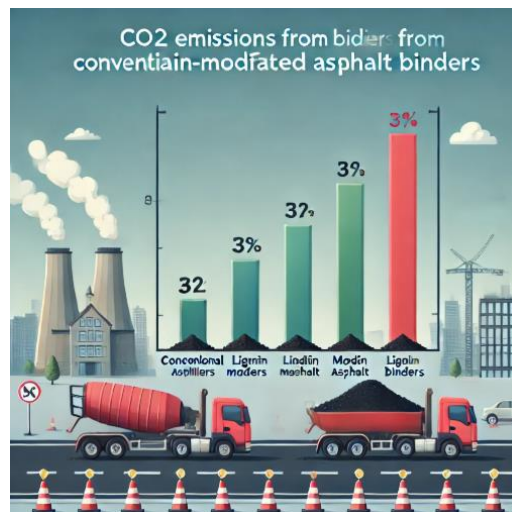
Figura 1 - Estrutura molecular da lignina



Fonte: Adaptado de Sun et al., (1997)

A Figura 2 ilustra a comparação da emissão de CO₂ entre ligantes asfálticos convencionais e aqueles modificados com lignina, destacando os benefícios ambientais da substituição parcial de derivados de petróleo.

Figura 2 – Comparação da emissão de CO₂ entre ligantes asfálticos convencionais e aqueles modificados com lignina



Fonte: Adaptado de Sobreiro, 2014

Diante disso, recomenda-se expandir a viabilidade do uso do PET em produtos que demandem menores esforços compressivos e aprimorar suas propriedades mecânicas, visando um destino sustentável para esses resíduos na construção civil.

2. MATERIAIS E METODOLOGIA

2.1. Materiais

Para realização desta pesquisa foram utilizados os seguintes materiais:

- CAP 50/70, obtido pelo processo de destilação do petróleo pela refinaria Duque de Caxias (REDUC), pertencente à Petrobras S/A, e distribuído, pela empresa Brasquímica Produtos Asfálticos Ltda, localizada no município de Candeias-BA.
- Lignina, utilizada neste estudo foi extraída da madeira do Pinus e cedida pelo Laboratório de Química Inorgânica da Universidade Federal de Viçosa.

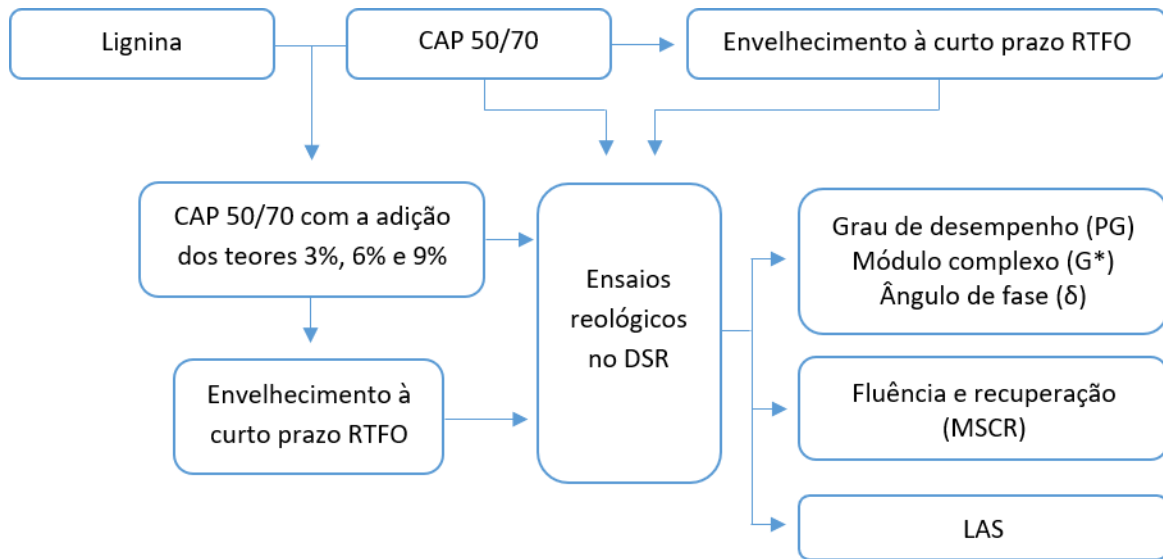
2.2. Metodologia

A metodologia utilizada para desenvolvimento desta pesquisa segue as normas da ASTM (American Society for Testing Materials), da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e da American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Engenharia de Pavimentos (LEP) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). O fluxograma da Figura 3 ilustra a sequência de atividades realizadas para a determinação das propriedades reológicas dos ligantes com a adição de lignina e na condição pura.

Figura 3 – Fluxograma de atividades realizadas para o estudo do comportamento reológico do ligante modificado com lignina proveniente de Pinus.

Figura 3 - Fluxograma das etapas da pesquisa



2.2.1. Mistura da lignina ao ligante

No processo de produção de amostras do CAP modificado com lignina proveniente de Pinus, foi utilizado um agitador mecânico FISATOM Modelo 72, Figura 4.

Figura 4 – Misturador (FISATOM, Modelo 72)



Foram preparadas amostras denominadas de “Pinus 3%”, “Pinus 6%” e “Pinus 9%” em conformidade com o teor de lignina presente em peso, no intuito de analisar as melhorias no comportamento reológico que a adição de lignina confere ao ligante puro. Para tal fim, seguindo as instruções do fabricante, o CAP 50/70 foi aquecido até 160°C e

adicionou-se gradativamente a quantidade de lignina correspondente para cada amostra, mantendo-se constantes a rotação de 2000 rpm e 160°C de temperatura durante 30 minutos.

2.2.2. RTFO (Estufa de Filme Rotativo)

No procedimento RTFO, que segue a norma ASTM D 2872-97, uma fina película de asfalto de 35g é continuamente girada dentro de um recipiente de vidro a 163°C por 85 minutos, com injeção de ar. A amostra de ligante asfáltico em movimento sofre oxidação e evaporação devido aos efeitos do calor e do ar, determinados a partir de alterações nos valores das análises físicas medidas antes e depois do tratamento no forno.

Realizado no aparelho ilustrado da Figura 5, o procedimento possibilita a identificação de mudanças nas propriedades do asfalto que podem ocorrer durante a usinagem e compactação da mistura, verificadas por variações nas propriedades de constância. Também pode ser usado para se determinar a variação de massa indicando assim a volatilidade ou oxidação do asfalto.

Figura 5 - Aparelho de RTFO



2.2.3. DSR (Reômetro de Cisalhamento Dinâmico)

O reômetro de cisalhamento dinâmico é utilizado na determinação de parâmetros viscoelásticos do ligante asfáltico, como a máxima temperatura do Grau de desempenho (PG) e indicadores da elasticidade e da rigidez, o ângulo de fase (δ) e o módulo complexo de

cisalhamento (G^*), respectivamente.

Para encontrar tais parâmetros, utilizou-se um DSR, modelo Discovery Hybrid Rheometer - DHR 1, ilustrado na Figura 18. No ensaio uma amostra circular de material asfáltico é colocada entre dois pratos circulares paralelos, o inferior é fixo e o superior oscila submetendo o ligante a tensões cisalhantes oscilatórias, numa frequência de 10 rad/s e deformação de 10% nas amostras. Além disso, a temperatura no DSR varia de 6 em 6°C na faixa de 46 a 82°C.

Figura 6 – Reômetro de cisalhamento dinâmico.



Outros testes realizados no DSR foram o MSCR (Multiple Stress Creep Recovery) e o LAS, que tem como objetivo avaliar a capacidade do material em manter sua resposta elástica e determinar a resistência à fadiga de ligantes asfálticos.

2.2.3.1. MSCR (Multiple Stress Creep Recovery)

A American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) utiliza o reômetro de cisalhamento dinâmico ou DSR (Dynamic Shear Rheometer) para um ensaio conhecido como Repeated Creep and Recovery Test (RCRT), para a caracterização da resistência dos ligantes asfálticos à deformação permanente. Recentemente foi proposto aperfeiçoamento desse ensaio que agora é conhecido como ensaio de Fluência e Recuperação Sob Tensão Múltipla (Multiple Stress Creep Recovery-MSCR).

A execução do MSCR é feita com a amostra submetida ao envelhecimento de curto prazo no RTFO. No ensaio é utilizado o reômetro de cisalhamento dinâmico (DSR) para aplicar uma carga constante que é estabelecida pela norma ASTM D7405, cujos valores

são de 100 e 3200 Pa, o tempo de execução dessa carga é determinado em 1s e 9s de repouso formando um ciclo que é repetido por 10 vezes. Como resultado do ensaio tem-se indicadores da deformação permanente do asfalto, os parâmetros Jnr e % Rec.

2.2.3.2. PG (Performance Grade)

A especificação de ligantes SUPERPAVE é baseada na rigidez do material virgem e envelhecido, medidas numa combinação de propriedades viscoelásticas, influenciadas por temperatura e tempo de carregamento (MCGENNIS et al, 1994). São estabelecidas classes pelo grau de desempenho dos ligantes (PG-Performance Grade) ligado a temperatura de campo, por exemplo, PG 64-22, onde o primeiro número 64, chamado de grau a alta temperatura, significa que o mesmo possui propriedades físicas adequadas até 64°C e o -22 chamado grau a baixa temperatura, significa que o ligante possui propriedades físicas compatíveis com a temperatura do pavimento até -22°C.

2.2.3.3. LAS

Este ensaio preconizado pela norma AASHTO TP101-14, busca caracterizar o comportamento do ligante asfáltico através de esforços de fadiga. Para isto, o ensaio é feito em duas etapas distintas: Na primeira, faz-se uma varredura de frequência de 0,1-30Hz, a uma amplitude de deformação de 0,1%. Já na segunda etapa faz-se uma varredura de amplitude de deformação a uma amplitude de 0,1-30% de deformação, a uma frequência fixa de 10Hz. Para estes ensaios foi utilizada a temperatura de 25°C e a sequência de carregamentos consiste em intervalos de 10 segundos a uma amplitude de deformação constante, sendo cada intervalo seguido por outro intervalo com uma amplitude de deformação maior. Após estas etapas são feitas leituras do comprimento das trincas ocasionadas nas rupturas por fadiga para posterior análise (PAMPLONA, 2013).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. PG - Grau de Desempenho (Performance Grade)

Na pesquisa, optou-se por não determinar o PG mínimo, uma vez que temperaturas abaixo de zero são raramente registradas na maior parte do território brasileiro.

O parâmetro $G^*/\sin \delta$ representa a resistência do ligante à deformação quando submetido a uma carga cisalhante, considerando sua resposta elástica. De acordo com a especificação Superpave, a temperatura de PG corresponde ao ponto em que os valores de $G^*/\sin \delta$ são superiores a 1,0 kPa para amostras antes do RTFO e 2,2 kPa após o RTFO, garantindo resistência adequada ao acúmulo de deformações permanentes.

As Figuras 7 e 8 apresentam o comportamento do parâmetro $G^*/\sin \delta$ para temperaturas entre 46°C e 76°C, comparando as amostras de CAP puro e modificadas com lignina extraída de Pinus, respectivamente antes e após o RTFO.

Figura 7 – Parâmetro $G^*/\sin \delta$ antes do RTFO.

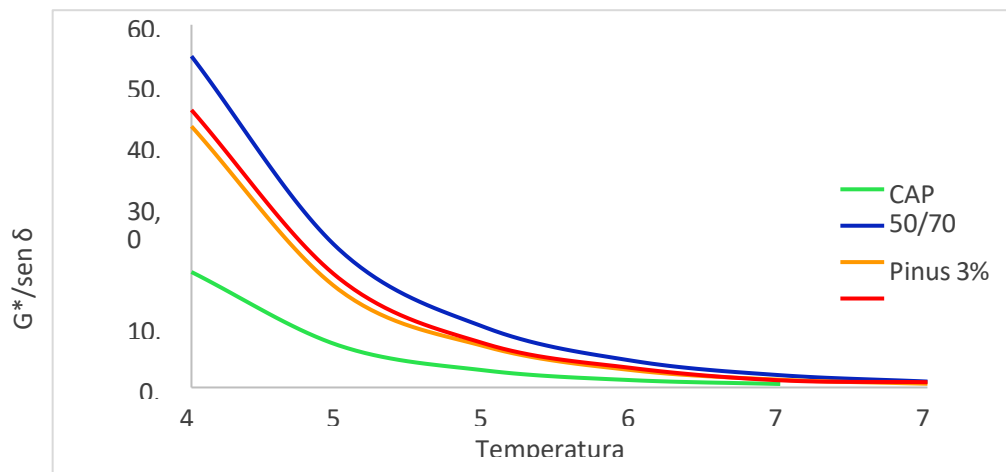
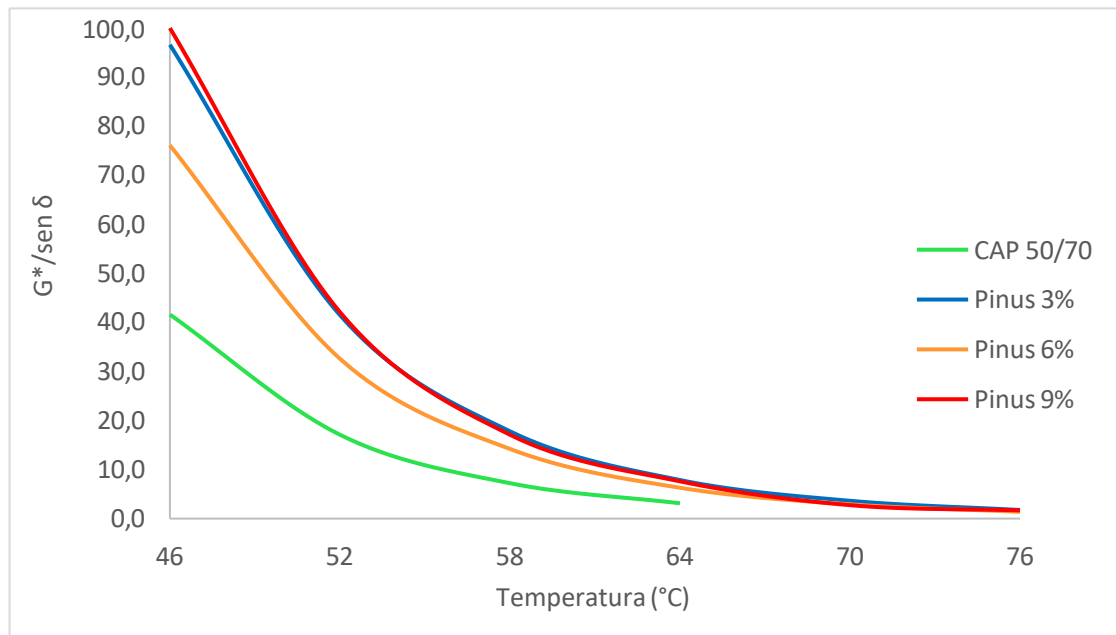


Figura 8 – Parâmetro $G^*/\sin \delta$ depois do RTFO.



Antes do processo de envelhecimento, o ligante CAP 50/70 modificado com 3% de lignina de *Pinus* apresentou os maiores valores do parâmetro $G^*/\sin \delta$ em comparação com os demais ligantes avaliados dentro da faixa de temperatura do ensaio. Após o envelhecimento, os ligantes com 3% e 9% de lignina demonstraram os maiores valores de $G^*/\sin \delta$, sendo que seus resultados foram praticamente equivalentes.

O CAP puro obteve valores de $G^*/\sin \delta$ inferiores aos dos ligantes modificados com 3%, 6% e 9% de lignina de *Pinus* em todas as temperaturas analisadas, tanto antes quanto após o RTFO. Dessa forma, a incorporação da lignina resultou no aumento do $G^*/\sin \delta$ e, conseqüentemente, na elevação da temperatura máxima de uso do CAP. Esse aumento no PG sugere que o crescimento do Módulo Complexo (G^*) superou a variação do $\sin \delta$, indicando um acréscimo na viscosidade das amostras contendo lignina de *Pinus*.

Assim, a modificação dos ligantes asfálticos com lignina contribui para um material com maior rigidez e resistência à deformação permanente. No entanto, a viscosidade influencia diretamente a capacidade do ligante de se aderir aos agregados na mistura asfáltica. Com isso, a adição de lignina reduz a trabalhabilidade do ligante no campo, tornando necessário o uso de temperaturas mais elevadas durante a pavimentação.

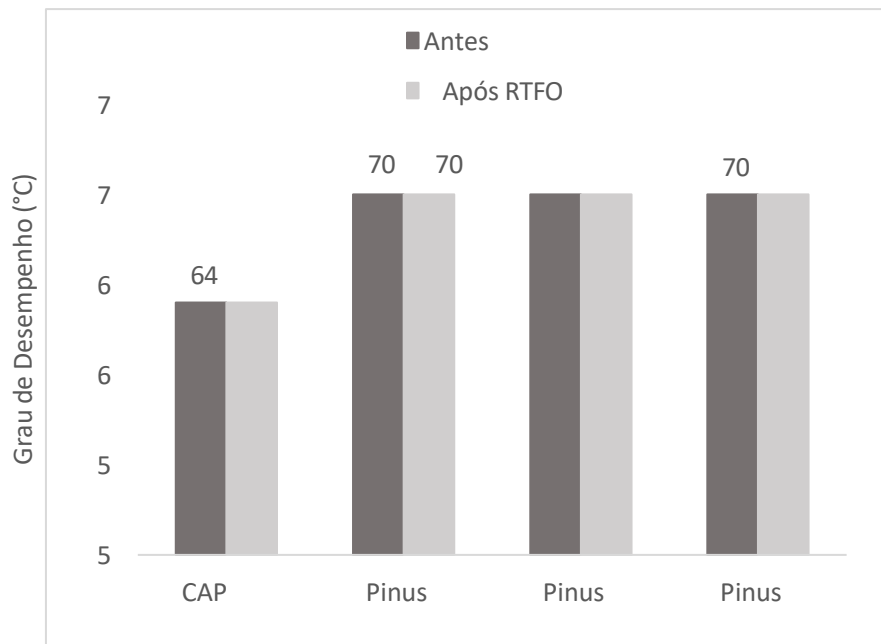
Com base nos resultados apresentados nas Figuras 7 e 8, o ligante modificado com 3% de lignina de *Pinus* destacou-se em relação aos demais, indicando que esse teor

proporcionou maior resistência ao material.

Todos os ligantes analisados apresentaram um aumento na razão $G^*/\sin\delta$ após o RTFO, dentro da faixa de temperatura ensaiada, devido ao crescimento do teor de asfaltenos como consequência do processo de oxidação.

Considerando os valores de $G^*/\sin\delta$ nos estados virgem e envelhecido a curto prazo, apresentados nas Figuras 7 e 8, foi elaborado um gráfico com as temperaturas máximas para os CAPs puro e modificados com 3%, 6% e 9% de lignina de *Pinus*. A Figura 9 ilustra o Grau de Desempenho (PG) dos ligantes antes e após o RTFO.

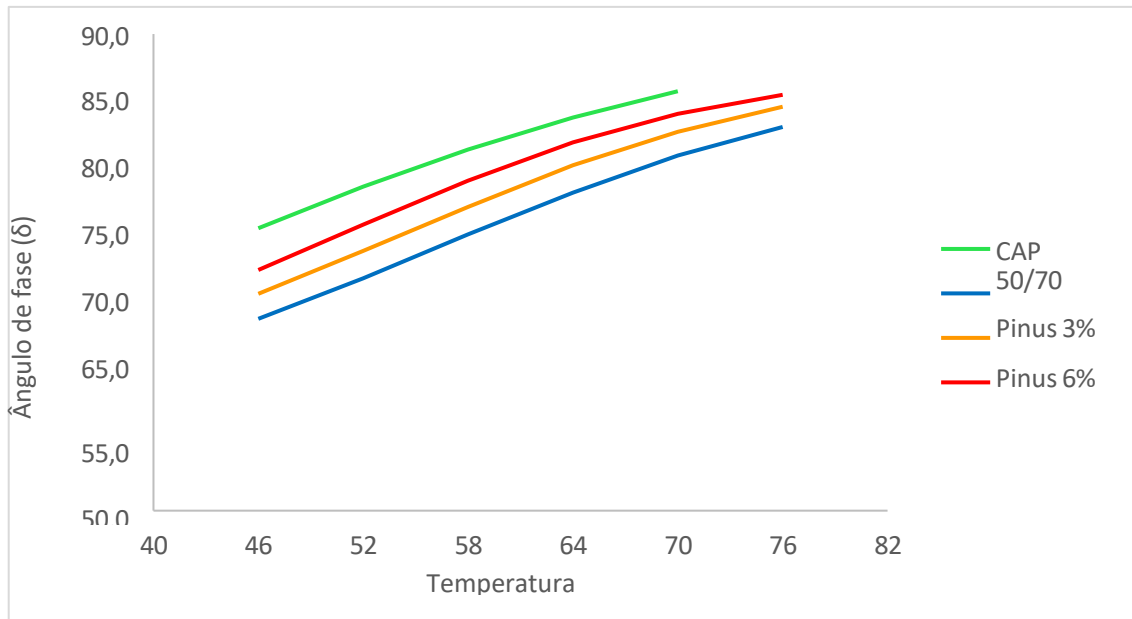
Figura 9 – PG dos ligantes antes e após RTFO.



A incorporação dos modificadores resultou em um aumento da temperatura máxima do PG, que passou de 64°C (PG 64-XX) para 70°C (PG 70-XX). Esse incremento indica que todas as amostras contendo lignina de *Pinus* tendem a apresentar maior resistência à deformação permanente em serviço, quando comparadas às misturas asfálticas produzidas com CAP puro.

A Figura 10 apresenta os resultados dos ângulos de fase para os ligantes puro e modificados com teores de 3%, 6% e 9% de lignina de *Pinus* antes do RTFO.

Figura 10 – Ângulos de fase dos ligantes antes do RTFO.

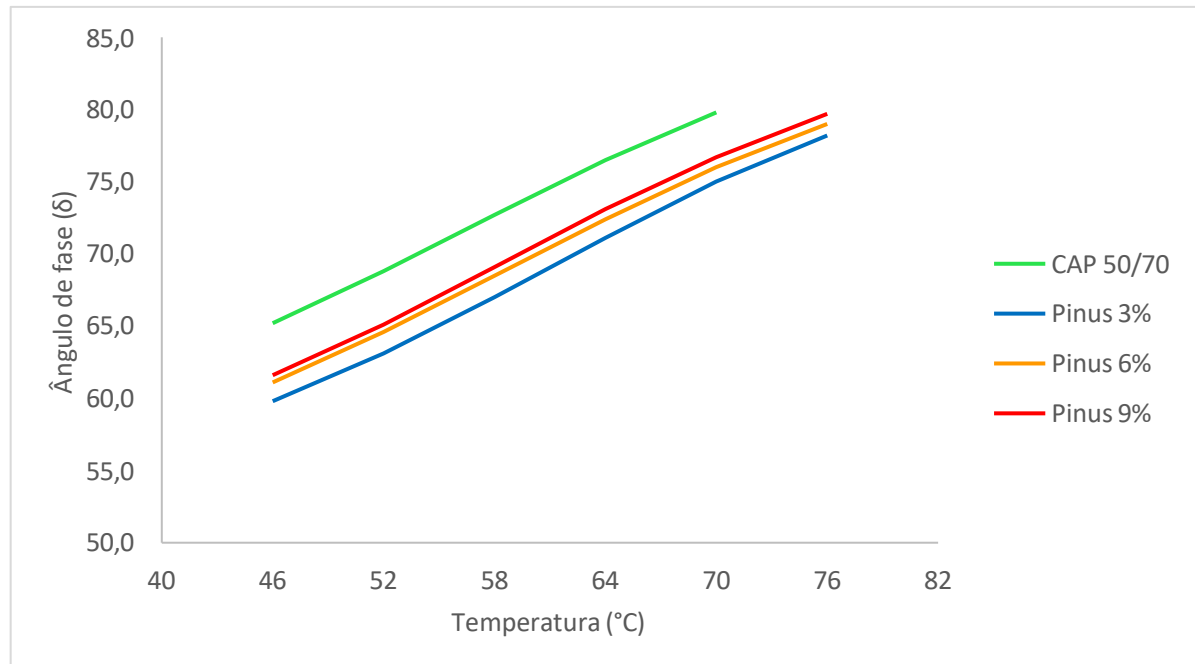


Conforme demonstrado na Figura 10, a incorporação de lignina de *Pinus* contribuiu para o aumento da elasticidade do CAP puro. Isso pode ser observado nas curvas correspondentes aos ligantes modificados com teores de 3%, 6% e 9% de lignina, que apresentam valores de δ menores em comparação ao ligante puro, dentro da faixa de temperatura entre 46°C e 76°C. Um pavimento mais elástico tende a oferecer maior resistência ao trincamento devido às variações térmicas, bem como à deformação permanente. Assim, os resultados sugerem que os ligantes modificados com lignina podem conferir maior durabilidade à camada asfáltica em relação ao CAP puro.

O ligante contendo 3% de lignina de *Pinus* apresentou os menores valores de δ , evidenciando o maior comportamento elástico entre as amostras testadas. Ao analisar individualmente os resultados ilustrados na Figura 22, observa-se que todos os ligantes experimentaram uma redução da elasticidade à medida que a temperatura do ensaio aumentava.

Os resultados dos ângulos de fase dos ligantes puro e modificados com 3%, 6% e 9% de lignina após o RTFO estão representados na Figura 11.

Figura 11 – Ângulos de fase dos ligantes após o RTFO.



Na Figura 11, as curvas que representam os ligantes com a adição de lignina de Pinus apresentam valores de δ inferiores à curva do ligante puro para toda a faixa de temperatura do ensaio.

Sabendo-se que ângulos de fase próximos a 90° indicam ligantes com comportamento mais viscoso do que elástico, o ligante com a adição de 3% de lignina de Pinus possui o maior comportamento elástico enquanto o CAP Puro tem menor elasticidade dentre os ligantes.

Comparando os resultados antes e após o envelhecimento, verifica-se que após o envelhecimento os ligantes obtiveram maior rigidez. Tal fato é explicado pela oxidação e evaporação sofrida pelos ligantes durante o envelhecimento, causando mudanças nas propriedades reológicas do asfalto.

3.2. MSCR (Multiple Stress Creep and Recovery)

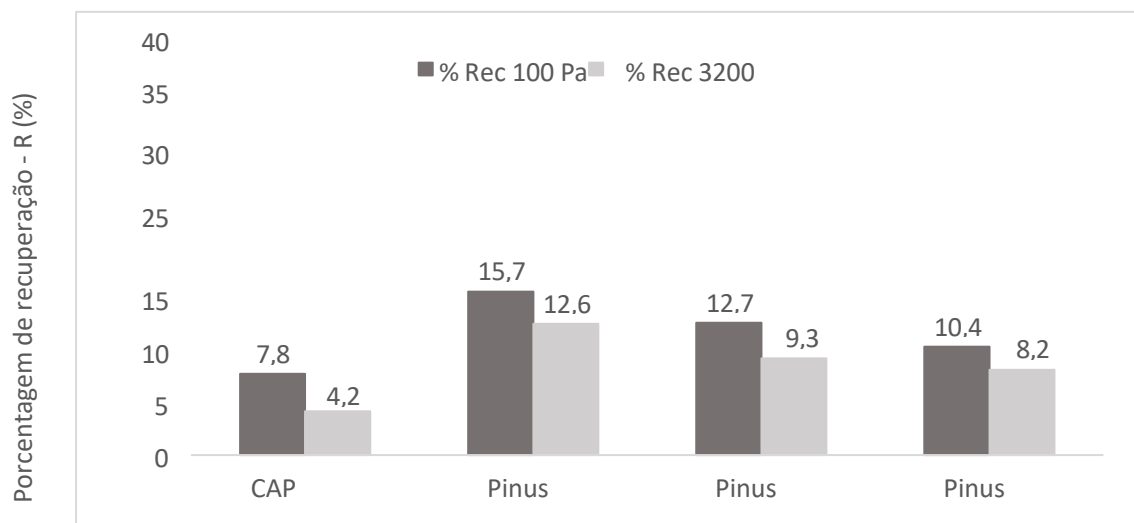
O ensaio de Fluência e Recuperação sob Tensões Múltiplas (MSCR) permite a obtenção de parâmetros mais representativos do que o $G^*/\sin\delta$ para avaliar a resistência à deformação permanente de ligantes asfálticos modificados com lignina de *Pinus*. Isso ocorre porque a estrutura polimérica do material não é completamente ativada pelos níveis de

tensão e deformação empregados na determinação do parâmetro $G^*/\sin\delta$.

Os ensaios MSCR foram conduzidos nas temperaturas máximas do PG, uma vez que, conforme recomendado pelo *Asphalt Institute* (2010), as análises devem ser realizadas na temperatura à qual o ligante será exposto ao longo de sua vida útil.

A Figura 12 apresenta os resultados do percentual de recuperação (%R) para o CAP puro e os ligantes modificados com 3%, 6% e 9% de lignina de *Pinus* em peso.

Figura 12 – Percentual de recuperação (%R) à 100 e 3200 Pa.



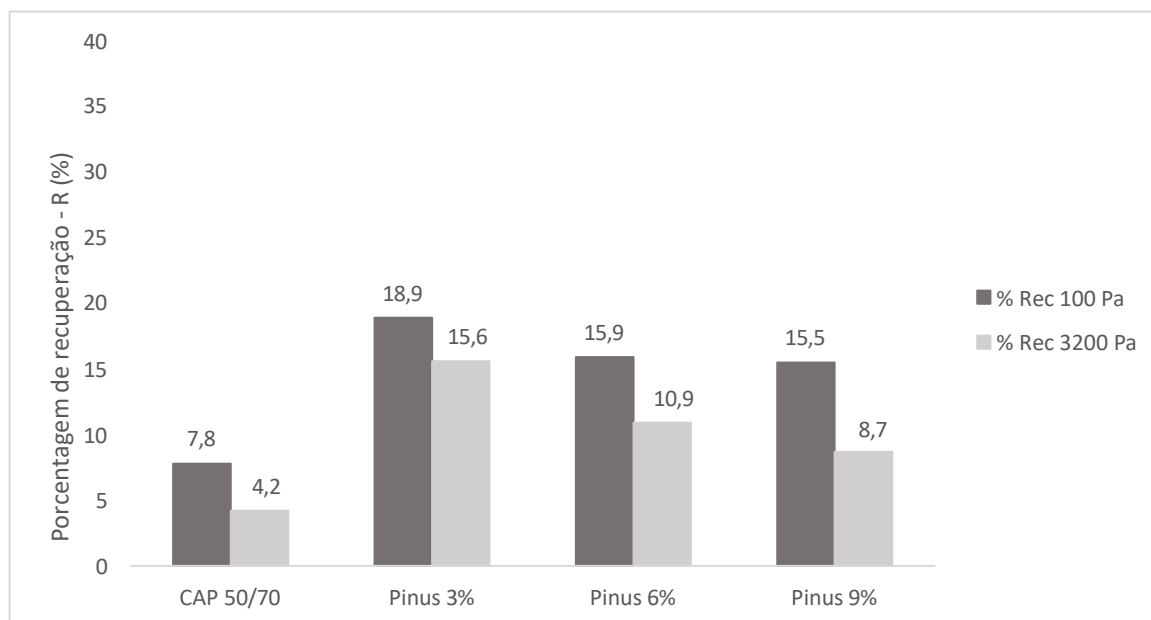
Ao analisar os resultados dos percentuais de recuperação dos ligantes, observa-se que a adição de lignina de *Pinus* resultou em um aumento nos valores desse parâmetro em ambos os níveis de tensão aplicados, 100Pa e 3200Pa. O CAP puro apresentou os menores valores de recuperação, o que indica que os ligantes modificados possuem maior elasticidade e resistência à deformação permanente em comparação ao ligante convencional. Além disso, tanto o CAP puro quanto os ligantes modificados demonstraram melhor recuperação elástica no nível de tensão de 100Pa.

O ligante com 3% de lignina de *Pinus* apresentou os maiores percentuais de recuperação nos dois níveis de tensão analisados, 100Pa e 3200Pa. Isso sugere que esse ligante apresenta menor acúmulo de deformação plástica após cada ciclo de fluência e recuperação, evidenciando uma maior resistência à deformação permanente.

É importante destacar que os valores de recuperação obtidos foram para temperaturas de PG distintas: 64°C para o CAP puro e 70°C para os ligantes modificados com lignina de *Pinus*. Como é sabido, os ligantes asfálticos apresentam um comportamento mais

elástico quando submetidos a temperaturas inferiores. Portanto, para garantir uma comparação equitativa, o ensaio foi realizado na temperatura de PG do CAP puro, ou seja, 64°C. A Figura 13 apresenta os resultados obtidos.

Figura 13 – Percentual de recuperação (%R) à 100 e 3200 Pa, à 64°C.

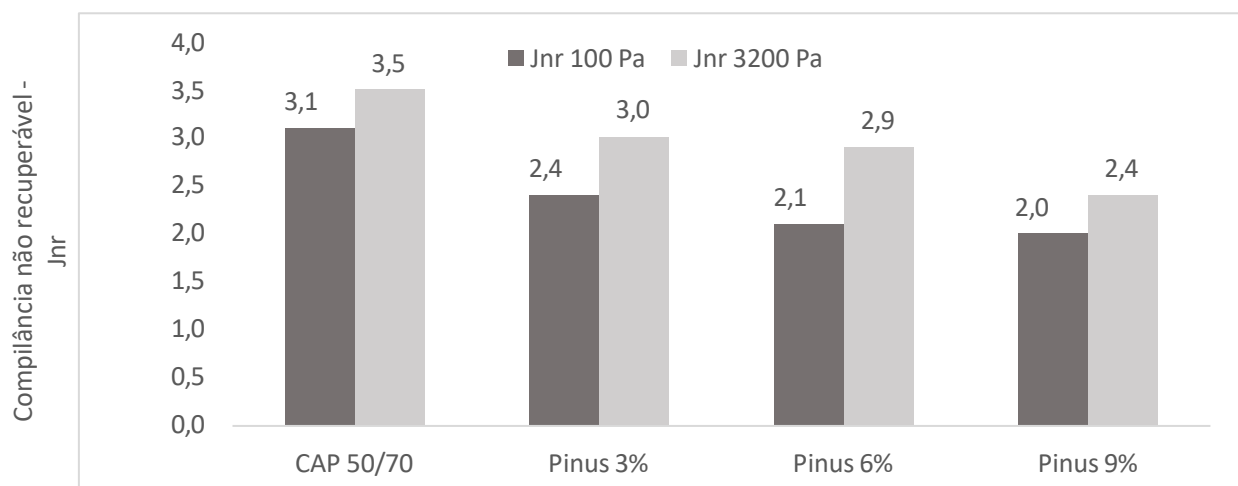


Ao comparar os resultados apresentados nas Figuras 12 e 13, nota-se um aumento nos valores de recuperação (%R) dos ligantes modificados quando submetidos à temperatura de 64°C. Como os ligantes asfálticos são materiais viscoelásticos, seu comportamento varia conforme a temperatura: em temperaturas mais baixas, apresentam maior elasticidade, enquanto em temperaturas elevadas tendem a se comportar como líquidos viscosos. Dessa forma, o aumento dos valores de recuperação está em conformidade com essa característica dos ligantes asfálticos.

O ensaio realizado na temperatura de PG máximo do CAP puro sugere que a adição de lignina de Pinus confere à ligante maior capacidade de recuperar parte da deformação após cada ciclo de fluência. Além disso, a 64°C, o ligante modificado com 3% de lignina apresentou o maior comportamento elástico entre todas as amostras analisadas.

Outro parâmetro obtido por meio do ensaio MSCR é a compliância não recuperável (J_{nr}), que representa a suscetibilidade do material à deformação permanente sob tensão. Na Figura 14, estão apresentados os valores de J_{nr} para os CAPs puro e modificados com adição de lignina de Pinus.

Figura 14 – Valores da compliância não recuperável 100 e 3200 Pa.



Para ambos os níveis de tensões de 100Pa e 3200Pa, os valores da compliância não recuperável (Jnr) são menores para os ligantes modificados. Segundo D'angelo (2010) utiliza-se o parametro Jnr para avaliar a resistência à deformação permanente dos ligantes asfálticos modificados à altas temperaturas.

Valores mais baixos de Jnr indicam uma suscetibilidade menor do ligante asfáltico à deformação permanente. Analisando a Figura 26 verifica-se que quanto maior é o teor de lignina na amostra menores são os valores da compliância não recuperável para ambos níveis de tensão. Dessa maneira, pode-se inferir que ocorre um aumento resistência do CAP Puro à deformação permanente após a adição da lignina de Pinus.

Considerando os resultados obtidos para o Jnr a 3200 Pa, apresenta-se na Tabela 1 a classificação das amostras do CAP Puro e Modificado quanto ao critério de tráfego do FHWA (Federal Highway Administration).

Tabela 1 – Classificação do CAP segundo critério da FHWA.

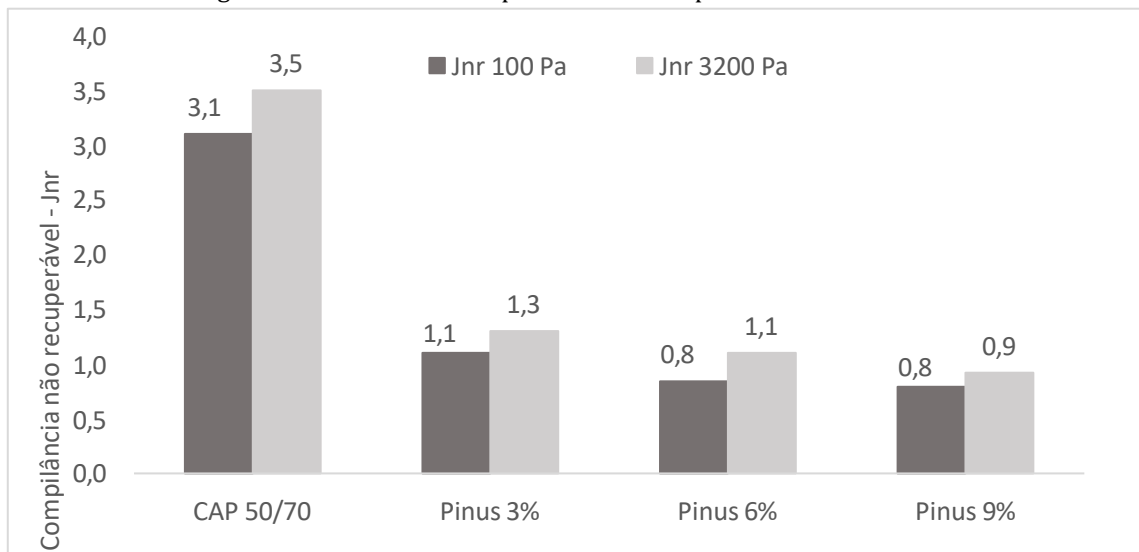
Amostra	PG	Jnr 3.2 (kPa)	Intervalo Jnr (kPa^{-1})	Nível de tráfego
CAP 50/70	64	3,5	$2,0 \leq Jnr \leq 4,0$	Padrão (S)
3% Pinus	70	3,0	$2,0 \leq Jnr \leq 4,0$	Padrão (S)
6% Pinus	70	2,9	$2,0 \leq Jnr \leq 4,0$	Padrão (S)
9% Pinus	70	2,4	$2,0 \leq Jnr \leq 4,0$	Padrão (S)

Observa-se que de acordo com a classificação das amostras quanto o critério de tráfego, todos os ligantes atenderam ao volume de tráfego padrão.

Vale salientar que as temperaturas de PG divergem entre os ligantes puro e os modificados. Dessa forma, à uma temperatura de 64°C, as amostras de CAP com a adição de lignina podem não manter os resultados de Jnr obtidos pelo o ensaio realizado na temperatura máxima do PG desses ligantes, 70°C.

A Figura 15 ilustra os resultados obtidos do ensaio realizado em todas as amostras na temperatura de 64°C, PG máximo do CAP Puro.

Figura 15 – Valores da compliância não recuperável 100 e 3200 Pa à 64°C.



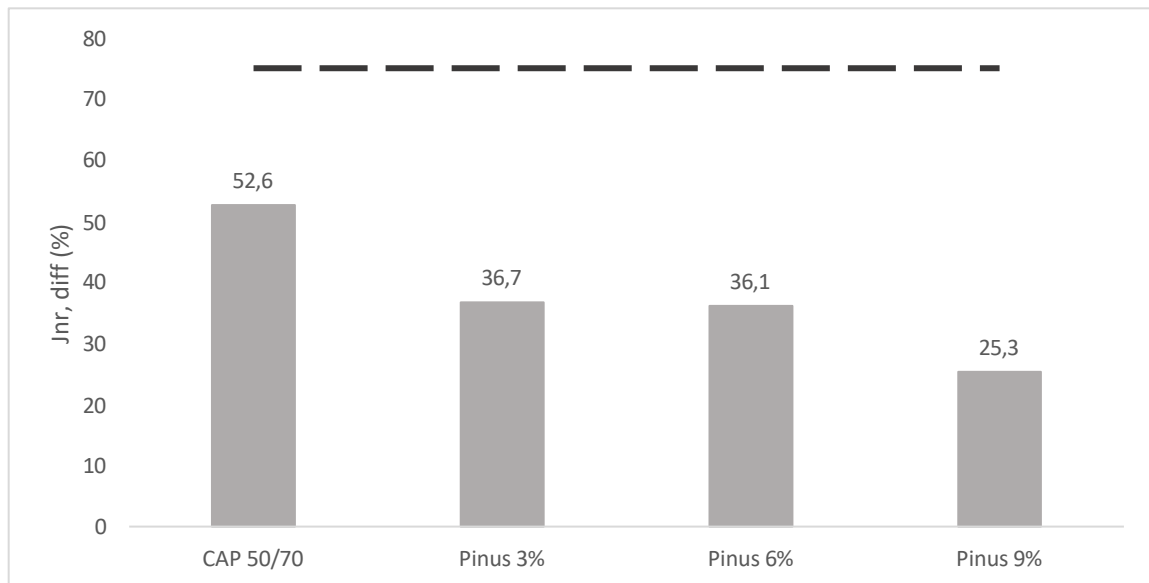
Observa-se que os ligantes com adição de lignina obtiveram menores valores de Jnr na temperatura do PG do CAP Puro em ambos os níveis de tensões de 100Pa e 3200Pa, obtendo maior resistência à deformação permanente.

De acordo com a classificação do FHWA quanto ao tráfego, os ligantes com os teores de 3% e 6% de lignina proveniente de Pinus estariam classificados a suportar tráfego pesado (H), visto que os valores de Jnr estão entre os limites de 1,0 kPa-1 e 2 kPa-1 à 3,2kPa. Os valores de compliância não recuperável obtidos pelo ligante com 9% de lignina indicam tráfego muito pesado (V).

Outro parâmetro obtido no ensaio de MSCR é a diferença percentual entre as compilâncias não- recuperáveis (Jnr, diff) que corresponde à relação entre a diferença do Jnr à 100Pa e 3200Pa.

A Figura 16 ilustra os resultados obtidos de Jnr,diff para o CAP Puro e modificado com a adição de lignina.

Figura 16 – Percentual entre as compilâncias não- recuperáveis.

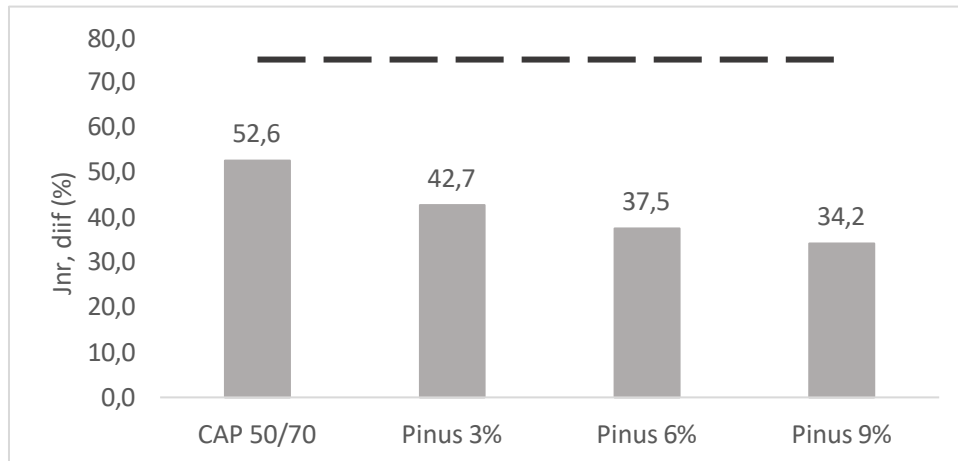


Segundo Sobreiro (2014), para que o CAP não seja excessivamente sensível à variação do nível de tensão, o valor de Jnr, diff não deve exceder 75%. Em relação aos resultados do Jnr, diff observa-se todas as amostras de CAP apresentam diferenças de percentuais inferiores ao limite de 75%, representado pela linha tracejada.

Verifica-se também que quando comparadas ao CAP 50/70 todas amostras com a adição de lignina de Pinus são menos sensíveis a variação de tensões, por apresentarem valores de Jnr, diff inferiores ao do CAP Puro. O Ligante com o teor de 9% apresenta a maior resistência à variação de tensões.

A Figura 17 ilustra os valores de Jnr, diff dos ligantes à temperatura do PG máximo do CAP Puro.

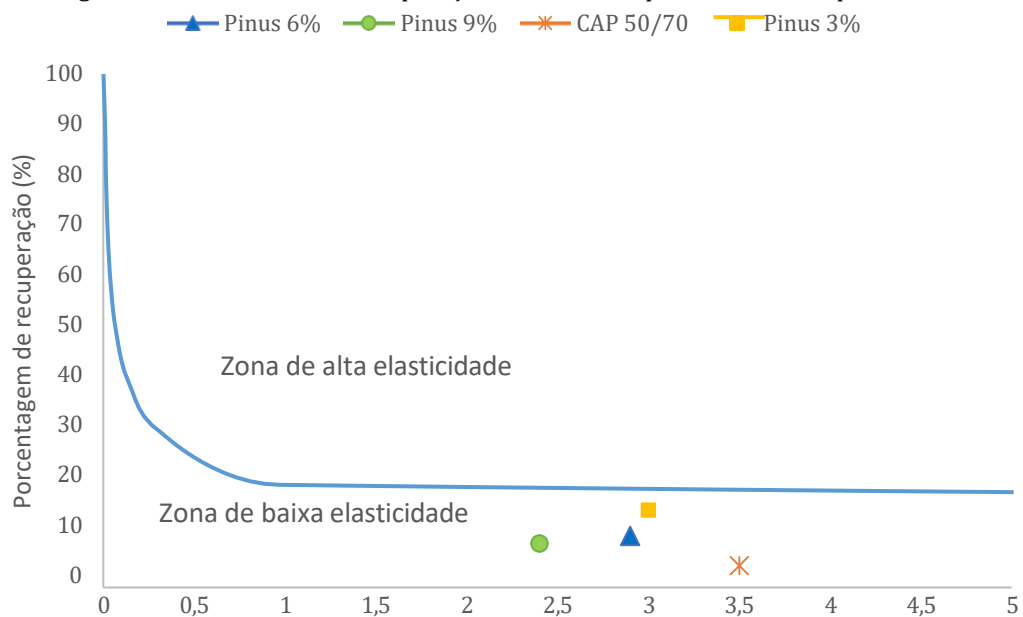
Figura 17 – Percentual entre as compilâncias não- recuperáveis à 64°.



Observa-se que os resultados foram semelhantes ao ensaio realizado ilustrado na Figura 15. As amostras com maiores teores lignina obtém menores valores de Jnr,dif, podendo-se inferir que a adição dos modificadores diminuiu a sensibilidade do ligante às variações de tensão. Nenhuma amostra apresentou diferenças de percentuais inferiores a 75%.

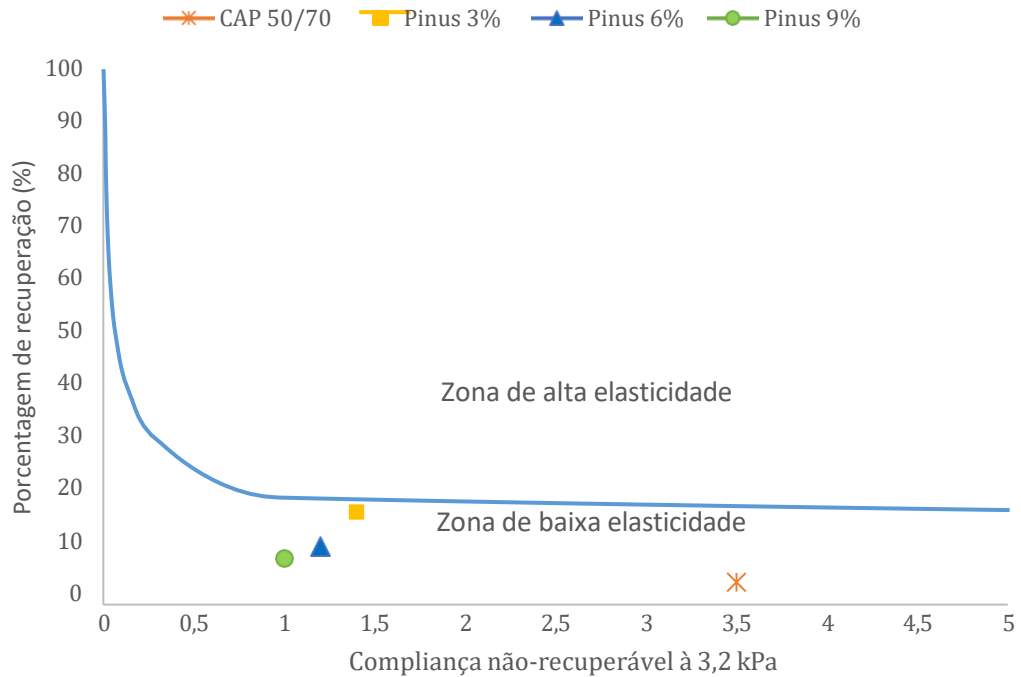
A Figura 18 apresenta o gráfico dos valores dos percentuais de recuperação versus a compliância não-recuperável (Jnr), com o objetivo de analisar o nível elasticidade do CAP Puro e modificados com adição de lignina.

Figura 18 – Percentual de recuperação versus a compliância não recuperável.



O gráfico dos valores dos percentuais de recuperação versus a compliância não-recuperável (J_{nr}), com todas amostras submetidas à 64°C é apresentado na Figura 31.

Figura 19 – Percentual de recuperação versus a compliância não recuperável à 64°C.



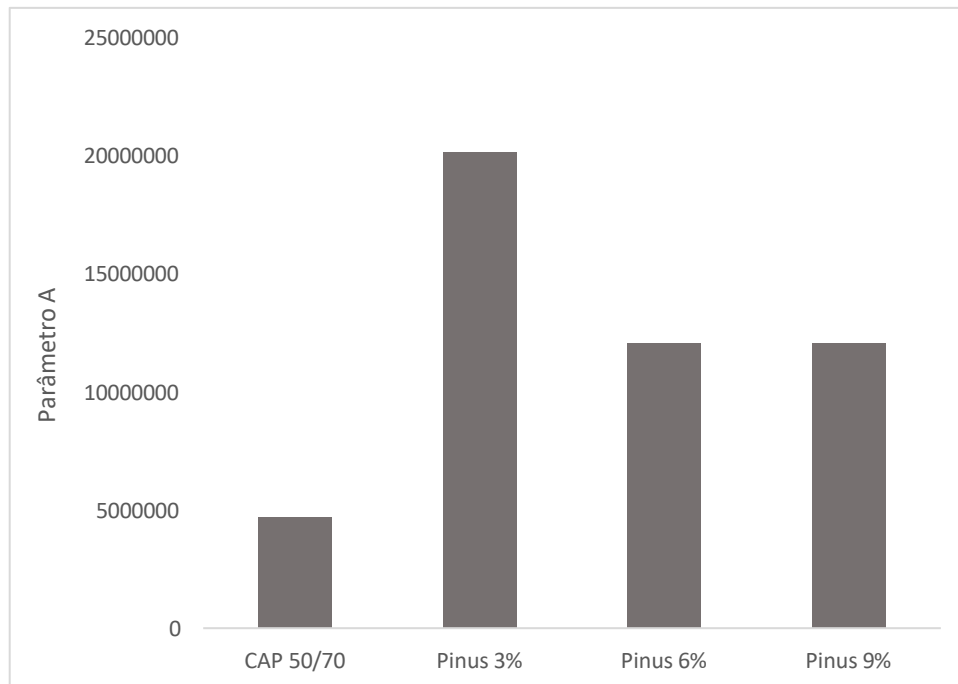
Observando os resultados percebe-se que todas as amostras estão localizadas na zona de baixa elasticidade, para ambas condições de ensaio. Porém, é notável que a adição dos teores de 3%, 6% e 9% de lignina proveniente de Pinus promovem a aproximação das amostras modificadas à zona da alta elasticidade, visto que o percentual de recuperação das amostras e redução dos valores da compliância não recuperável tem valores superiores nos ligantes modificados quando comparados ao CAP Puro.

3.3. LAS

A Figura 20 ilustra os valores do parâmetro “A” obtidos para o CAP Puro e modificados

com a adição dos teores de 3%, 6% e 9% de lignina proveniente de Pinus.

Figura 20 – Valores do parâmetro A.

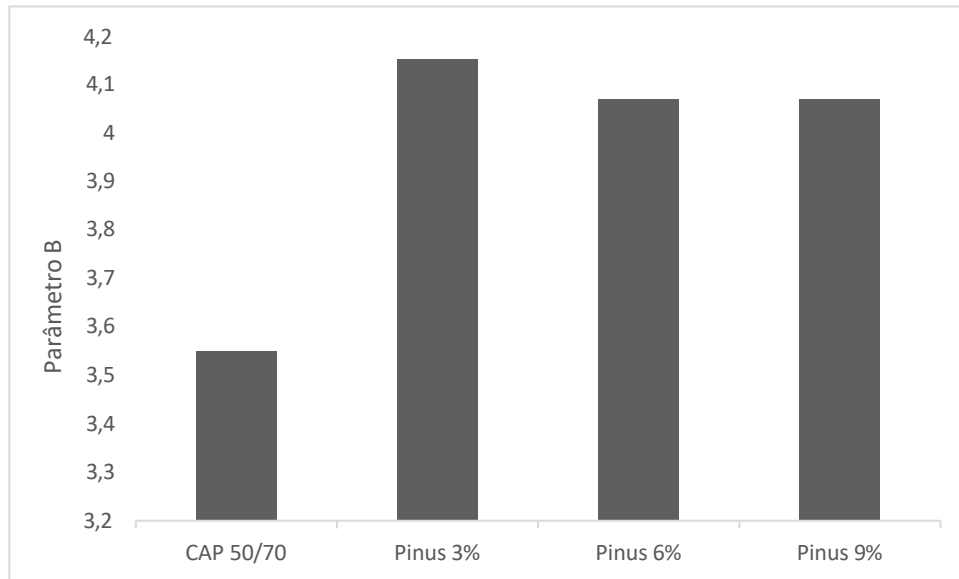


O parâmetro A está relacionado integridade do material em função do dano acumulado, maiores valores desse parâmetro inferem que a integridade inicial da amostra de ligante asfáltico foi mantida. Observa-se que o ligante com a adição do teor de 3% de lignina de Pinus apresentou integridade significativamente maior quando comparando ao CAP Puro. Infere-se também que a adição dos teores de 6% e 9% de lignina aumentou os valores de A e consequentemente uma maior característica de manter à sua integridade inicial.

Segundo Nuñez (2013) se o material preserva sua integridade ao longo do número de ciclos medida por meio do parâmetro $G^*/\sin\delta$, o valor do parâmetro A será elevado. Caso contrário, o ligante asfáltico sofre uma queda rápida dos valores de $G^*/\sin\delta$, o parâmetro A será baixo. Dessa forma, os resultados obtidos com o parâmetro A estão em concomitância aos resultados do parâmetro $G^*/\sin\delta$ obtidos nessa pesquisa, visto que o ligante com 3% de lignina apresentou o maior valor de $G^*/\sin\delta$ e a adição de lignina também promoveu o aumento de $G^*/\sin\delta$, visto que o CAP Puro apresentou os menores valores de $G^*/\sin\delta$.

Na Figura 21 apresentam-se os valores do parâmetro “B” obtidos para os ligantes puro e modificados.

Figura 21 – Valores do parâmetro B.



Segundo Nuñez (2013) o parâmetro B representa a sensibilidade ao nível de deformação. Maiores valores absolutos de B indicam que a vida de fadiga do ligante asfáltico decresce a uma taxa maior quando a amplitude de deformação aumenta. Da mesma forma, baixos valores absolutos de B indicam que a vida de fadiga do ligante asfáltico decresce a uma taxa menor com o aumento da amplitude de deformação (NUÑEZ, 2013).

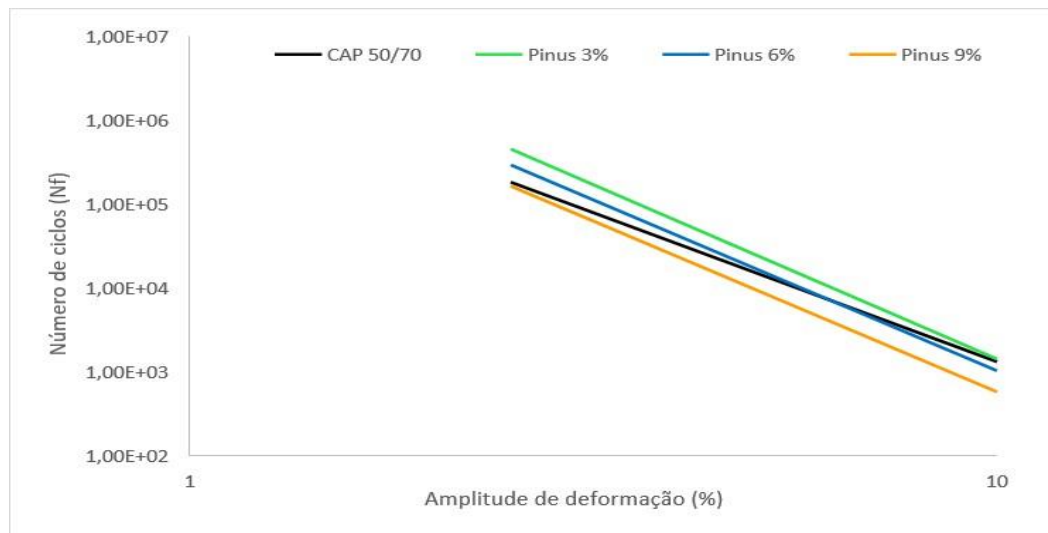
Maiores valores do parâmetro B foram apresentados pelos ligantes com a adição de lignina, implicando que a adição de lignina proveniente de Pinus aumentou a sensibilidade à variação do nível de deformações do CAP Puro.

Segundo Pamplona (2014) o parâmetro B depende da inclinação do gráfico do módulo de armazenamento (G') versus a frequência, obtido a partir do ensaio de varredura de frequência. Dessa forma, a diminuição do parâmetro B dos ligantes modificados implica que a adição de lignina de Pinus aumentou a suscetibilidade ao tempo e variação de temperatura do CAP Puro, visto que há uma diminuição na inclinação do gráfico de G' versus frequência.

Segundo Nuñez (2013) o volume de tráfego suportado pelo ligante em função das deformações aplicadas está relacionado com o número de ciclos até a falha (Nf), indicador da vida de fadiga do material.

A Figura 22 apresenta valores do parâmetro Nf em diferentes níveis de deformação, no intuito de estabelecer uma relação entre a carga aplicada e a vida de fadiga do material, utilizando o princípio de dano contínuo viscoelástico (VECD) a temperatura de 25°C.

Figura 22 – Variação do número de ciclos na ruptura em função da amplitude de deformação.



Dessa forma, de acordo com os dados da Figura 21, o material que se destaca com o melhor comportamento à fadiga é o ligante com o teor de 3% de lignina de Pinus que apresentou valores superiores de Nf para todas amplitudes de deformação. Esse resultado está coerente com os resultados do parâmetro A, já que a amostra com 3% de lignina obteve resultados de maior integridade ao material para diferentes níveis de deformação. Ao analisar a curva referente ao ligante com 3% de lignina observa-se a sua inclinação é maior que a inclinação da curva da amostra de CAP Puro, esse comportamento está em concomitância com os resultados obtidos do parâmetro B, que indicaram uma menor sensibilidade ao nível de deformação para o CAP Puro.

O ligante com 9% de lignina proveniente de Pinus em comparação com o CAP Puro possui pior comportamento à fadiga, uma vez que obteve valores de Nf inferiores ao CAP Puro em todas amplitudes de deformação.

O ligante com 6% de lignina de Pinus apresentou em menores amplitudes uma melhor característica de manter à sua integridade inicial em função do dano acumulado que o CAP Puro. No entanto, como o ligante possui maior sensibilidade ao nível de deformação, CAP Puro obteve melhor comportamento à fadiga em maiores amplitudes.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos no ensaio de ataque por sulfatos para avaliar a durabilidade das argamassas, conclui-se que as misturas desenvolvidas não apresentaram

resistência significativa a esse tipo de degradação, especialmente devido à expansão observada.

Segundo Silveira (1996), a resistência das argamassas ao ataque de sulfatos está fortemente associada ao fator água/aglomerante, influenciando diretamente seu desempenho frente a esse agente agressivo.

Para uma análise mais aprofundada da durabilidade, recomenda-se a extensão do tempo de ensaio, possibilitando a avaliação da perda de massa dos corpos de prova e uma melhor compreensão do comportamento das argamassas sob essa condição de deterioração.

A utilização da lignina como modificador de ligantes asfálticos representa uma inovação promissora para a indústria da construção viária. Seu aproveitamento não apenas melhora o desempenho mecânico dos pavimentos, mas também contribui para a sustentabilidade da infraestrutura rodoviária.

O desenvolvimento de novas tecnologias para viabilizar a aplicação em larga escala da lignina na pavimentação é essencial para consolidar esse material como uma alternativa viável e ambientalmente responsável. Pesquisas futuras devem se concentrar na otimização dos processos de incorporação da lignina ao ligante asfáltico, bem como na realização de testes de campo para avaliar o desempenho das misturas em condições reais de tráfego.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15511: Pavimentação asfáltica – Ensaio de caracterização de ligantes asfálticos modificados. Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL. DEPEC – Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos. Produção brasileira de papel e celulose. Brasília, 2016.

JÚNIOR, R. S. Modificadores de ligantes asfálticos: Uma revisão sobre as tendências e desafios. *Revista Engenharia Civil*, v. 12, p. 45-60, 2015.

SOBREIRO, V. L. Estudo da interação entre ligantes asfálticos e aditivos sustentáveis. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

SUN, R. et al. Physicochemical characterization of lignins from different botanical origins. *Polymer Degradation and Stability*, v. 58, n. 1-3, p. 379-387, 1997.

AZADI, POOYA; OLIVER R. "Liquid fuels, hydrogen and chemicals from lignin: A critical review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 21:p 506–523, 2013.

AMARAL, Simonne da Costa. Estudos de misturas asfálticas densas com agregados do

estado do Pará, utilizando asfalto convencional (CAP-40) e asfalto modificado com polímero SBS (BETUFLEX B 65/60). 2000. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ANDERSON, David A.; CHRISTENSEN, Donald W.; BAHIA, Hussain. Physical properties of asphalt cement and the development of performance-related specifications. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, v. 60, 1991.

ANDERSON, David A.; KENNEDY, Thomas W. Development of SHRP binder specification (with discussion). *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, v. 62, 1993.

BAHIA, Hussain U.; ANDERSON, David A. Glass transition behavior and physical hardening of asphalt binders (with discussion). *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, v. 62, 1993.

BASSA, Ana Gabriela Monnerat Carvalho. Misturas de madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus globulus* e *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft através do Processo Lo-Solids®. 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BERNUCCI, L.B.; MOTTA, L.G.; CERATTI, J.A.P.; SOARES, J.B.; Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. PETROBRAS: Abeda, 739p., Rio de Janeiro, 2008.

BRINGEL, Raquel Moraes. Estudo químico e reológico de ligantes asfálticos modificados por polímeros e aditivos. 2007. Tese de Doutorado. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza/CE.

BRINGEL, R. M.; SOARES, S. A.; SOARES, J. B. Análise da susceptibilidade térmica de ligantes asfálticos através da energia de ativação de fluxo. *Transportes*, v. 17, n. 1, 2009.

BRUNDTLAND, Gro Harlem. What is sustainable development. *Our common future*, p. 8-9, 1987.

CAVALCANTE, Fabiano Pereira et al. Efeito da adição dos óleos de *ricinus communis* e *linus usitatissimum* nas propriedades reológicas do cimento asfáltico de petróleo puro e modificado. 2016.

DEPEC (Economia em Dia). Papel e Celulose. Disponível

em:<http://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_papel_e_celulose.pdf>. Consultado em: 04 dez. 2018.

DUTTA, S.; DE, S.; ALAM, I.; ABU-OMAR, M. M.; SAHA, B. Direct Conversion Of Cellulose And Lignocellulosic Biomass Into Chemicals And Biofuel With Metal Chloride Catalysts. *Journal of Catalysis*, v. 288, p. 8-15, 2012.

D'ANGELO, J. The multiple stress creep recovery (MSCR) procedure. Technical brief, p. 11- 38, 2010.

D'Angelo J. A. Effect of Polyphosphoric Acid on Asphalt Binder Properties. *Transportation Research*, p. 27-39, 2012.

D'ALMEIDA, M. L. O. Composição química dos materiais lignocelulósicos. In: PHILIPP, P. (Rev.); D'ALMEIDA, M. L. O. (Coord.). *Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica*. São Paulo: Departamento de Divulgação do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A.), 1988.

FAXINA, Adalberto Leandro. Estudo da viabilidade técnica do uso do resíduo de óleo de xisto como óleo extensor em ligantes asfalto-borracha. 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FERNANDES, M. R. S. Efeito de aditivo tipo óleo e enxofre na reologia de asfaltos modificados com SBS. 2009. 118 f. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2009.

GOMES, Fabiana Aparecida. Avaliação dos processos kraft convencional e Lo-Solids® para madeira de Pinus taeda. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GONZÁLEZ, S. M.; HUAMÁN, A. O. Diseño moderno de pavimentos asfálticos. ICG, lima, 2006.

HATFIELD, Ronald; VERMERRIS, Wilfred. Lignin formation in plants. The dilemma of linkage specificity. *Plant physiology*, v. 126, n. 4, p. 1351-1357, 2001.

IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo. Informações básicas sobre materiais asfálticos. Comissão de asfalto. 1999.

JOHNSON, Carl Moody. Estimating asphalt binder fatigue resistance using an accelerated test method. 2010. Tese de Doutorado. University of Wisconsin-Madison.

JÚNIOR, José Manoel Rosa. Estudo das propriedades reológicas do cimento asfáltico de petróleo (CAP50/70) modificado com polímeros fucionalizados. 2015. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande.

LIMA, A. F.; JARÁ, E. R. P.; ALFONSO, V. A. Madeira como matéria-prima para fabricação de pasta celulósica. PHILIPP, P.; D'ALMEIDA, MLO Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica, v. 2, p. 129-167, 1988.

CAPÍTULO XVII

DESAFIOS E OPORTUNIDADES NO CARREGAMENTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NA UFTM: UMA ANÁLISE DA INFRAESTRUTURA E POTENCIAL DE EXPANSÃO

**Geisla Aparecida de Carvalho
Juliane Cristina de Oliveira Fandi**

DOI: 10.5281/zenodo.17307058

1. INTRODUÇÃO

A crescente dependência de combustíveis fósseis e as emissões de gases de efeito estufa têm levado governos a adotar iniciativas para incentivar a mobilidade elétrica. O setor de transportes, responsável por uma parte significativa das emissões globais de gases poluentes, precisa passar por uma transição para alternativas mais limpas, o que tem sido considerado uma prioridade estratégica por diversas nações (International Energy Agency [IEA], 2021). Embora os veículos elétricos (VEs) não sejam uma tecnologia recente, sua adoção sofreu uma desaceleração ao longo do século XX, principalmente com

a popularização dos motores a combustão. No entanto, o aumento dos preços dos combustíveis e a crescente preocupação ambiental têm impulsionado o ressurgimento dessa tecnologia (Baran, 2015).

No contexto atual de conscientização ambiental e da busca por alternativas sustentáveis, os VEs surgem como uma solução promissora para mitigar os impactos da dependência dos combustíveis fósseis. Estudos apontam que a mobilidade elétrica é essencial para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e diminuir os impactos ambientais do setor de transporte (Hardman et al., 2020). A transição para veículos elétricos se alinha às políticas globais de sustentabilidade e é vista como um avanço em direção a cidades mais limpas e eficientes. De acordo com a International Energy Agency (IEA, 2021), a aceleração da adoção de VEs é considerada um dos principais desafios para a mitigação das mudanças climáticas.

Apesar dos avanços tecnológicos, diversos desafios permanecem no caminho da ampla adoção dos VEs. O alto custo inicial e a autonomia limitada continuam sendo fatores restritivos para muitos consumidores (Gaines, 2019). Além disso, o desenvolvimento de baterias mais eficientes ainda é um obstáculo relevante (Hardman et al., 2020). Um dos maiores desafios enfrentados por consumidores e governos é a infraestrutura de recarga. A escassez de pontos de carregamento, especialmente em áreas urbanas e ao longo de rodovias, compromete a praticidade dos VEs, especialmente em deslocamentos de longa distância (Baran, 2015). A falta de padronização dos sistemas de recarga e a ausência de regulamentações específicas também dificultam a criação de uma rede de recarga eficiente e robusta (IEA, 2021).

Nesse cenário, a construção de uma infraestrutura de recarga adequada torna-se fundamental para garantir que os VEs se tornem viáveis para uma maior parcela da população. A instalação de redes de recarga integradas, especialmente aquelas que utilizam fontes renováveis de energia, tem se mostrado uma solução promissora. Tais iniciativas têm potencial para garantir uma expansão sustentável da mobilidade elétrica, ao mesmo tempo em que contribuem para a redução de custos operacionais e para a diminuição dos impactos ambientais (Duarte et al., 2023). Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR) surgem como uma tecnologia capaz de gerar eletricidade no local de consumo, beneficiando as redes de distribuição e aumentando a eficiência energética (Rebechi, 2008; Rüther, 2015).

O objetivo deste estudo é avaliar a infraestrutura de recarga de veículos elétricos

da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), com foco na integração de sistemas fotovoltaicos. A pesquisa visa analisar a capacidade da estação de recarga, identificar os principais desafios operacionais e explorar a viabilidade de expandir a rede de carregamento dentro da universidade. Além disso, busca-se propor soluções para otimizar o uso da infraestrutura existente, alinhando-se às políticas globais de redução de emissões e à promoção de energias renováveis.

A adoção de veículos elétricos no Brasil e no mundo tem sido incentivada por questões ambientais e pela busca de alternativas sustentáveis aos combustíveis fósseis. A infraestrutura de recarga é um dos principais desafios para a transição para a mobilidade elétrica, especialmente em áreas urbanas, onde a escassez de pontos de carregamento dificulta a adoção generalizada desses veículos. A UFTM, ao integrar um sistema fotovoltaico à sua estação de recarga, oferece uma solução inovadora para a redução do impacto ambiental e a promoção da sustentabilidade. Este estudo justifica-se pela importância de avaliar como modelos de integração entre mobilidade elétrica e fontes renováveis podem contribuir para a expansão da infraestrutura de recarga e a consolidação de cidades mais sustentáveis. A pesquisa está alinhada com os objetivos globais de redução das emissões de carbono, e os resultados podem servir como referência para outras instituições que buscam adotar práticas semelhantes.

2. METODOLOGIA

2.1 Tipo e Abordagem da Pesquisa

Este estudo adota uma abordagem qualitativa e descritiva, conforme preconizado por Minayo (2017), que defende a utilização da pesquisa qualitativa para a compreensão profunda dos fenômenos sociais e contextuais. Esse tipo de pesquisa permite uma análise detalhada dos dados, possibilitando uma visão mais ampla sobre o comportamento e as dinâmicas observadas. A análise documental é amplamente utilizada nessa abordagem, como destaca Creswell (2018), sendo eficaz para extrair informações de documentos previamente elaborados. A revisão de regulamentos técnicos também é um procedimento essencial, especialmente no que diz respeito à infraestrutura de carregamento de veículos elétricos, conforme Lima (2022), que aponta a importância de revisar as normativas para compreender o impacto das regulamentações nas tecnologias emergentes.

2.2 Locus da Pesquisa

A pesquisa foi realizada na Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), em Uberaba, Minas Gerais, que possui um ponto de recarga para veículos elétricos integrado a um sistema fotovoltaico. A escolha da UFTM como locus é justificada pela sua iniciativa em adotar soluções sustentáveis e pela sua relevância como modelo para a expansão da mobilidade elétrica no Brasil. Segundo Pereira e Silva (2016), as universidades são centros de inovação, propícios para a implementação de tecnologias sustentáveis. A UFTM se destaca como um exemplo de excelência em projetos de sustentabilidade e inovação tecnológica.

2.3 Sujeitos e Fontes de Dados

A análise documental foi realizada com base em relatórios fornecidos pelo professor Dr. Arnaldo José Pereira Rosentino Junior, contendo informações sobre a infraestrutura de recarga, consumo energético e qualidade da rede elétrica. A análise documental é uma metodologia eficaz para a compreensão dos contextos e das práticas institucionais, conforme destacado por *Silva (2016)*. Os documentos analisados incluem relatórios de consumo energético, manutenção do ponto de recarga e estudos sobre a integração do sistema fotovoltaico com a infraestrutura elétrica existente.

2.4 Instrumentos e Procedimentos de Coleta de Dados

A pesquisa seguiu os seguintes procedimentos:

1. **Análise documental:** Foi realizada a análise de relatórios técnicos fornecidos pela UFTM, com foco na infraestrutura de recarga e no consumo energético. A análise documental foi utilizada para compreender o funcionamento da infraestrutura e identificar padrões e desafios no uso da infraestrutura de recarga, como destacado por Fontanella et al. (2018). A análise foi limitada ao exame de um número restrito de documentos, o que afetou a profundidade da análise, mas permitiu a identificação de tendências gerais.
2. **Revisão normativa:** Foi realizada uma investigação sobre as regulamentações pertinentes à instalação e operação de estações de carregamento no Brasil, com

ênfase nas normas da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e do Ministério de Minas e Energia (MME). A revisão de normativas, como propõe Creswell (2016), visa contextualizar a aplicação de políticas públicas no setor e entender como as regulamentações influenciam a implementação de novas tecnologias.

3. Estudo de tecnologias emergentes: A pesquisa incluiu uma análise preliminar das soluções tecnológicas emergentes, como o carregamento rápido e a integração de sistemas fotovoltaicos à infraestrutura de recarga, conforme abordado por Kuhn (2017). Embora a análise tenha sido mais conceitual e bibliográfica, a identificação dessas soluções contribuiu para a compreensão do potencial de inovação no setor.

2.5 Técnicas de Análise

A interpretação dos dados coletados seguiu uma abordagem qualitativa, permitindo a identificação de padrões de uso da infraestrutura existente, bem como os desafios e oportunidades para sua ampliação. Para a análise, utilizou-se a técnica de categorização, conforme preconizada por Fontanella, M.L.F., Ricas, J. e Santos, M.A. (2018), que permite organizar e agrupar os dados de forma a facilitar a compreensão dos fenômenos estudados. Foram analisados aspectos como:

- Capacidade elétrica do eletroposto atual;
- Frequência e padrões de uso do carregador;
- Possíveis gargalos e limitações da infraestrutura;
- Potencial de integração com fontes de energia renováveis.

A categorização foi realizada manualmente, com base nos padrões emergentes nos dados. O processo envolveu a organização dos dados conforme os temas que se destacaram durante a análise, ajudando a identificar desafios como a integração do sistema fotovoltaico com a infraestrutura elétrica de recarga e a mensuração do impacto do uso crescente de veículos elétricos.

2.6 Contexto e Justificativa

A mobilidade elétrica é uma alternativa sustentável ao transporte tradicional, e a infraestrutura de recarga desempenha um papel crucial na sua viabilidade. Segundo Liu

et al. (2022), a expansão dessa infraestrutura é essencial para a adoção em larga escala de veículos elétricos. A UFTM, com seu ponto de carregamento integrado a um sistema fotovoltaico, serve como modelo de análise, destacando a combinação de energias renováveis com sistemas de carregamento para promover uma mobilidade elétrica mais sustentável (Duarte et al., 2023).

Entender os desafios e as oportunidades de expansão dessa infraestrutura é fundamental para o desenvolvimento de políticas e soluções técnicas alinhadas com as tendências globais de eletromobilidade. Gaines (2019) e a International Energy Agency (2021) reforçam a importância de uma infraestrutura de carregamento bem estruturada no avanço da mobilidade elétrica, especialmente no contexto de transição energética. A pesquisa busca contribuir para a melhoria da infraestrutura existente e apoiar políticas públicas que incentivem a adoção da mobilidade elétrica no Brasil.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Descrição dos Dados Coletados

A análise dos dados coletados da estação de carregamento de veículos elétricos (EV) da UFTM revelou que os picos de consumo chegaram a 30A, representando uma parte significativa da capacidade da infraestrutura elétrica. Resultados semelhantes foram encontrados por Jahangirian, Aghaei e Amiri (2018), que destacam a importância de avaliar a capacidade da infraestrutura elétrica em ambientes universitários com fontes renováveis, como o sistema fotovoltaico da UFTM. Este sistema contribuiu para a redução da demanda sobre a rede elétrica pública, corroborando os achados de Silva, Rocha e Costa (2020), que indicam que a integração de sistemas fotovoltaicos com estações de carregamento pode ser uma solução sustentável, especialmente durante o período diurno.

4.2 Características Operacionais da Estação de Carregamento

A estação de carregamento da UFTM opera com uma potência de 7,4 kW, utilizando fontes renováveis, como energia solar fotovoltaica e gerador a diesel. Essa configuração é semelhante ao modelo descrito por Pereira e Costa (2019), que destacam a capacidade das fontes renováveis de reduzir a dependência da rede elétrica pública e garantir maior

resiliência energética. Contudo, a análise também indicou que picos de demanda, especialmente durante os horários de maior uso, podem impactar a estabilidade do sistema elétrico, como apontado por Liu, Zhang e Wang (2022), que investigaram os efeitos da utilização simultânea de sistemas de climatização e carregamento em estações de recarga.

Figura 1 – Gráfico de Curva de Carga da Estação de Carregamento de Veículos Elétricos da UFTM no Período de 7 dias



Fonte: Elaboração Nascimento (2025)

O gráfico apresenta o comportamento da curva de carga da estação de carregamento, evidenciando os picos de consumo e o padrão de utilização durante o período analisado.

4.3 Análise das Oscilações de Tensão e Capacidade da Micro Rede

Durante a análise das oscilações de tensão, foi observado que, quando o carregador de veículos elétricos e os sistemas de climatização operam simultaneamente, a carga elétrica excede a capacidade da infraestrutura, causando instabilidade na rede. Zhao, Li e Zhang (2020) alertam sobre os riscos de sobrecarga em sistemas híbridos de energia renovável quando diferentes cargas atingem picos elevados simultaneamente. Alves, Silva e Souza (2021) destacam que picos de demanda podem provocar flutuações de tensão e falhas no fornecimento de energia, afetando a operação de sistemas críticos, como a estação de recarga de veículos elétricos.

Figura 2 – Gráfico de Curva de Carga da Estação de Carregamento de Veículos Elétricos da UFTM nos Períodos Analisados



Fonte: Elaboração Nascimento (2025)

O diagrama mostra a distribuição das cargas conectadas à estação de carregamento e ao sistema de climatização, com os respectivos disjuntores e capacidade nominal.

4.4 Impacto do Carregamento Simultâneo e Necessidade de Ajustes na Infraestrutura

Os resultados indicaram que a interação entre a estação de carregamento e outros sistemas, como os de climatização, exige ajustes na infraestrutura elétrica. Figueiredo, Oliveira e Carvalho (2022) destacam que, mesmo com fontes renováveis, a infraestrutura elétrica em instituições de ensino superior precisa de otimizações no gerenciamento de cargas para garantir a estabilidade energética. Martins e Souza (2020) reforçam a importância de planejar a expansão da infraestrutura elétrica à medida que a demanda por veículos elétricos cresce.

Figura 3 – Gráfico de Curva de Carga da Estação de Carregamento de Veículos Elétricos da UFTM no Monitoramento de 2 dias



Fonte: Elaboração Nascimento (2025)

O gráfico ilustra o comportamento da carga da estação de carregamento durante um monitoramento de 2 dias, evidenciando os períodos de maior e menor demanda.

4.5 Padrões de Uso Intermitente e Picos de Demanda

A análise dos padrões de uso da estação de carregamento revelou que, embora haja períodos de inatividade, a demanda por recarga se concentra em horários específicos. Gaines, Gressel e Zimmerman (2021) apontam que a utilização intermitente das estações de carregamento é influenciada por fatores como o comportamento do usuário e a disponibilidade dos veículos. Esses picos de demanda exigem um planejamento cuidadoso da infraestrutura elétrica para garantir que o sistema atenda a essas flutuações sem comprometer a estabilidade.

Uma alternativa para mitigar os impactos desses picos é a implementação de

sistemas de gerenciamento inteligente de carga, que podem equilibrar a distribuição da energia conforme a demanda. Estudos como o de Wang, Liu, Chen e Zhang (2022) destacam que o uso de algoritmos de controle dinâmico pode melhorar a eficiência da infraestrutura e reduzir riscos de sobrecarga. Além disso, a adoção de incentivos para recarga em horários de menor consumo, como tarifas diferenciadas e sistemas de agendamento prévio, pode contribuir para uma distribuição mais equilibrada do uso da estação, aumentando sua eficiência operacional.

Figura 4 – Gráfico de Curva de Carga da Estação de Carregamento de Veículos Elétricos da UFTM nos Períodos Analisados



Fonte: Elaboração Nascimento (2025)

O gráfico apresenta a análise dos picos de demanda em horários específicos, evidenciando o uso intermitente da estação de carregamento. Dessa forma, a análise contínua dos padrões de uso é essencial para aprimorar a eficiência da infraestrutura de recarga, garantindo um fornecimento de energia mais estável e alinhado às necessidades dos usuários.

4.6 Limitações Identificadas e Direções para Pesquisas Futuras

Embora o sistema de recarga tenha operado dentro dos limites estabelecidos na maior parte do tempo, foi identificado que, durante picos de demanda, a infraestrutura elétrica não consegue suportar o carregamento simultâneo de diversos dispositivos. Ribeiro, Pereira e Costa (2023) destacam que a análise de picos de carga e oscilações de tensão é fundamental para o desenvolvimento de soluções que otimizem a utilização de sistemas híbridos de energia renovável e redes de distribuição elétrica. As pesquisas futuras devem focar em alternativas para melhorar a gestão das fontes de energia e ampliar a capacidade de armazenamento das baterias, conforme sugerido por Farias, Silva e Oliveira (2022), que propõem a adoção de novas tecnologias para mitigar os impactos das sobrecargas.

5. CONCLUSÃO

Este estudo analisou a infraestrutura de carregamento de veículos elétricos na Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), destacando os avanços na implementação dessa tecnologia. Embora a estação de carregamento esteja em estágio inicial e com baixa taxa de utilização, os resultados indicam que a infraestrutura elétrica da universidade tem potencial para expansão sem comprometer a estabilidade. O uso de fontes renováveis, como a energia solar fotovoltaica, tem se mostrado eficaz na redução de custos operacionais e promoção da sustentabilidade na mobilidade elétrica, como destacado por Mendonça e Silva (2021), que ressaltam a importância das fontes renováveis nesse setor.

A integração de sistemas fotovoltaicos com a infraestrutura de recarga contribui para a redução da pegada de carbono e favorece a transição para uma matriz energética mais limpa e eficiente. Rodrigues, Oliveira e Costa (2022) indicam que essa integração oferece benefícios operacionais e econômicos, como a diminuição da carga na rede elétrica, redução de problemas de tensão e otimização do armazenamento de energia.

Estratégias como Vehicle-to-Grid (V2G) e Vehicle-to-Home (V2H) também se mostram promissoras e podem agregar valor à infraestrutura, como apontam Silva e Pereira (2021), que discutem o impacto da tecnologia V2G no gerenciamento da rede elétrica e a possibilidade de utilização de veículos como fontes de energia.

Contudo, a análise revelou que, apesar da viabilidade técnica da solução, a demanda atual limitada indica que a expansão da infraestrutura precisa ser acompanhada de políticas institucionais robustas para incentivar o uso de veículos elétricos entre alunos e servidores. Santos e Lima (2020) destacam que campanhas de conscientização e incentivos são fundamentais para impulsionar a adoção de tecnologias sustentáveis.

Embora a infraestrutura existente seja eficiente, a expansão da rede de recarga poderia consolidar a UFTM como uma referência em mobilidade elétrica. Parcerias com empresas especializadas em energia renovável e mobilidade elétrica são recomendadas, como defendem Almeida e Costa (2021), para garantir a implementação de um modelo sustentável e de baixo custo.

O estudo identificou também limitações, como o impacto do aumento da frota elétrica na matriz energética da instituição, que ainda precisa ser explorado. Lima e Souza (2022) sugerem a análise do perfil dos usuários para adotar estratégias mais eficazes de

incentivo ao uso de veículos elétricos.

Pesquisas futuras devem focar na ampliação da infraestrutura de recarga, considerando novas fontes de financiamento e avaliando os impactos dessa expansão. Além disso, o papel das universidades como agentes catalisadores da transição para uma mobilidade elétrica mais acessível e eficiente deve ser investigado. A UFTM, com sua infraestrutura de micro rede, pode servir como modelo para outras instituições de ensino superior, contribuindo para um futuro mais sustentável e inovador no Brasil.

A integração de sistemas elétricos com fontes renováveis e veículos elétricos oferece benefícios além da redução das emissões de gases poluentes e da dependência de combustíveis fósseis. Ela também promove a saúde pública, gera oportunidades econômicas e fortalece a resiliência dos sistemas elétricos. O futuro da mobilidade elétrica no Brasil, especialmente no contexto universitário, dependerá da capacidade de adaptar e inovar essas tecnologias, criando um sistema mais limpo, eficiente e resiliente.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F.; COSTA, J. **Necessidade de parcerias estratégicas para a implementação de modelos sustentáveis de carregamento de veículos elétricos.** *Revista de Mobilidade Sustentável*, v. 5, n. 1, p. 32-45, 2012.

ALVES, R. M.; SILVA, P. T.; SOUZA, F. M. Flutuações de tensão e falhas no fornecimento de energia devido a picos de demanda. 2021.

BARAN, L. R. (2015). **Proposta de um modelo multicritério para determinação da criticidade na gestão da manutenção industrial.** Dissertação de Mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Recuperado de https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1450/1/PG_PPGEPM_Baran%20C%20Lean%20Roberto_2015.pdf

COSTA, M. R. Inovações tecnológicas no setor de mobilidade elétrica. *Revista Brasileira de Inovações Tecnológicas*, v. 4, n. 1, p. 45-60, 2019.

CRESWELL, J. W. **Research design:** Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. 5. ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2018.

DUARTE, L. et al. **O futuro da mobilidade elétrica: desafios e perspectivas para um Brasil sustentável.** *Revista Brasileira de Mobilidade*, v. 22, n. 3, p. 55-70, 2023.

FARIAS, A. C.; SILVA, P. M.; OLIVEIRA, L. M. **Adoção de novas tecnologias para mitigar os impactos das sobrecargas em sistemas de recarga de veículos elétricos.** 2022.

FIGUEIREDO, M. S.; OLIVEIRA, R. L.; CARVALHO, J. B. **Necessidade de otimizações no**

gerenciamento de cargas em instituições de ensino superior, mesmo com fontes renováveis. 2022.

FONTANELLA, M. L. F.; RICAS, J.; SANTOS, M. A. A análise de dados qualitativos em saúde: desafios e possibilidades. *Revista Brasileira de Enfermagem*, v. 71, n. 2, p. 535-541, 2018.

FONTANELLA, A. L.; SILVA, M. R.; SOUZA, J. P.; et al. **Análise documental: métodos e técnicas.** São Paulo: Editora X, 2018.

GAINES, L.; GRESSEL, L.; ZIMMERMAN, D. **Impacto do comportamento do usuário e da disponibilidade dos veículos no uso intermitente das estações de carregamento.** 2021.

GAINES, L. **Tecnologias de veículos elétricos: análise das barreiras econômicas e ambientais.** *Energy Policy*, v. 85, p. 120-130, 2019.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **Global EV Outlook 2021: Accelerating ambitions despite the pandemic.** Paris: International Energy Agency, 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>. Acesso em: 10 ago. 2024.

JAHANGIRIAN, M.; AGHAELI, J.; AMIRI, M. **Avaliação da capacidade da infraestrutura elétrica em ambientes universitários com fontes renováveis integradas.** 2018.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas.** 5th ed. São Paulo: Editora Y, 2017.

LIU, J. et al. **Impactos da instalação de estações de recarga de veículos elétricos na rede elétrica pública.** *Energy Procedia*, v. 121, p. 582-589, 2022.

LIU, J.; ZHANG, Y.; WANG, L. **Impactos da utilização simultânea de sistemas de climatização e carregamento em estações de recarga.** 2022.

LIMA, A. A. **Análise normativa e a avaliação das regulamentações para a implantação de novas tecnologias.** *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 14, n. 2, p. 45-59, 2012.

LIMA, M.; SOUZA, F. **A importância de compreender o perfil dos usuários para adotar estratégias mais eficazes de incentivo à mobilidade elétrica nas universidades.** 2022.

MARTINS, T. R.; SOUZA, F. M. **Planejamento da expansão da infraestrutura elétrica diante da crescente demanda por veículos elétricos.** 2020.

MENONÇA, J.; SILVA, T. **O papel das fontes renováveis no setor de mobilidade elétrica e seu impacto ambiental positivo.** 2021.

MINAYO, M. C. S. **O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde.** 14. ed. São Paulo: Hucitec, 2010.

PEREIRA, L. R.; COSTA, A. C. **Uso de fontes renováveis em estações de carregamento: impactos na dependência da rede elétrica pública e na resiliência energética.** 2019.

PEREIRA, R. A.; SILVA, T. L. **Inovações tecnológicas em universidades: uma análise da sustentabilidade e mobilidade elétrica.** *Revista de Sustentabilidade*, v. 8, n. 1, p. 56-72, 2016.

REBECHI, S. **O potencial da geração solar fotovoltaica conectada ao sistema de distribuição urbano: estudo de caso para um alimentador com pico de carga diurno.** 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

RIBEIRO, A. T.; PEREIRA, L. R.; COSTA, A. C. **Análise de picos de carga e oscilações de tensão no desenvolvimento de soluções para sistemas híbridos de energia renovável e redes de distribuição elétrica.** 2023.

RODRIGUES, L.; OLIVEIRA, F.; COSTA, M. **Benefícios da integração de sistemas fotovoltaicos com veículos elétricos, incluindo a redução de carga na rede elétrica, otimização do armazenamento de energia e redução de problemas de tensão.** 2022.

RÜTHER, R.; PEREIRA JUNIOR, L. C.; BITTENCOURT, A. H. **Plug in electric vehicles in smart grids.** Springer, 2015.

SANTOS, E.; LIMA, R. **Estratégias de conscientização e incentivos para a adoção de tecnologias sustentáveis, como o uso de veículos elétricos.** 2020.

SILVA, J. A. A análise documental como ferramenta de pesquisa. *Revista Brasileira de Pesquisa Qualitativa*, v. 12, n. 4, p. 145-160, 2016.

SILVA, J. A. A importância da análise normativa na implementação de tecnologias sustentáveis. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 19, n. 2, p. 120-134, 2017.

SILVA, C.; PEREIRA, A. **O impacto da tecnologia Vehicle-to-Grid (V2G) no gerenciamento da rede elétrica e o uso de veículos como fontes de energia.** 2021.

SILVA, J. A.; ROCHA, A. P.; COSTA, S. S. **Integração de sistemas fotovoltaicos com estações de carregamento de veículos elétricos como solução sustentável.** 2020.

WANG, J.; LIU, S.; CHEN, P.; et al. **Impact of smart charging algorithms on the efficiency of electric vehicle charging stations.** *Energy Procedia*, v. 123, n. 4, p. 567-574, 2022.

ZHAO, X.; LI, Y.; ZHANG, S. **Riscos de sobrecarga em sistemas híbridos de energia renovável quando a demanda simultânea de diferentes cargas atinge picos elevados.** 2020.

Agradecimentos

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todos os que contribuíram para a realização deste estudo. Agradeço primeiramente à minha orientadora, Juliane Cristina de Oliveira Fandi, pela orientação, apoio contínuo e pelas valiosas discussões que enriqueceram este trabalho. Aos meus professores, Fabrício Augusto Matheus Moura e Arnaldo José Pereira Rosentino Junior, pelos ensinamentos, conselhos e incentivo ao longo do desenvolvimento desta pesquisa.

Ao meu colega de turma, Guilherme Nascimento, pela colaboração na coleta dos dados e pela contribuição nos gráficos que foram fundamentais para a análise apresentada neste trabalho.

Finalmente, ao meu esposo Alexandre Santana de Oliveira, pelo apoio emocional e incentivo constante, sem os quais este trabalho não teria sido possível.

CAPÍTULO XVIII

APLICAÇÕES DO BIM: UMA ABORDAGEM SISTÊMICA PARA COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS

**Nathália Aguiar Leal de Melo
Vinícius de Assis Souto Maior Arruda
Iasmim Souto Maior Arruda**

DOI: 10.5281/zenodo.17307544

1. INTRODUÇÃO

A construção civil constituiu um campo de conhecimento de notável abrangência, o qual necessita cada vez mais de novas tecnologias e estudos para continuidade constante do seu desenvolvimento. Tendo em vista, a riqueza de detalhes devido a intervenção das máquinas, houveram inovações benéficas para os processos, facilitando assim uma gestão eficiente, permitindo uma potencialidade das tecnologias, gerando resultados ainda maiores, contribuindo para a continuidade da construção civil (Limeira,

Quintella, 2024). Isso se reflete na melhoria contínua de suas estratégias e abordagens metodológicas no âmbito do trabalho. Com o passar do tempo e em virtude da crescente complexidade que caracteriza os projetos e operações empresariais neste setor, torna-se necessário profissionais multifacetados capazes de enfrentar de forma efetiva o trabalho atribuído, atuando com ampla gama de habilidades e competências. A necessidade de assimilação e aplicação de informações diversas, provenientes de diferentes fontes, torna-se uma característica fundamental para atender às exigências desse cenário dinâmico.

Essa iniciativa está alinhada com o Decreto nº 10.306 (Brasil, 2020), no qual estipula a obrigatoriedade do BIM, de forma direta ou indireta, em empreendimentos e atividades de engenharia executados pelos órgãos e entidades do governo federal, conforme preconizado pela Estratégia Nacional de Disseminação do BIM.

Embora o AutoCAD seja um *software* bastante utilizado na área, é importante ressaltar algumas limitações, visto que, não apresenta com clareza informações necessárias para os projetistas que colaboram com o mesmo projeto. Por isso, visando ampliar a gestão de projetos e minimizar interferências, é crucial que as equipes adotem práticas que incentivem a integração entre as diferentes disciplinas e a transparência ao longo de todas as fases do projeto (Jiquiriçá, 2024). A colaboração entre os responsáveis por cada área é dificultada em *softwares* como o AutoCAD, por não possuir ferramentas necessárias para a compatibilização. Isso torna cada vez mais desafiadora a gestão eficiente de dados e informações que permitem a automação dos sistemas em todos os aspectos do projeto.

Ao abordar as possíveis mudanças e melhorias que a utilização do BIM pode oferecer ao cenário da construção civil, será possível entender a possibilidade do aumento na capacidade de produção e do controle de qualidade de todos os projetos a serem executados, direta ou indiretamente. Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo analisar as diretrizes proporcionadas pela metodologia BIM para abordar as inconsistências identificadas, analisando os efeitos dos vazios projetuais na detecção de problemas técnicos. Além disso, busca destacar a relevância da integração dos projetos, sendo comparado aos sistemas já utilizados na área, como exemplo o AutoCAD, e demonstrar sua significativa contribuição para uma gestão eficaz de projetos.

2. METODOLOGIA

A metodologia empregada nesta investigação adota uma natureza estratégica, visando a organização e análise de dados relativos a aspectos e indicadores que evidenciam as melhorias proporcionadas pela implementação do BIM no setor da construção civil. A abordagem qualitativa, central para a definição da problemática em questão, fundamenta a análise. Almeja-se portanto que os resultados desta pesquisa contribuam para uma transformação substancial na abordagem da construção civil, estabelecendo uma base sólida para uma gestão mais eficiente, em comparação com os sistemas tradicionais.

Para o desenvolvimento da presente investigação, procedeu-se à análise de referências provenientes de plataformas online especializadas na temática, obras bibliográficas, artigos científicos e publicações técnicas, disponíveis em bases de dados de notório reconhecimento, abrangendo o período de 2020 a 2025. O objetivo primordial desta análise foi explorar a relevância da adoção da metodologia em questão como um instrumento para o aprimoramento dos projetos, viabilizando a identificação precoce de uma parcela significativa de potenciais incompatibilidades que possam surgir durante a execução da obra.

Após a revisão bibliográfica, procedeu-se à elaboração de estudos comparativos entre dois *softwares*, com o intuito de demonstrar sua aplicabilidade nos métodos de trabalho. A seleção destes sistemas foi pautada em sua relevância no mercado e em suas funcionalidades. Esta etapa tem como objetivo ilustrar, de forma prática, os desafios enfrentados pelos métodos tradicionais na modelagem de informações, que exigem atualizações manuais extensivas em cada elemento construtivo. Em contrapartida, o sistema BIM executa esta tarefa de forma automatizada e precisa.

3. BIM: MODELAGEM INFORMACIONAL E INTEGRAÇÃO DE SOFTWARES

3.1 Tecnologia BIM: Impactos e Benefícios

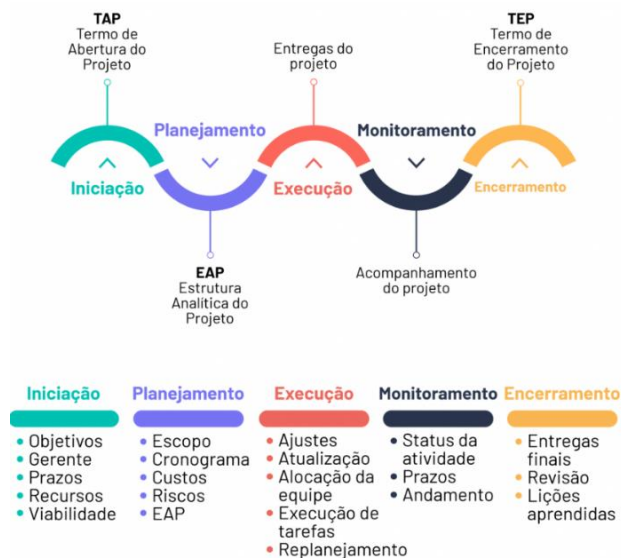
Fundamentada na apresentação de um modelo potencialmente rico em informações através de um sistema em nuvem, a metodologia BIM engloba múltiplas informações, sendo elas bem estruturadas, permitindo a criação de uma representação

digital, na qual abarca todas as etapas, desde o planejamento, até a operacionalização da edificação (Autodesk, 2025). Esses processos permitem um melhor desempenho na elaboração de projetos, evidenciando uma aplicação assertiva de sistemas integrativos.

O BIM, transcende a modelagem 3D de projetos arquitetônicos e estruturais na construção civil, essa metodologia engloba uma gama de informações, o que torna-se um diferencial, comparando-se a um processo de projeto convencional de uma edificação (Ferreira *et al.*, 2022). A metodologia emerge mediante a instauração da informação prévia à execução do projeto, viabilizando a modelagem de dados inerentes à obra, elevando a gestão de projetos na construção. Essa abordagem é variada em sua aplicação, sendo amparada por uma pluralidade de programas capazes de assimilar um conjunto diversificado de informações. Desse modo, é abrangido desde a geometria até as propriedades dos materiais, sendo esses aspectos cruciais para o ciclo de vida da construção.

Almejando as melhorias dos processos construtivos, com base em sistemas complexos, a estruturação do BIM resulta em maior eficiência no tratamento dos projetos. De acordo com Mendes *et al.* (2023) atrelada a comodidade da perspectiva do modelo 3D, a metodologia apresenta de forma marcante a facilitação para os construtores e proprietários, permitindo acompanhar as etapas projetuais, construtivas, e caso se faça necessária, a demolição (Figura 1). Cada vez mais a amplificação dessa pauta está sendo repercutida na Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), visto que, a praticidade e a constatação de adversidades na fase projetual é mais descomplicada de ser feita.

Figura 1 - Processos elaborados para projeção do projeto



Fonte: Artia (s.d.).

O setor da construção civil influencia nos formatos relacionados às novas tecnologias, pois o produto final necessita da automatização de sistemas entre transferências de dados e informações, compatibilizando e revisando todos eles visando o conjunto harmônico entre todas as disciplinas contidas. De acordo com a visão do campo da AEC, a mudança geral de modelos está cada vez mais próxima, visando à melhoria projetual e diminuição de erros e incompatibilidades abrangendo responsabilidades grandes que podem ser notadas no dia a dia da obra. Com o surgimento de empresas, organizações e entidades que procuravam o desenvolvimento de potenciais *softwares*, foram possibilitadas a progressão de revolucionárias tecnologias, que com o tempo tornaram-se ultrapassadas devida a competitividade e expansão do mercado. A complexibilidade dos projetos fizeram com que a precisão fosse seu maior aliado, dessa forma entende-se que a metodologia é um protótipo pelo qual o desenvolvimento dos projetos são baseados em modelos paramétricos, que buscam a assimilação tanto dos profissionais, quanto dos sistemas que estão sendo operados, analisando em conjunto a construção de todas as etapas de forma consistente e precisa.

Figura 2 - Visão de todas as disciplinas conectadas em um único projeto



Fonte: Solo Networking (s.d.).

Tomando como evidência e notoriedade as vantagens da metodologia BIM, alguns pontos são destacados como forma de aprimoramento conferido na adoção desse sistema. Os benefícios da sua utilização são reverberados durante a vida útil da edificação, uma vez que, todas as fases construtivas são impactadas por sua implementação, moldando e otimizando o desenvolvimento eficiente do projeto (Lima, Silva, 2023). A maior colaboração entre todos os envolvidos, permite o trabalho de forma conjunta e compartilhada, buscando uma interação completa entre os projetistas para a realização

de um modelo virtual minucioso.

A metodologia BIM proporciona identificar os conflitos para economia de tempo e dinheiro, sendo possível através da capacidade de simulações e análises prévias, facilitando a sinalização dessas incongruências, permitindo o ajuste do processo construtivo, bem como, evitando retrabalhos, contribuindo dessa forma para uma gestão eficaz de projeto, auxiliando na média prévia orçamentária e controlando para assegurar a alocação dos recursos de forma otimizada. Desse modo, é garantida uma informação detalhada e precisa, concebendo um delineamento com uma qualidade eminente, auxiliando a gestão de projetos. A ferramenta também possui um papel fundamental na orçamentação e no planejamento da obra, favorecendo uma visão abrangente, para permitir referenciar o valor investido, quantidade de mão-de-obra utilizada, materiais e custo (Cogic, 2020).

3.2 Modelagem Multi-informacional e Paramétrica

Compreendida como o um pilar para base da tecnologia BIM, os mecanismos da construção civil vão possuir sustentação no aprofundamento da modelagem multi-informacional. Atingindo assim essa dimensão, de forma a reunir as particularidades da informação, mostrará a sua incorporação, indicando as demandas necessárias para que haja a gestão na construção, em todos os seus tipos e formatos. Com o objetivo de permitir a integridade e complexibilidade do projeto, coopera desse modo com a idealização primordial do agrupamento dos dados de forma funcional, expandindo por consequência a eficiência dos projetos e projetistas, aperfeiçoando cada vez mais a qualidade das entregas finais.

A partir da modelagem, o direcionamento para os pontos principais, faz com que haja o aperfeiçoamento da utilização da potencial tecnologia, de forma a utilizar todos os recursos favoráveis. Devido aos casos recorrentes de retrabalhos que são vistos na construção civil, é notória as diversas razões desse acontecimento, como as falhas nos projetos até o mal planejamento operacional, consequentemente, o retrabalho é mais amplo do que um impacto financeiro específico (Machado, 2020). Com o fornecimento de todas as informações, na modelagem BIM, esses retrabalhos são evitados, sendo possível a criação de uma planilha detalhada, contendo um cronograma de obras pré-estabelecido de acordo com o posicionamento das etapas construtivas, possibilitando um

acompanhamento constante e preciso, com a viabilidade de inclusão de quaisquer mudanças que porventura venham acontecer com o andamento da edificação.

Com a compreensão da representação dos gráficos, a referência dos modelos 3D utilizando mecanismos para uma abordagem completa do projeto, fazem menção aos materiais encobertos de informações que dão margem para a consolidação de diversas áreas unidas em um único espaço (Figura 3). A presença dos componentes complexos, aliados aos demais sistemas, resulta na criação de informações fundamentadas que podem ser extraídas conforme as especificações e propriedades do projeto (Santos, Campelo Filho e Valério, 2023).

Figura 3 - Visão 2D e 3D

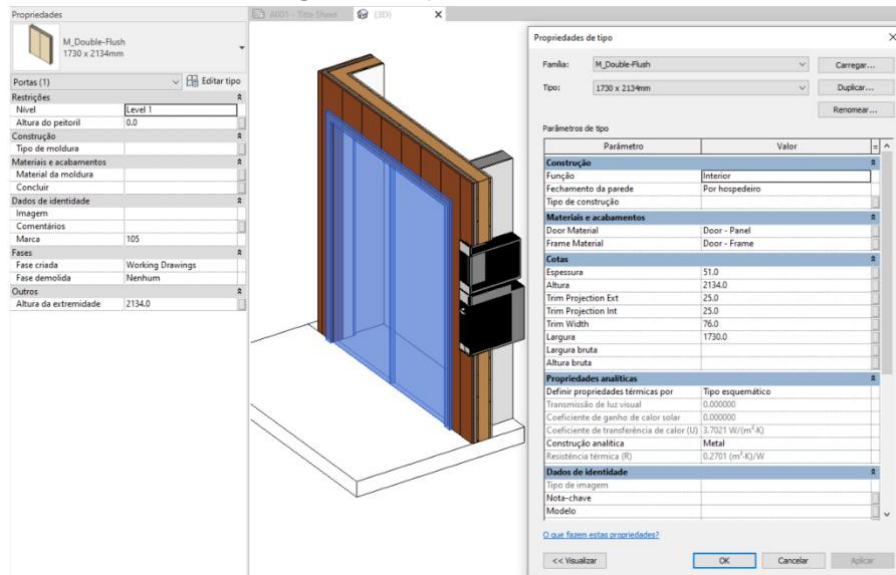


Fonte: Deskgraphics (2022).

Observa-se que, para a categorização de um *software* como um dispositivo BIM, é imprescindível que o mesmo assegure aos seus usuários o aproveitamento de todas as aplicabilidades básicas da estrutura metodológica que a metodologia pode oferecer (Reis, 2021). Os parâmetros que são agrupados aos materiais podem ser valores ou particularidades de sua propriedade, delineando a sua representação, assim como, a sua interligação com os demais objetos. Visando a integração de diferentes ferramentas para promover uma mescla nítida de informações no sentido de interpretação e fundamentação da complexibilidade de referências utilizadas durante a fase projetual, é necessário o conhecimento de múltiplas formas de aplicações desses manejos, de forma a alimentar o sistema com dados precisos e primordiais, em suas diversificadas disciplinas (Figura 4). A busca constante por resultados diferenciados, fazem com que, a construção civil necessite de novos aportes que consiga realizar processos e mecanismos para melhor aplicabilidade no dia a dia. Torna-se desse modo, de suma importância, um planejamento

para todas as etapas que serão conferidas no processo como um todo, delineando o passo a passo da concepção projetual até sua execução, evitando impactos negativos que porventura poderiam acontecer (Silva, 2020).

Figura 4 - Objetos Paramétricos



Fonte: Spbim (s.d).

A devida relevância dos modelos paramétricos para a modelagem BIM, está embasada nos parâmetros e diretrizes, permitindo uma verificação concisa de todas as referências e dados que estão interligados aos objetos (Ribeiro e César Júnior, 2021). A classificação da modelagem permite a ordem e marcação em seus diferentes níveis, e âmbitos, cada uma com suas especificidades e objeções. O projeto paramétrico, possibilita a minuciosa investigação do espectro de soluções dadas pelos algoritmos concebidos, o qual se denomina espaço de projeto (Lopes, Miceli Junior e Pellanda, 2021). A visualização concisa do fluxo de trabalho permite uma maior dinamização e flexibilização na manipulação de tarefas distintas, possuindo uma capacitação potencial para projeção de planos e ideias de forma mais concreta, compreendendo a forma de impacto em todos os planos.

3.3 Interoperabilidade entre *softwares* BIM

A partir do desenvolvimento do projeto com suas diferentes disciplinas, um ponto chave para o alinhamento do processamento BIM é a compatibilização de todos os processos, servindo como um objetivo geral para viabilização dos sistemas (Figura 5).

Portanto, é um mecanismo colaborativo que permite conectar múltiplos projetos envolvidos em todas as etapas construtivas possibilitando a vinculação dos mesmos, constituindo um só arquivo integralizado, capaz de trocar informações entre si, através de uma só linguagem, independente do *software* que for desenvolvido (Vieira e Figueiredo, 2020).

Figura 5 - Interoperabilidade no BIM



Fonte: Utilizando BIM (2019).

A linguagem em comum chamada de *Industry Foundation Classes* (IFC) não sendo apenas um formato de arquivo, permite essa troca de elementos reciprocamente, especificando os processamentos. Ademais, no que relaciona-se ao paradigma do modelo BIM, destaca-se a valiosa prerrogativa de que o formato IFC se dispõe como um meio capaz de englobar todas as facetas inerentes a uma edificação, englobando a totalidade do seu ciclo de existência e seu planejamento estratégico (Barreto *et al.*, 2020). É um protótipo de dados contendo especificidades do projeto, criando uma aliança entre os sistemas para melhor produtividade, o IFC, é um arquivo classificado como “não-proprietário” por não possuir um fornecedor particular.

A partir do ponto em que a construção civil possui abundantes detalhamentos construtivos, que exigem conhecimentos em distintas áreas e especificação de todos os materiais de forma criteriosa para não haver danos na execução da obra ou na fase de planejamento, essas informações devem ser focadas no momento em que o arquivo for

exportado, para cada especificidade ser distribuída de acordo com os setores de capacitação. No entanto, com a ascensão da exigência do BIM, é enriquecida as ferramentas para análise específicas, visto que, pode acontecer do arquivo não ser compatível com o *software* voltado para cada disciplina, sendo ele adotado em várias áreas, gerando assim com o passar do tempo, uma crescente demanda para explorar de modo eficiente os dados entre as diversas plataformas. Nesse cenário, a aplicação de matrizes de priorização configura-se como um recurso de apoio no âmbito da metodologia BIM, fornecendo um papel fundamental e eficaz para a identificação e a posterior resolução dos embates e incongruências que porventura venham a desencadear entre as distintas disciplinas envolvidas (Jaime e Blumenschein, 2022).

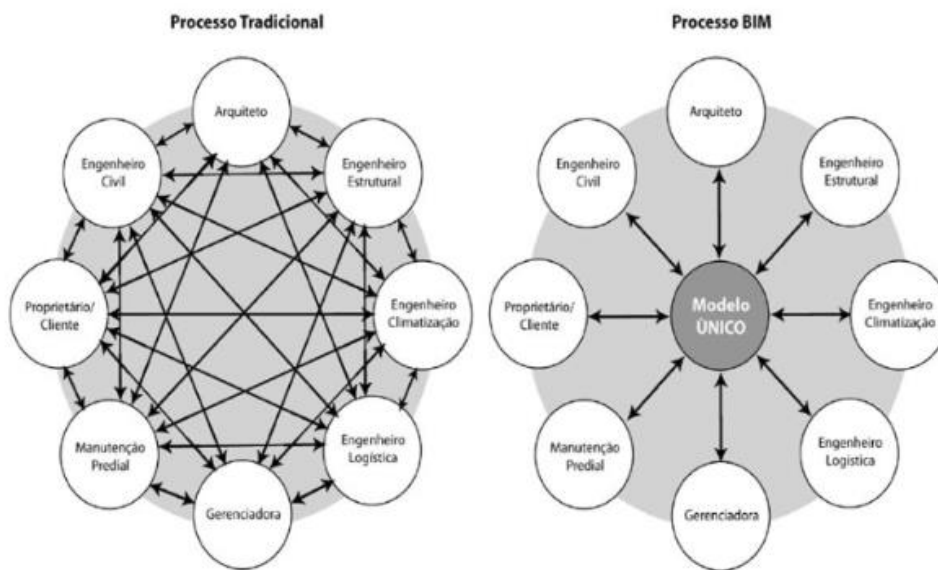
Para o aprimoramento desses pontos é interessante a capacitação de profissionais que possuem interesse nessa área, entendendo os processos e mecanismos, investigando soluções precisas para minimização dessa perda e danos aos dados, visando o aprimoramento dessas soluções tecnológicas benéficas no tempo e execução das construções. Essa capacidade que a interoperabilidade possibilita, evita-se a inconveniência de múltiplas duplicações, de um projeto que já foi criado, simplificando e automatizando a fluidez na composição do projeto, em seus múltiplos aplicativos, durante a fase criativa (Lopes e Schuwart, 2021)

Enfrentando uma problemática recorrente na área da construção civil, envolvendo diversas mudanças e complexibilidades dos projetos, faz com que haja uma busca constante de metodologias com ferramentas que proporcionam o avanço mútuo nos diferentes âmbitos. Mediante essa integração, torna-se possível a identificação de potenciais discrepâncias entre os projetos, como exemplo de encanações que se sobrepõem a vigas ou pilares, instalações visíveis ou componentes estruturais que obstruem a integridade da concepção arquitetônica (Inova Civil, 2021). A construção virtual que a metodologia BIM proporciona, permite que diretamente problemas como esses sejam vistos e solucionados, antes de aplicar na obra, reduzindo assim imprevistos ou decisões repentinas tomadas em campo. Percebendo através dessa afirmação que afim de empreender o procedimento de harmonização de projetos na esfera do BIM, é imperativo, em uma etapa preliminar, empreender a concepção tridimensional das distintas disciplinas que compõem o projeto, fazendo o uso de ferramentas dedicadas e especializadas para cada uma delas (Maciel, Souza Junior e Oliveira, 2022)

3.4 Cadeia Produtiva e Gestão de Projetos

Devido a praticidade e agilidade que o BIM permite, a cadeia produtiva é mais eficiente, gerando maior amplitude no que se refere a essa pauta (Figura 6). Com a inserção do BIM na construção civil, o emprego para desenvolvimento de processos mais elaborados fazem com que haja uma ordenação eficaz em todas as etapas da obra, detalhando materiais e especificações que seriam mais trabalhosas no uso de outros *softwares*.

Figura 6 - Única cadeia produtiva, alinhada aos dois processos integrativos



Fonte: Pmkb (2018).

Em outros países o uso desse método já mostra benefícios a algum tempo, fazendo com que haja interesse para o aprofundamento nos assuntos relacionados, além de buscar informações nos próprios sistemas fabricantes, erguendo a construção civil e promovendo mudanças na dinamização da operação. Assegurar a eficiência e um bom progresso visando o êxito para garantir um desempenho satisfatório de uma operação bem-sucedida, demanda mais do que ir além do mero desejo de introduzir transformações e inovações (Oliveira, Viana e Oliveira, 2023)

Com objetivo de associar o processo e as múltiplas prerrogativas interligadas à implementação do BIM, é importante frisar que a modelagem da informação impõe uma reconfiguração laboral e substancial à dinâmica da cadeia produtiva (Arataumodular, 2022). Quanto maior a precisão e as especificações, melhor será o desempenho, facilitando assim o desenvolvimento da obra como um todo, além do gerenciamento da

gestão dos projetos, adotando medidas para melhoria de sua implementação, conectando os procedimentos para guiar e servir de embasamento nas mudanças dos setores gerais (Figura 7). Os avanços tecnológicos emergentes, têm viabilizado abordagens inovadoras visando o progresso, bem como a administração dos projetos, introduzindo novos processos, desencadeando dinâmicas diferenciadas e resultados (Gomes e Gogliano, 2023).

Figura 7 - Ciclo de vida de uma edificação



Fonte: Asmetro-SI (2018).

As vantagens na colaboração de toda desenvoltura, a ligação entre as disciplinas, a velocidade na realização e entrega dos projetos, pelo fato de evitar retrabalhos devido a incompatibilidades, gera uma economia nos custos gerais, conseguindo manter uma visualização mais clara e objetiva. Resultando por final em uma metodologia em dimensões além do 2D, especificada em detalhes com aspectos importantes para o andamento da edificação.

Incentivando a demarcação de tecnologias mais modernas e que produzam mais desempenho, a agilidade e eficiência são aliadas a gestão de projetos, impactando assim um setor forte e que necessariamente acompanha as mudanças que incorporam a melhoria na elaboração do seu produto final, sendo critério de escolha para clientes que desejam menor desperdício de tempo e custo. O modelo digital realiza a computação das quantidades requeridas de recursos, elaborando a cronometragem apropriada e contribui significativamente para uma supervisão de recursos mais precisos e detalhistas (Jamono, 2020).

Além de mencionar o BIM como uma perspectiva, é importante entender que a capacidade de modelagem 3D precisa, colabora diretamente entre as partes envolvidas,

sendo esse um dos desafios enfrentados pela indústria da construção civil atual. A transferência de informações, diante a instantaneidade, permite uma síncrona colaboração entre os participantes do projeto, representando uma alteração de paradigma em relação ao cenário das práticas de trabalho tradicionais (Martins, Santos e Cardoso, 2021). Com a solidificação da metodologia, se associa efetivamente a busca por avanços e inovações, reforçando assim a ideia que o BIM não permite apenas o aumento da eficiência, mas também, têm um impacto eficiente na economia, sendo ela de recursos, redução de desperdícios e economia de tempo.

3.5 Desenvolvimentos Tecnológicos

O BIM com seu processo evolutivo apresenta várias dimensões (D), permitindo uma abordagem abrangente para o ciclo de vida construtivo, sendo cada um delas referente a um conjunto de informações que são inseridas no projeto (Figura 8). À medida que a tecnologia e a prática avançam, a capacidade de integrar informações multidimensionais em um único modelo BIM oferece uma visão mais completa e eficiente para os profissionais da construção civil.

Figura 8 - Dimensões da modelagem BIM



Fonte: Sds Educa (2019).

O 3D, é a dimensão inicial do BIM, que envolve a criação de modelos tridimensionais, que representam os componentes físicos de uma construção, fazendo com que seja permitida uma visualização espacial e a detecção de conflitos na fase de projeto.

O 4D, adiciona a dimensão de tempo à modelagem 3D, incluindo informações do cronograma do projeto, dessa forma, permite a visualização de como o projeto será desenvolvido ao longo do tempo, simulando o processo construtivo.

O 5D introduz a consideração dos custos da obra, associando informações aos elementos presentes no modelo, permitindo uma orçamentação precisa, evitando desperdícios e superfaturamento da obra. Apresentado na metodologia BIM, os custos são conectados, estabelecendo uma vinculação intrínseca, de modo que qualquer modificação no modelo reverbera no cálculo, adaptando-se às variáveis como materiais, mão de obra, entre outros, sendo os parâmetros que são estabelecidos (Almeida, Bonaldo, 2023).

O 6D, incorpora informações que estão relacionadas à sustentabilidade e ao ciclo de vida do edifício, envolvendo a avaliação do desempenho energético, a previsão de custos de operação e a tomada de decisões sustentáveis ao longo da vida útil da edificação. O 6D trata-se como uma ponte primordial para demarcar as medidas adotadas visando o comprometimento com os planos de ações idealizados pelo mundo, entendendo a importância da cooperação para a melhoria do ambiente construído, aliado ao desempenho ambiental (Mizutani *et al.*, 2020).

O 7D, é uma dimensão mais avançada, agregando informações relacionadas à operação e manutenção do edifício, incluindo a gestão de ativos, manutenção preventiva, documentação de histórico de manutenção e informações sobre o ciclo de vida. Tendo em vista que a maioria das estruturas do território brasileiro carece da existência de um plano de manutenção, é crucial a concepção e efetivação para assegurar a integridade, bem como a qualidade de vida e a performance das edificações (Balz, Silva e Pedrozo, 2021).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atentando-se à constituição do projeto diante de várias fases distintas, é possível perceber que cada etapa é elaborada por profissionais específicos de cada disciplina, acarretando a possibilidade de ocasionar ao longo do processo, incompatibilidades, que só serão perceptíveis durante a implementação projetual (Tabela 1).

Tabela 1 – Principais diferenças entre o AutoCAD e o REVIT

ANÁLISE DOS SOFTWARES	
AutoCAD	REVIT
Criar e editar geometrias 2D e extrair dados de objetos para tabelas	Desenvolvimento do conceito, análise do desempenho do edifício e documentação para construção
Criar e editar modelos 3D com objetos sólidos, superfícies e malas	Modelação paramétrica 3D e geração de detalhes da construção ou produção
Incluir anotações em desenhos com texto, cotas, notas de chamada e tabelas	Documentação detalhada do projeto
Personalizar tarefas com ajuda de APIs e apps de desenvolvedores	Coordenação multidisciplinar

Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025)

Apesar de todas as constantes mudanças nos cenários tecnológicos e o aumento da capacidade dos computadores, a propagação da metodologia BIM não está totalmente difundida, visto que a fluidez de trabalho do CAD ainda é um sistema complexo, sendo necessária uma migração de diversos fatores para alinhamento das sucessões.

A priori, é perceptível que o CAD possui um formato concentrado na representação de modelos bidimensionais da forma geométrica, sendo utilizado para facilitar o processo de design, documentação e comunicação, porém não se associam informações ricas em detalhes sobre os materiais, custos ou outros aspectos projetuais. Enquanto a tecnologia BIM identifica-se inegavelmente, de forma imponente, um novo paradigma visando a criação de ambientes interativos no qual promove o compartilhamento de informações entre os diversos setores da construção civil, incorporando diversas informações que serão cruciais para o processo total da obra, permitindo um gerenciamento eficaz e abrangente.

Para a aplicação da metodologia BIM, são ultrapassados obstáculos, tendo em vista o custo dos *softwares*, bem como os treinamentos da equipe, orientando a complexibilidade do manuseio e a gestão de arquivos, sendo necessária para haver a compatibilização com outras plataformas (Souza e Freitas, 2023). Levando em consideração os investimentos que são realizados para a migração do 2D para o 3D é importante uma preparação significativa, pois uma mudança que não possua o planejamento necessário pode desencadear atrasos na entrega, resultados inesperados e a perda da produtividade (César e Andrade, 2022).

5. CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

Perante o exposto é claramente visível as vantagens que o BIM apresenta, minimizando todas as problemáticas envolvidas, promovendo resultados assertivos e confiáveis, respeitando todo o planejamento inicial que foi definido. Implementar padrões e protocolos BIM ajudam a garantir a consistência no projeto. A inserção dessa compatibilização implica em investimentos nesses *softwares*, bem como pessoas especializadas e qualificação das equipes, para que possa ser desempenhado a concretização desse processo. É de fundamental importância alinhar as equipes para técnicas que possam facilitar a relação entre os próprios funcionários e os clientes, sendo eles um grande impacto para geração de bons resultados na construção civil como um todo, fortificando cada vez mais a execução adequada, otimizada e simplificada.

Por fim, é necessário entender que a adoção do BIM não é apenas uma evolução tecnológica, mas uma transformação fundamental na abordagem da construção civil, proporcionando uma base sólida para uma gestão mais eficaz, em comparação aos sistemas tradicionais. Investir nessa tecnologia e nas competências necessárias é um passo decisivo em direção a projetos mais eficientes, econômicos e sustentáveis. Emergindo assim como um catalisador precoce para problemas técnicos, garantindo a qualidade e segurança do empreendimento.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. A. F.; BONALDO, E. **Building Information Modeling (BIM) Princípios e Tendências**. Belo Horizonte: Editora Poisson, 2023.

ARATAUMODULAR. **BIM - Integrando as Empresas da Cadeia Produtiva da Construção**. 2022. p.9. Disponível em: <https://www.arataumodular.com/app/2022/06/06/bim-integrando-as-empresas-da-cadeia-produtiva-da-construcao/>. Acesso em: 12 mar. 2025.

AUTODESK. **O que é BIM?**. 2025. Disponível em: <https://www.autodesk.com.br/solutions/bim>. Acesso em: 11 mar. 2025.

BALZ, A; SILVA, G; PEDROZO, E. C. Eficiência das dimensões dos processos Building Information Modeling no ciclo de vida das edificações. **Revista de Ciencia Tecnología e Innovación**, v. 3, n. 1, p. 9-18, 2021. ISSN 2618-5520. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/360505596_Eficiencia_das_dimensoes_dos_procesos_building_information_modeling_no_ciclo_de_vida_das_edificacoes_Analise_De_Implementacao_Em_Pequenas_Empresas. Acesso em: 28 fev. 2025.

BARRETO, E. M. M. *et al.* Estudo da interoperabilidade de sistemas BIM por meio do formato IFC. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 6, p.36059-36072, jun.2020, ISSN 2525-8761.

BRASIL. DECRETO 10.306, de 02 de abril de 2020. **Estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling - Estratégia BIM BR, instituída pelo Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019.** Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10306.htm. Acesso em: 29 mar. 2025.

CÉSARO, A. E. C.; ANDRADE, G. P. **Compatibilização de projetos na metodologia BIM.** Estudo de caso de empreendimento residencial. 2022. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/24848/1/TCC%20-%20ANTONIO%20COMPATIBILIZA%C3%87%C3%83O%20FINAL.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2025.

COGIC. **A tecnologia BIM e seus benefícios para a construção civil.** 2020, s.p. Disponível em: <https://www.cogic.fiocruz.br/2020/05/a-tecnologia-bim-e-seus-beneficios-para-a-construcao-civil/>. Acesso em: 24 mar. 2025.

FERREIRA, W. A. *et al.* BIM modelagem de informação na construção civil. E-Locução, **Revista Científica da FAEX**, Edição 21 – Volume 11 – ISSN 2238-1899, 2022.

GOMES, C. M.; GOGLIANO, R. M. M. A tecnologia BIM para gestão de projetos de iluminação. **REPAE - Revista Ensino e Pesquisa em Administração e Engenharia**, v. 9, n. 1, 2023. ISSN: 2447-6129. DOI: <https://doi.org/10.51923/repae.v9i1.319> . Disponível em: <https://repae-online.com.br/index.php/REPAE/article/view/319/251> . Acesso em: 26 mar. 2025.

INOVA CIVIL. **BIM Book: A construção reinventada.** Inova Civil, 2021, p. 57.

JAIME, I. S; BLUMENSCHIN, R. N. Gerenciamento da Informação BIM: Processos de compatibilização de projetos e matriz de priorização. In: WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE SISTEMAS E PROCESSOS CONSTRUTIVOS, 23 e 24 AGO 2023, Porto Alegre. **Gerenciamento da Informação BIM: Processos de compatibilização de projetos e matriz de priorização.** Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 108-118.

JAMONO, L. **BIM torna orçamento da obra mais preciso.** 2020, s.p. Disponível em: <https://sulpply.com.br/bim-torna-orcamento-da-obra-mais-preciso/#:~:text=BIM%20ajuda%20na%20previs%C3%A3o%20de%20custos%20da%20obra&text=Assim%2C%20o%20m%C3%A9todo%20BIM%20permite,equipe%20parta%20para%20a%20pr%C3%A1tica>. Acesso em: 24 mar. 2025.

JIQUEARÁ, M. C. R. O impacto da tecnologia BIM na otimização do planejamento e gestão de projetos de construção. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação.** São Paulo, v.10, n.03, mar. 2024. ISSN – 2675-3375. Disponível em:

<https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/13146/6352>. Acesso em: 27 mar. 2025.

LIMA, L. N. R.; SILVA, J. M. P. L. Análise de modelos e compatibilização de projetos: os desafios da metodologia BIM ante do decreto nº 10.306. **Revista Multidisciplinar do Sertão**, 2023, v.5, n. 2, p. 216-224. Disponível em: <https://revistamultisert1.websiteseuro.com/index.php/revista/article/view/558>. Acesso em: 12 mar. 2025.

LIMEIRA, M. P.; QUINTELLA, I. P. C. P. **Avaliação da Autodesk Construction Cloud para Gestão de Projetos BIM**. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2024, Maceió, ANTAC, 2024. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/6081/5026>. Acesso em: 30 mar. 2025.

LOPES, D.; SCHUWART, L. F. **Análise da aplicação da metodologia BIM em projetos de salas comerciais**. 2021. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/19265/1/tcc%20An%C3%A1lise%20da%20aplica%C3%A7%C3%A3o%20da%20metodologia%20BIM%20em%20projetos%20de%20salas%20comerciais%20.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2025.

LOPES, L. dos R.; MICELI JUNIOR, G.; PELLANDA, P. C. Fluxo de trabalho digital para otimização de projetos estruturais paramétricos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 3., 2021. **Fluxo de trabalho digital para otimização de projetos estruturais paramétricos**. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2021. p. 1-14. DOI: 10.46421/sbtic.v3i00.607. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sbtic/article/view/607>. Acesso em: 25 mar. 2025.

MACHADO, R. Análise do retrabalho devido à falta de planejamento em uma obra da indústria da construção civil. **Boletim do Gerenciamento**, [S.l.], v. 16, n. 16, p. 49-59, jul. 2020. ISSN 2595-6531. Disponível em: <https://nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento/article/view/347/275>. Acesso em: 25 mar. 2025.

MACIEL, A. C. F.; SOUZA JUNIOR, D. A. D.; OLIVEIRA, P. H. Detecção de incompatibilidades de projetos entre metodologia convencional 2D E BIM: um estudo comparativo. **Revista de Gestão e Projetos**, [S. l.], v. 13, n. 3, p. 97-116, p. 102, 2022. DOI: 10.5585/gep.v13i3.22337. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/gep/article/view/22337>. Acesso em: 16 mar. 2025.

MARTINS, A. L. G.; SANTOS, E. T.; CARDOSO, F. F. A digitalização das empresas de projetos com a adoção do BIM: oportunidades e barreiras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 3., 2021. **A digitalização das empresas de projetos com a adoção do BIM: oportunidades e barreiras**. Anais [...]. Porto Alegre.

MENDES, A. L.; *et al.* O BIM como ferramenta para gestores: a utilização do ciclo 5W2H na plataforma Revit da Autodesk. **Revista Científica FAEMA**, FAEMA, Ariquemes, v. 14, n.2,

p. 294-314, 2023. ISSN 2179-4200, DOI <http://dx.doi.org/10.31072>. 2023, p. 295. Disponível em: <https://revista.faema.edu.br/index.php/Revista-FAEMA/article/view/1293/1183>. Acesso em: 21 mar. 2025.

MIZUTANI, M. N. P. *et al.* A transformação no projetar e na tomada de decisão com o uso do BIM / Transformation in designing and decision making with the use of BIM. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 7, p. 49545–49557, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n7-559. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/13655>. Acesso em: 05 mar. 2025.

OLIVEIRA, I. de P.; VIANA, G. R.; OLIVEIRA, C. B. de. Análise da importância do sistema BIM na gestão de projetos. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, [S. l.], v. 9, n. 5, p. 1128–1139, 2023. DOI: 10.51891/rease.v9i5.9680. Disponível em: <https://www.periodicorease.pro.br/rease/article/view/9680>. Acesso em: 26 mar. 2025.

REIS, F. F. P. Aplicação do BIM em projetos: estudo de caso em uma residência unifamiliar de pequeno porte. **Revista Gestão Tecnologia e Ciências**. v.10, n 33, p. 101 – 121. 2021. Disponível em: <https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/getec/article/view/2564>. Acesso em: 19 mar. 2025.

RIBEIRO, R. R.; CÉSAR JÚNIOR, K. M. L. Modelagem paramétrica baseada em objetos em BIM para o projeto estrutural: estudo de caso de fundações tipo tubulão. **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 12, p. e021029, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v12i00.8653835>. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8653835>. Acesso em: 25 fev. 2025.

SANTOS, R. L.; CAMPELO FILHO, C. R.; VALÉRIO, B. M. V. Otimização da extração de quantitativos para orçamento de obras por meio de *software* BIM: uma proposta de matriz de parâmetros. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, [S. l.], v. 18, n. 1, p. 151-172, 2023. DOI: 10.11606/gtp.v18i1.204175. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/204175>. Acesso em: 26 mar. 2025.

SILVA, A. D. D. Impactos da Indústria 4.0 na Construção Civil brasileira. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA. **Impactos da Indústria 4.0 na Construção Civil brasileira**. 2020. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos18/18726200.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2025.

SOUZA, D. C. T. M.; FREITAS, L. D. Impactos da Aplicação do Building Information Modeling aliado aos princípios da construção enxuta na construção civil. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, v. 10, n. 18, p. 6- 24, 2022. DOI:10.5380/relainep.v10i18.82625.

VIEIRA, T. T.; FIGUEIREDO, K. V. Vantagens de planejar uma obra com a plataforma BIM, REVIT. **Boletim do Gerenciamento**, [S.l.], v. 17, n. 17, p. 10-19, p. 12. ago. 2020. ISSN 2595-6531. Disponível em:

<https://nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento/article/view/357>. Acesso em: 06 mar. 2025.

CAPÍTULO XIX

ANÁLISE ESTATÍSTICA DA GERAÇÃO DE ENERGIA POR USINAS DE BIOMASSA NO BRASIL

**Henrique Costa Gomes
Mario Vinicio Garcia
Ana Paula Gatto da Conceição
Rita de Cássia Moreschi Dória**

DOI: 10.5281/zenodo.17307558

1. INTRODUÇÃO

A busca por fontes renováveis de energia tem ganhado destaque nas políticas públicas e no setor industrial, como resposta às mudanças climáticas e à necessidade de diversificação da matriz energética. Entre as fontes renováveis, a biomassa se destaca por sua capacidade de aproveitamento energético de resíduos orgânicos e por sua relevância histórica na geração de energia no Brasil (BRASIL, 2023).

A biomassa é composta por diferentes subtipos, como o bagaço de cana-de-açúcar, resíduos de madeira e biogás, cada um com características específicas de geração, produtividade e distribuição regional. De acordo com dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2022), a biomassa responde por uma parcela significativa da geração de energia termelétrica, sendo especialmente importante em regiões com produção agrícola

e agroindustrial intensa.

Apesar da importância da biomassa na matriz energética brasileira, a literatura ainda carece de análises estatísticas que explorem a evolução temporal da potência instalada, sua sazonalidade, a produtividade média das usinas e a relação entre número de usinas e capacidade total. Este trabalho visa preencher essa lacuna por meio de uma abordagem estatística, utilizando a linguagem R para análise de dados governamentais.

A pesquisa busca responder às seguintes questões: (i) quais são os tipos de biomassa com maior produtividade média? (ii) como evoluiu a participação dos subtipos na matriz energética nacional? (iii) existem diferenças estatisticamente significativas na potência instalada entre os subtipos? Para isso, são aplicadas técnicas de visualização, boxplots, análise de variância (ANOVA) e análise de correlação, considerando dados extraídos de base pública sobre usinas termelétricas no Brasil.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A biomassa é definida como qualquer matéria orgânica de origem vegetal ou animal que possa ser convertida em energia por processos químicos, físicos ou biológicos (DEMIRBAS, 2001). No contexto brasileiro, os principais subtipos incluem o bagaço de cana-de-açúcar, licor negro, resíduos de madeira e biogás, sendo amplamente utilizados para cogeração em setores agroindustriais (BNDES; CGEE, 2008).

Segundo Ballesteros et al. (2011), a biomassa é uma fonte de energia sustentável, cuja utilização pode contribuir para a redução de gases de efeito estufa, especialmente quando substitui fontes fósseis. No Brasil, o uso do bagaço de cana como combustível em caldeiras de usinas é um exemplo clássico de aproveitamento energético de resíduos agrícolas, promovendo a integração entre produção de açúcar, etanol e eletricidade.

Do ponto de vista econômico, a biomassa permite o aproveitamento de resíduos industriais, reduzindo custos operacionais e promovendo a autossuficiência energética, sobretudo em indústrias de papel e celulose (MACEDO et al., 2008). Além disso, contribui para o desenvolvimento regional ao estimular cadeias produtivas locais (EPE, 2022).

Do ponto de vista estatístico, a análise de variância (ANOVA) é uma técnica essencial para verificar diferenças entre grupos, permitindo comparar médias de variáveis contínuas entre categorias nominais (MONTGOMERY, 2017). Em estudos de geração de energia, a ANOVA pode ser utilizada para identificar diferenças significativas

na produtividade entre tipos de biomassa.

Complementarmente, a análise de correlação e os gráficos de dispersão são úteis para investigar relações entre variáveis, como a quantidade de usinas e a potência instalada. Já os gráficos de linha e boxplots fornecem uma perspectiva visual da evolução temporal e da sazonalidade da geração energética, conforme apontado por Wickham e Grolemund (2016) em sua abordagem com tidyverse.

3. METODOLOGIA

3.1 Tipo de Pesquisa

A pesquisa caracteriza-se como um estudo quantitativo, descritivo e exploratório, com aplicação de estatística inferencial para avaliação de diferenças entre grupos e análise de tendências. A abordagem quantitativa permite a manipulação de grandes volumes de dados e a extração de padrões relevantes por meio de técnicas estatísticas, conforme defendido por Gil (2017).

3.2 Fonte de Dados

Os dados foram obtidos a partir de arquivos públicos de usinas termelétricas brasileiras disponibilizados pelos dados abertos da ANEEL - . Para esta análise, considerou-se uma base de dados contendo informações mensais de potência instalada e quantidade de usinas, discriminadas por tipo e subtipo de biomassa, com cobertura entre os anos de 2000 e 2023.

3.3 Ferramentas Utilizadas

A análise foi realizada na linguagem de programação R, por meio de pacotes como tidyverse, ggplot2, lubridate, kableExtra, readxl e effectsize. O R se destaca por seu poder analítico e sua capacidade de gerar visualizações claras e interpretáveis, como defendido por Wickham (2016).

3.4 Procedimentos de Análise

O estudo seguiu uma abordagem metodológica estruturada em várias etapas. Inicialmente, foi realizada a leitura e o pré-processamento da base de dados, incluindo a padronização de nomes, tratamento de dados faltantes e criação de variáveis temporais para garantir a qualidade e consistência das informações analisadas.

Em seguida, conduziu-se uma análise descritiva da potência instalada, explorando sua distribuição por tipo e subtipo de biomassa. Essa etapa foi complementada com visualizações gráficas estratégicas, como linhas do tempo para avaliar a evolução anual da potência, boxplots mensais para identificar padrões sazonais em usinas específicas e gráficos de barras para representar a participação relativa dos diferentes subtipos na matriz energética.

Para aprofundar a compreensão das relações entre as variáveis, foi realizada uma análise de correlação entre o número de usinas e a potência total instalada. Aplicou-se também um teste de hipóteses por meio de ANOVA de um fator (one-way ANOVA) para verificar diferenças estatisticamente significativas na média da potência entre os subtipos de biomassa. Os resultados da ANOVA foram complementados com um teste post-hoc (Tukey HSD) para comparações específicas entre pares de grupos e com o cálculo do tamanho de efeito (η^2), que permitiu avaliar a relevância prática das diferenças identificadas.

Essa abordagem metodológica integrada permitiu não apenas caracterizar o panorama atual da geração de energia por biomassa no Brasil, mas também identificar padrões, sazonalidades e diferenças significativas entre as diversas fontes analisadas.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

Esta tabela 1, consolida os dados mapeados a partir da base de dados abertos da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), apresentando um resumo estatístico da potência média, mediana e quantidade de usinas por tipo e subtipo de fonte energética. O objetivo é oferecer uma visão comparativa da capacidade de geração das diferentes matrizes energéticas no Brasil, destacando desde grandes termelétricas a gás natural e biomassa até fontes menores, como biogás e resíduos urbanos. Os dados foram tratados para unificar variações de nomenclatura, garantindo uma análise mais precisa e

organizada. Essa consolidação permite identificar padrões, como a predominância de usinas movidas a bagaço de cana-de-açúcar em quantidade, enquanto o gás natural lidera em potência média.

Tabela 1: Mapeamento dos Tipos de Usina

Tipo de Usina	Subtipo de Usina	Média Potência	de Mediana Potência	de Total Usinas	de
Gás Natural	Gás Natural	14,217,000	14,000,000	8,266	
Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	10,826,590	11,305,120	21,585	
Petróleo	Óleo Diesel	4,275,000	4,300,000	102,493	
Petróleo	Óleo Combustível	3,500,000	3,300,000	2,791	
Carvão Mineral	Carvão Mineral	3,120,000	3,250,000	687	
Floresta	Licor Negro	2,406,497	2,530,719	979	
Petróleo	Outros Energéticos de Petróleo	900,000	900,000	726	
Floresta	Resíduos Florestais	496,875	427,697	3,083	
Gás Natural	Calor de Processo – GN	350,000	500,000	160	
Petróleo	Gás de Refinaria	350,000	330,000	363	
Carvão Mineral	Gás de Alto Forno – CM	310,000	330,000	491	
Outros Fósseis	Calor de Processo – OF	220,000	200,000	259	
Resíduos Urbanos	Sólidos Biogás	150,000	150,000	890	
Floresta	Lenha	108,388	104,575	288	
Floresta	Gás de Alto Forno – Biomassa	106,642	124,265	482	
Agroindustriais	Casca de Arroz	47,574	45,333	649	
Floresta	Carvão Vegetal	39,496	38,197	348	
Agroindustriais	Capim Elefante	38,683	31,700	123	
Carvão Mineral	Calor de Processo – CM	25,000	25,000	75	
Agroindustriais	Biogás	27,766	28,844	365	
Resíduos Urbanos	Sólidos Resíduos Sólidos Urbanos – RU	17,816	24,351	130	
Biocombustíveis Líquidos	Óleos Vegetais	7,500	4,350	148	
Resíduos Urbanos	Sólidos Carvão – RU	6,829	8,250	85	
Resíduos Animais	Biogás	4,500	4,000	635	
Floresta	Biogás	5,000	5,000	16	
Petróleo	Gás de Alto Forno – PE	1,200	1,200	31	
Biocombustíveis Líquidos	Etanol	320	320	36	

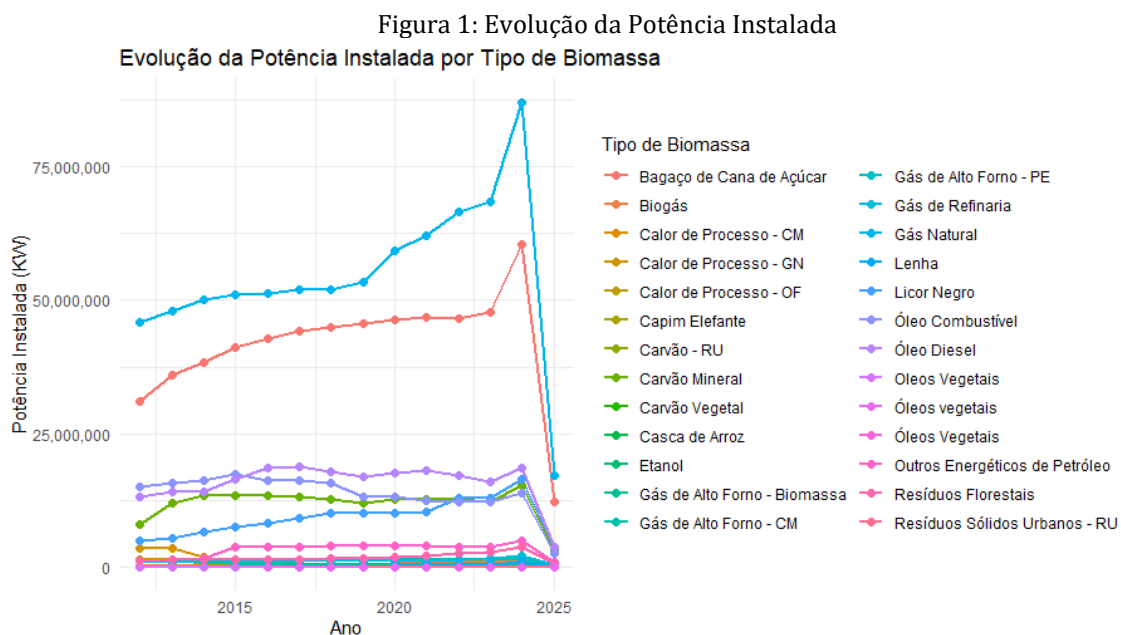
Fonte: Autor 2025.

Os dados consolidados da ANEEL revelam uma distribuição heterogênea da capacidade de geração no Brasil, com destaque para as usinas movidas a gás natural, que apresentam a maior potência média (14,2 MW) e um expressivo número de unidades (8.266). Em seguida, as usinas de bagaço de cana-de-açúcar se destacam pela quantidade (21.585 usinas), refletindo a importância da biomassa na matriz energética nacional,

especialmente no setor sucroenergético. Já as termelétricas a óleo diesel e combustível possuem alta representatividade em números absolutos, mas com potências médias inferiores, indicando seu uso complementar em sistemas isolados ou como backup.

Por outro lado, fontes como resíduos urbanos (biogás) e biocombustíveis líquidos (etanol e óleos vegetais) aparecem com potências médias significativamente menores, sugerindo sua aplicação em sistemas descentralizados ou de pequena escala. A baixa potência de usinas como as movidas a casca de arroz ou capim-elefante reforça seu caráter regional e nichos específicos. Esses resultados evidenciam a diversidade da matriz energética brasileira, com predominância de fontes térmicas flexíveis (gás e biomassa) e um potencial ainda subutilizado de energias renováveis alternativas, como biogás e resíduos.

O gráfico "Evolução da Potência Instalada por Tipo de Biomassa" na figura 1, apresenta um panorama dinâmico da capacidade energética proveniente de diferentes fontes biomássicas no Brasil, conforme registrado nos dados da ANEEL. A imagem lista uma variedade de subtipos, desde os mais tradicionais, como *bagaço de cana-de-açúcar* e *lenha*, até fontes menos convencionais, como *biogás de resíduos urbanos* e *calor de processo industrial*. A ausência de valores específicos ou eixos temporais no fragmento sugere que a análise completa exigiria dados complementares, mas a estrutura evidencia a diversidade de biomassa utilizada na geração de energia, organizada por categorias técnicas (ex.: processos industriais, resíduos agroflorestais).

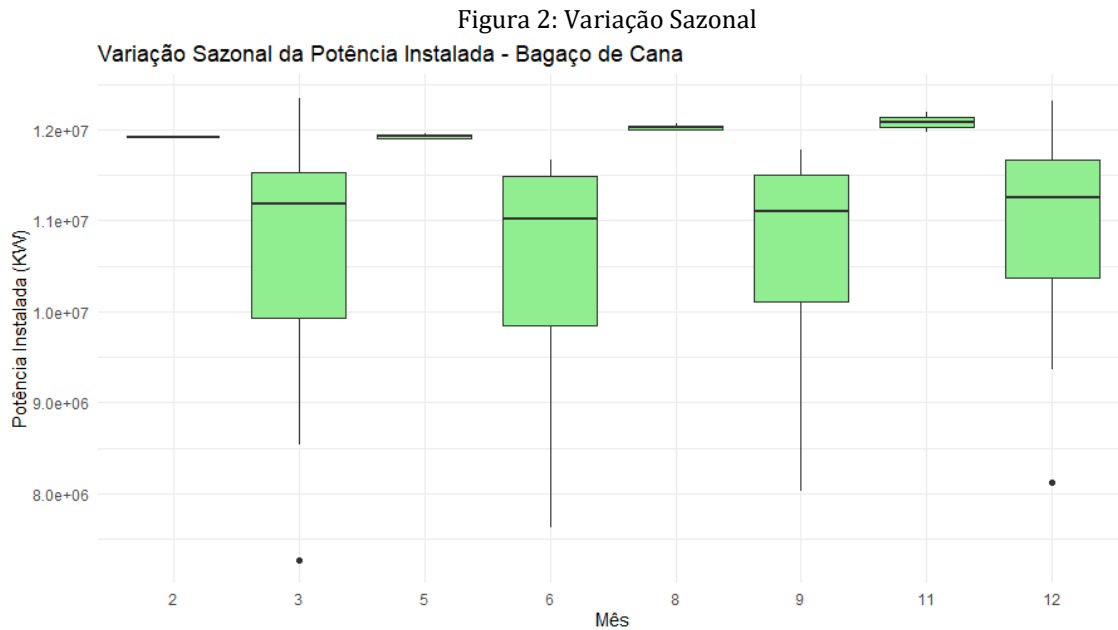


Fonte: Autor 2025.

Os dados destacam a predominância de biomassa vinculada ao setor sucroenergético (*bagaço de cana*), reforçando seu papel central na matriz renovável brasileira. Fontes como *licor negro* (subproduto da indústria de papel) e *resíduos florestais* demonstram a integração entre setores produtivos e geração de energia, enquanto opções como *biogás* e *resíduos urbanos* revelam potencial subexplorado para economia circular. A repetição de termos como "*Óleos Vegetais*" (com grafias variadas) e a inclusão de fontes não biomássicas (*gás natural, óleo diesel*) indicam possíveis inconsistências na classificação, sugerindo a necessidade de padronização nos relatórios oficiais.

A evolução temporal (não visível no fragmento) provavelmente mostraria crescimento em fontes modernas, como biogás, em contraste com a estabilidade de biomassa tradicional. A presença de categorias industriais (*calor de processo*) ressalta a importância de políticas que incentivem a eficiência energética em processos produtivos. Para uma análise robusta, seria essencial cruzar esses dados com séries históricas e metas do Plano Nacional de Energia, identificando oportunidades para expandir fontes sustentáveis e reduzir lacunas de medição.

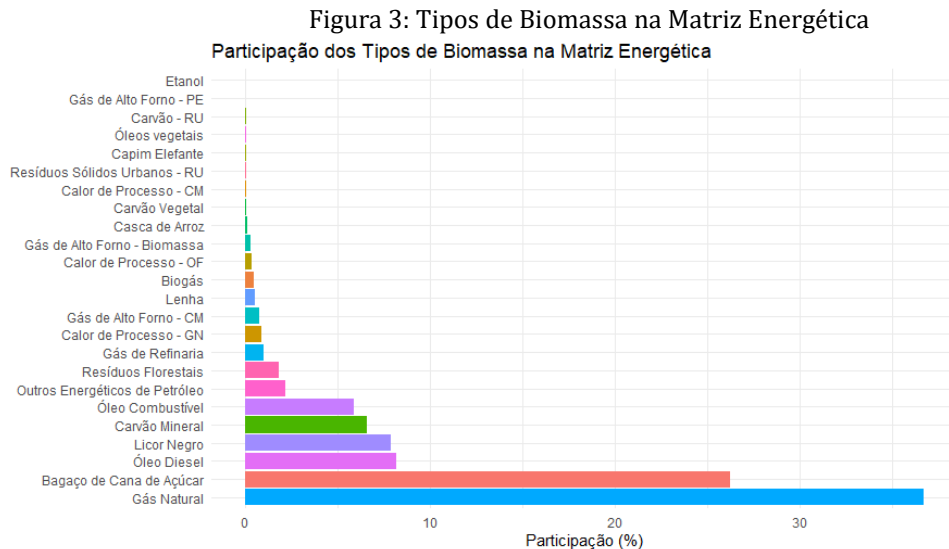
O gráfico apresenta na figura 2, a variação sazonal da potência instalada proveniente do bagaço de cana-de-açúcar, um dos principais componentes da matriz de bioenergia brasileira. Os dados mostram flutuações significativas na capacidade de geração ao longo dos meses analisados (fevereiro, março, maio e junho), com valores que variam entre 9.0×10^6 KW e 1.2×10^7 KW. Essa oscilação reflete diretamente o ciclo da safra canavieira, que concentra sua colheita e processamento em determinados períodos do ano.



Fonte: Autor 2025.

A potência atinge seu pico em fevereiro ($1.2e+07$ KW), período tradicionalmente associado ao ápice da moagem nas regiões produtoras, e declina progressivamente até junho ($9.0e+06$ KW), marcando o final da safra. Essa sazonalidade é característica intrínseca da geração de energia a partir de biomassa agrícola, que está diretamente vinculada aos ciclos produtivos do setor sucroenergético. Os dados reforçam a importância de estratégias de armazenamento e complementação com outras fontes renováveis para garantir estabilidade no fornecimento energético durante os meses de entressafra.

A composição percentual das diferentes fontes de biomassa na matriz energética nacional na figura 3, destacando a relevância de cada tipo no cenário atual. A disposição dos dados mostra claramente a predominância do bagaço de cana-de-açúcar e do gás natural como as fontes mais significativas, ocupando posição de destaque na lista. Outras biomassas importantes como etanol, biogás e resíduos sólidos urbanos aparecem com participações intermediárias, enquanto fontes como calor de processo industrial e óleos vegetais completam o espectro com contribuições menores.



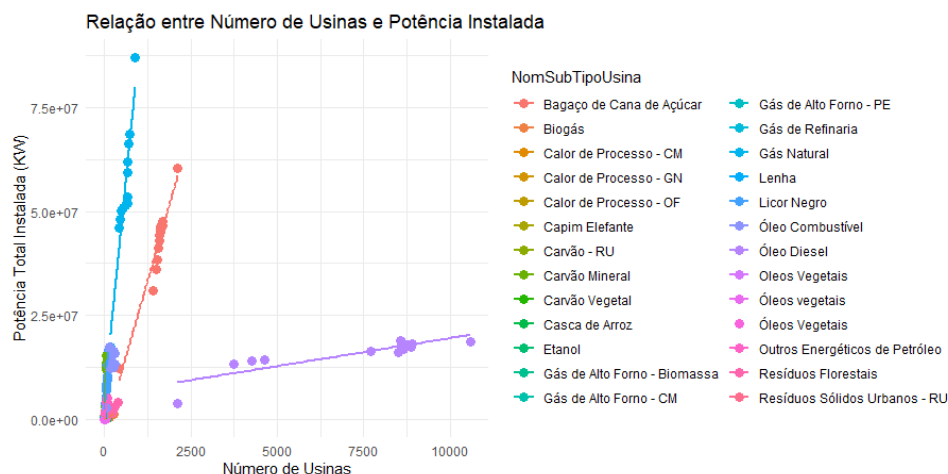
Fonte: Autor 2025.

A análise revela uma matriz diversificada, porém ainda concentrada em poucas fontes principais. O bagaço de cana-de-açúcar se consolida como o carro-chefe da bioenergia no país, reflexo direto da forte indústria sucroenergética brasileira. Chama atenção a participação significativa do gás natural, que embora não seja uma biomassa, aparece no gráfico, sugerindo a necessidade de maior rigor na classificação das fontes energéticas.

As demais biomassas, apesar de apresentarem menores percentuais individuais, representam coletivamente um importante potencial para a expansão da geração distribuída e soluções energéticas regionais. Esta distribuição aponta para oportunidades de diversificação da matriz, com especial potencial para o crescimento de fontes como biogás (de resíduos urbanos e agroindustriais) e resíduos florestais, que podem ganhar espaço com políticas de incentivo adequadas. A presença de múltiplas tipologias de "calor de processo" indica ainda o potencial de aproveitamento energético de subprodutos industriais, reforçando a importância da eficiência energética nos processos produtivos.

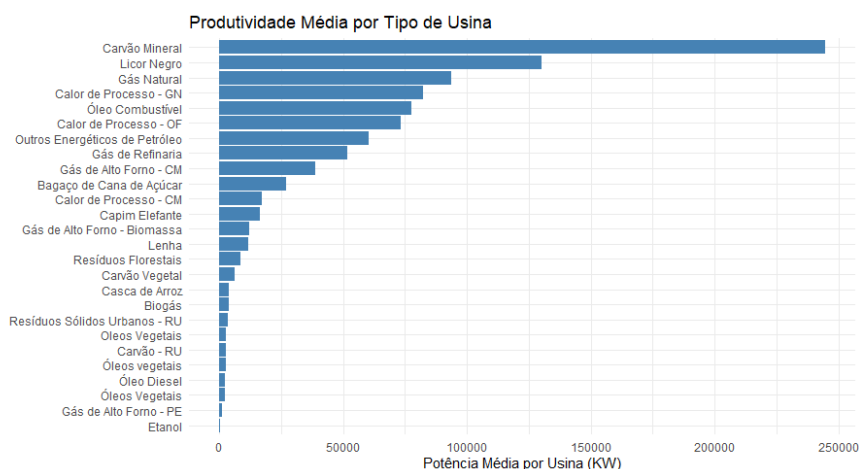
A correlação fundamental entre a quantidade de usinas e a potência total instalada para diferentes fontes de biomassa na matriz energética brasileira. Os dados mostram três níveis distintos de potência (2.5×10^7 KW, 5.0×10^7 KW e 7.5×10^7 KW) distribuídos em uma faixa que varia de 2.500 a 10.000 usinas. Essa disposição permite identificar claramente como diferentes tipos de biomassa se posicionam em termos de escala versus capacidade de geração.

Figura 4: Número de Usinas x Potencia Instalada



Destacando dois modelos distintos na matriz energética brasileira: (1) fontes como bagaço de cana-de-açúcar e licor negro, que concentram alta potência em poucas usinas (modelo industrial); e (2) fontes como biogás e resíduos urbanos, com muitas usinas de menor capacidade (geração distribuída). A presença de termos repetidos (ex.: "Óleos Vegetais") indica inconsistências na classificação, enquanto a inclusão de fontes não renováveis (gás natural, óleo diesel) sugere a necessidade de refinamento nos critérios. O padrão observado reforça a importância de políticas específicas para cada tipo de biomassa — incentivos à eficiência para usinas industriais e à capilaridade para fontes descentralizadas —, além da padronização de dados para melhor planejamento energético. A diversidade retratada evidencia o potencial do Brasil em integrar diferentes soluções bioenergéticas, desde que superados desafios de organização e escala mostrado na figura 5.

Figura 5: Produtividade Média



Revelando disparidades significativas na eficiência energética entre os tipos de biomassa. No topo da produtividade, destacam-se fontes como Licor Negro e Gás Natural (este último tecnicamente não classificado como biomassa), que alcançam as maiores médias de potência por unidade (próximas a 250.000 KW), seguidas por Bagaço de Cana de Açúcar e Óleo Combustível, com desempenho intermediário. Em contraste, fontes como Casca de Arroz, Óleos Vegetais (com variações de nomenclatura) e Etanol apresentam as menores médias (abaixo de 50.000 KW), indicando usinas geralmente menores ou menos eficientes.

Os resultados da ANOVA demonstram de forma contundente que existem diferenças altamente significativas na potência instalada entre os diversos subtipos de usinas analisados. O valor F extremamente elevado (2148) e o p-value inferior a 0,001 comprovam que a variável "NomSubTipoUsina" exerce uma influência determinante na capacidade de geração energética. A probabilidade de que essas diferenças observadas ocorram por mero acaso é praticamente nula, o que confere robustez estatística às conclusões.

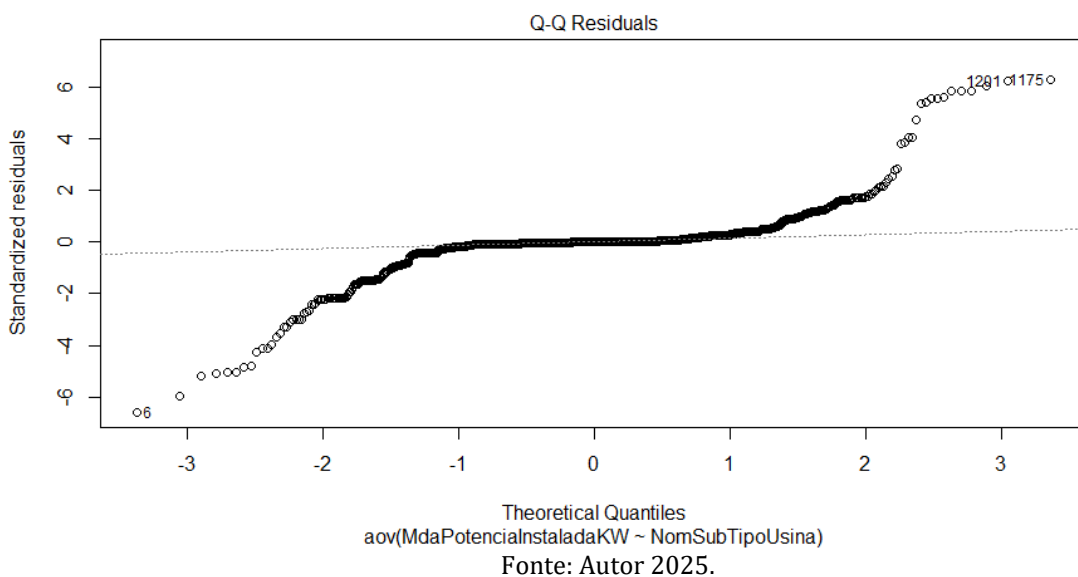
A análise revela que a variabilidade entre os diferentes tipos de usinas (1.589×10^{16}) é 42 vezes maior do que a variabilidade residual (3.804×10^{14}), indicando que o fator "subtipo de usina" explica a maior parte das diferenças na potência instalada. Essa disparidade fica ainda mais evidente ao compararmos as médias quadráticas: enquanto a média entre grupos alcança 6.358×10^{14} , a média residual é de apenas 2.960×10^{11} . Esses números validam as observações preliminares de que fontes como bagaço de cana e licor negro possuem perfis de capacidade drasticamente diferentes de outras biomassas.

Os resultados têm importantes implicações práticas para o planejamento do setor energético. A comprovação estatística de que cada tipo de biomassa possui características únicas de geração justifica a necessidade de políticas públicas diferenciadas e incentivos específicos para cada categoria. Além disso, os dados reforçam a importância de se considerar a escolha da biomassa como um fator crítico nos projetos de geração de energia, já que essa decisão impactará diretamente a capacidade instalada e, conseqüentemente, a eficiência do sistema como um todo.

O gráfico Q-Q plot na figura 6 dos resíduos padronizados, revela importantes insights sobre a adequação do modelo ANOVA aos dados de potência instalada por tipo de usina. Na região central (entre -1 e 1 desvios padrão), os pontos acompanham de forma satisfatória a linha teórica de normalidade, indicando que a maioria das observações

segue o padrão esperado. Este comportamento sugere que o modelo consegue captar adequadamente a tendência central dos dados, validando em parte os pressupostos da análise de variância realizada.

Figura 6: Análise de Resíduos



Entretanto, nas caudas da distribuição (acima de 2 e abaixo de -2 desvios padrão), observam-se desvios significativos da normalidade, com resíduos padronizados atingindo valores entre 4 e 6. Estes pontos extremos provavelmente correspondem a usinas com características atípicas - seja megausinas com capacidade excepcionalmente alta ou micro usinas com potência mínima. Tais outliers merecem atenção especial, pois podem representar tanto casos genuínos de usinas especiais quanto possíveis erros de registro nos dados.

A presença destes desvios nas caudas indica que, embora o modelo ANOVA principal permaneça válido para a maioria dos casos, suas conclusões devem ser qualificadas quando aplicadas a subtipos de usinas com comportamento extremo. É importante destacar que a ANOVA é relativamente robusta a violações moderadas da normalidade, especialmente em amostras grandes como a analisada. No entanto, os resultados para grupos com observações atípicas devem ser interpretados com cautela adicional.

5. CONCLUSÃO

Esta análise abrangente da potência instalada por tipo de usina de biomassa no Brasil revelou padrões importantes para o setor energético nacional. Os principais achados destacam a dominância do bagaço de cana-de-açúcar tanto em número de usinas quanto em capacidade de geração, seguido por fontes industriais como licor negro, que apresentam alta produtividade por unidade. A ANOVA confirmou estatisticamente que existem diferenças altamente significativas ($F=2148$, $p<0,001$) na potência instalada entre os diversos subtipos de usinas, com a variável "NomSubTipoUsina" explicando grande parte da variabilidade observada (Soma dos Quadrados entre grupos = $1.589e+16$).

Os desafios identificados são multifacetados: a análise de resíduos revelou problemas de normalidade nas caudas da distribuição, com valores extremos que sugerem desde inconsistências nos dados até casos genuínos de usinas com perfis atípicos. A presença de classificações redundantes (como múltiplas entradas para "Óleos Vegetais") e a inclusão inadequada de fontes não renováveis (gás natural, óleo diesel) nos dados de biomassa apontam para graves problemas de padronização e qualidade da informação. Além disso, a sazonalidade marcante de algumas fontes, como o bagaço de cana, revela vulnerabilidades no suprimento energético que precisam ser abordadas.

Para estudos futuros, recomenda-se desenvolver protocolos rigorosos de padronização de dados para classificação e registro de usinas de biomassa, garantindo consistência terminológica e metodológica nos bancos de dados setoriais; complementar a análise atual com testes post-hoc (como Tukey HSD) para identificar diferenças específicas entre pares de subtipos de usinas; avançar na modelagem estatística incorporando variáveis adicionais como localização geográfica e escala operacional em abordagens multivariadas; aprofundar estudos tecnológicos focados em soluções para mitigação da sazonalidade, como sistemas de armazenamento e logística de biomassa; e formular políticas setoriais específicas para cada tipo de biomassa, considerando suas particularidades técnicas, econômicas e ambientais, visando otimizar o aproveitamento energético de cada fonte dentro de uma estratégia integrada de desenvolvimento sustentável do setor bioenergético brasileiro.

A análise demonstra que o Brasil possui uma das matrizes de bioenergia mais diversificadas do mundo, porém subaproveitada em seu potencial. Superar os desafios de

qualidade de dados, normalização estatística e desenvolvimento tecnológico será crucial para posicionar o país como líder global em bioenergia sustentável. Futuras pesquisas deverão focar na integração inteligente entre as diferentes fontes biomássicas, maximizando sinergias e minimizando vulnerabilidades do sistema.

REFERÊNCIAS

BNDES; CGEE. **Bioeletricidade: Energia da biomassa na matriz elétrica**. Rio de Janeiro: BNDES, 2008.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2023**. Brasília: MME/EPE, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Balanco-Energetico-Nacional>. Acesso em: 05 abr. 2025.

DEMIRBAS, A. Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. *Energy Conversion and Management*, v. 42, n. 11, p. 1357-1378, 2001.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2032**. Brasília: EPE, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Decenal-de-Expansao-de-Energia>. Acesso em: 05 abr. 2025.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MACEDO, I. C.; SEABRA, J. E. A.; SILVA, J. E. A. R. Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020. *Biomass and Bioenergy*, v. 32, n. 7, p. 582–595, 2008.

MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. 9. ed. New York: Wiley, 2017.

WICKHAM, H. **ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**. 2. ed. New York: Springer, 2016.

WICKHAM, H.; GROLEMUND, G. **R for Data Science**. Sebastopol: O'Reilly Media, 2016.

CAPÍTULO XX

LONDRES E A SUSTENTABILIDADE URBANA: UMA ANÁLISE DOS INDICADORES DO CITIES IN MOTION INDEX (2020-2025)

**Miriellen Augusta da Assunção
Antonio Carlos Freire Sampaio
Marília Augusta da Assunção**

DOI: 10.5281/zenodo.17307598

1. INTRODUÇÃO

1.1 Evolução Histórica e Urbana de Londres

Londres, maior metrópole do Reino Unido e situada às margens do rio Tâmesa, destaca-se como centro econômico, cultural e de transportes do país. A cidade tem uma longa trajetória marcada por invasões, como a dos dinamarqueses no século IX e dos normandos em 1067, que contribuíram para seu desenvolvimento comercial. Em 1215, conquistou o direito de eleger seu próprio prefeito, e sua ascensão como capital foi

impulsionada pela concentração de instituições governamentais em Westminster e pelo fortalecimento do comércio, especialmente marítimo.

A região da Grande Londres, apesar de ser a menor subdivisão da Inglaterra, concentra a maior população. No século XVII, a cidade enfrentou desafios como a peste de 1665 e o grande incêndio de 1666, mas demonstrou forte capacidade de recuperação. A fundação do Banco da Inglaterra em 1694 consolidou sua importância financeira.

Durante o século XIX, Londres cresceu rapidamente em população e importância econômica. Em 1889, criou-se o Condado de Londres e o Conselho do Condado de Londres (LCC), responsável por diversas melhorias urbanas, como a expansão do transporte público, áreas verdes, saneamento e habitação social, promovendo uma cidade mais saudável e organizada.

O planejamento urbano ganhou força especialmente após a Segunda Guerra Mundial, com ênfase na construção de moradias, escolas e no controle da expansão urbana. Apesar de algumas limitações legais, buscou-se preservar a identidade dos bairros e o uso racional do solo. Esse modelo de gestão urbana influenciou urbanistas globalmente, contribuindo para que Londres se tornasse referência em sustentabilidade urbana.

2. METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como uma análise qualitativa e descritiva, com base em levantamento bibliográfico e documental, cuja abordagem fundamenta-se nos indicadores do *IESE Cities in Motion Index* (CIMI), elaborado pelo Centro de Globalização e Estratégia da IESE Business School, da Universidade de Navarra. O estudo tem como objetivo analisar a evolução da cidade de Londres entre os anos de 2022 e 2025, com foco em aspectos relacionados à sustentabilidade urbana, planejamento, governança e desenvolvimento inteligente.

O CIMI avalia cidades a partir de nove dimensões: capital humano, coesão social, economia, governança, meio ambiente, mobilidade e transporte, planejamento urbano, projeção internacional e tecnologia. Esses pilares foram utilizados como base analítica para a comparação do desempenho da cidade de Londres nos referidos anos, considerando sua posição no ranking geral e os avanços específicos em cada uma das dimensões.

Além dos dados fornecidos pelo IESE, foram consultadas fontes complementares, como relatórios institucionais, publicações acadêmicas, plataformas de divulgação histórica e indicadores oficiais de planejamento urbano. A metodologia adotada permitiu identificar as transformações ocorridas ao longo do tempo e analisar de que forma essas mudanças contribuíram para a consolidação de Londres como uma das cidades mais inteligentes e sustentáveis do mundo.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

A compreensão do desenvolvimento urbano de grandes metrópoles como Londres exige a articulação de conceitos relacionados a cidades inteligentes, planejamento urbano sustentável e governança metropolitana. De acordo com Giffinger et al. (2007), o termo *cidade inteligente* refere-se a centros urbanos que utilizam tecnologia, inovação e capital humano como instrumentos para melhorar a qualidade de vida dos cidadãos e promover o desenvolvimento sustentável. Esse conceito ganhou força com o avanço da urbanização e a necessidade de respostas mais eficientes aos desafios urbanos contemporâneos.

Nesse contexto, surge o *IESE Cities in Motion Index* (CIMI), desenvolvido pela IESE Business School da Universidade de Navarra, como um instrumento internacionalmente reconhecido para avaliar o nível de inteligência e sustentabilidade das cidades. O índice baseia-se em nove dimensões interdependentes: capital humano, coesão social, economia, governança, meio ambiente, mobilidade e transporte, planejamento urbano, projeção internacional e tecnologia (IESE, 2023). A avaliação das cidades nesses pilares possibilita a identificação de boas práticas urbanas e políticas públicas que favorecem o bem-estar coletivo e o equilíbrio territorial.

O planejamento urbano, por sua vez, desempenha papel central na construção de cidades inteligentes. Segundo Villaça (2001), a organização do espaço urbano deve atender às necessidades da população, respeitando os limites ambientais, promovendo inclusão social e facilitando o acesso aos serviços públicos. Londres, ao longo de sua história, tem se destacado por integrar políticas de planejamento com foco em sustentabilidade e inovação. A atuação do *London County Council* (LCC), especialmente no pós-Segunda Guerra Mundial, é exemplo de políticas voltadas à reestruturação urbana, habitação social e valorização da identidade comunitária (LUCCHESI, 2012).

A coesão social é outro elemento essencial para a inteligência urbana. Para Diniz (2018), cidades verdadeiramente inteligentes devem garantir equidade, participação cidadã e acesso democrático aos recursos e serviços. Embora Londres tenha enfrentado desafios históricos nesse aspecto, os avanços recentes apontados pelo CIMI revelam melhorias significativas, especialmente em políticas públicas voltadas à inclusão.

Portanto, a fundamentação teórica que sustenta este estudo busca integrar os referenciais contemporâneos sobre cidades inteligentes e planejamento urbano com a análise empírica do caso londrino, fundamentada nos dados fornecidos pelo IESE Cities in Motion Index. Tal abordagem permite avaliar em que medida Londres tem se consolidado como um modelo de cidade sustentável, resiliente e socialmente integrada.

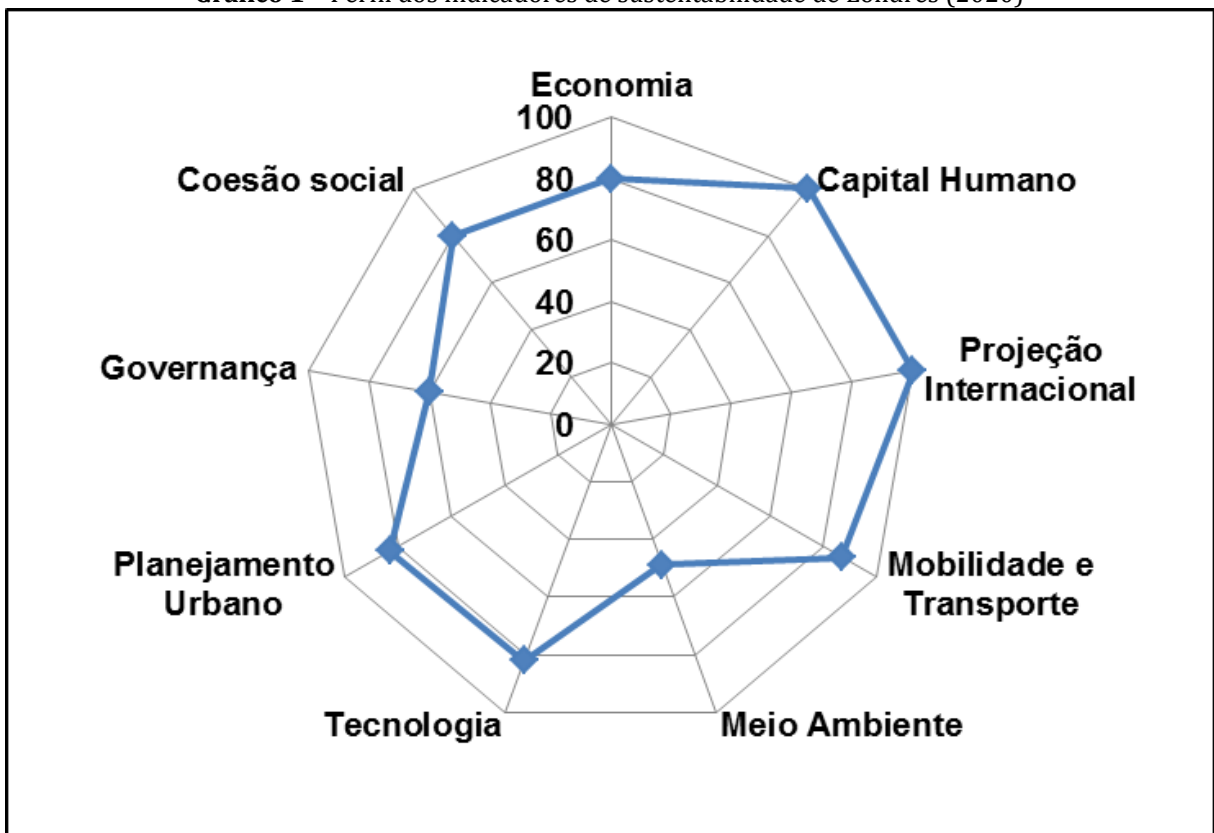
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cidade de Londres é a segunda mais populosa do continente europeu, compreendendo 32 distritos distribuídos em uma área de 1,57 km². Atualmente, destaca-se como um exemplo de referência em mobilidade urbana sustentável. Segundo dados de 2014, a cidade possuía cerca de 2,6 milhões de veículos automotores registrados. Aproximadamente 57% das residências contavam com pelo menos um automóvel, somando-se ainda o volume expressivo de transporte privado em circulação, como os táxis que operam entre os distritos.

Esse cenário revela uma forte dependência do transporte motorizado, sobretudo no contexto das atividades cotidianas dos cidadãos. De acordo com E. Moving (2018), os usuários desses automóveis passavam, em média, nove horas diárias no interior de seus veículos, o que evidencia os desafios enfrentados pela cidade em termos de fluidez viária e qualidade de vida urbana.

O Gráfico 1 apresenta o perfil dos indicadores de sustentabilidade para a capital inglesa, conforme o índice IESE Cities in Motion (2020). Em 2020, Londres alcançou 100 pontos no Índice CIMI, valor considerado como Alto Desempenho (H), o que lhe garantiu o primeiro lugar no ranking global. Esse desempenho foi repetido em 2022, com a cidade mantendo sua posição de liderança.

Gráfico 1 – Perfil dos indicadores de sustentabilidade de Londres (2020)



Fonte: IESE (2020).

Nota: Elaborado pela autora a partir dos dados da Fonte.

Ainda de acordo com o Gráfico 1, todos os indicadores de sustentabilidade analisados apresentaram desempenho positivo, com destaque para as dimensões de Capital Humano e Projeção Internacional, ambas com pontuação máxima (100 pontos). Esses resultados reafirmam o papel de Londres como referência mundial em políticas urbanas inteligentes e sustentáveis.

O indicador de Capital Humano, que apresentou desempenho máximo, está diretamente relacionado ao nível de envolvimento da cidade de Londres com a educação e a cultura, promovendo oportunidades para o desenvolvimento por meio da pesquisa e inovação. De acordo com o IESE (2020, p. 38):

"A cidade que ocupa o primeiro lugar nesta dimensão é Londres (Reino Unido), que alcança esta posição por ter o mais alto nível de escolas de negócios, bem como o maior número de universidades no top 500 em todo o mundo. Também possui muitas escolas secundárias, estatais e privadas, e uma alta proporção da população com ensino médio e superior, assim como uma ampla oferta cultural de teatros, museus e galerias de arte." (tradução nossa)

Além disso, Londres também se destaca em Projeção Internacional, ocupando o primeiro lugar nessa dimensão, a qual avalia a inserção da cidade no cenário global, considerando o turismo, a recepção de eventos de impacto internacional e a capacidade de atrair investimentos. O relatório do IESE (2020) destaca a expressiva oferta de hotéis, a grande quantidade de organizações de conferências, bem como o maior número de passageiros aéreos e rotas internacionais, fatores que reforçam sua posição de liderança global.

As dimensões de Mobilidade e Transporte, Tecnologia, Planejamento Urbano, Economia e Coesão Social apresentaram pontuações entre 80 e 100, refletindo um desempenho elevado. O indicador Mobilidade e Transporte, em especial, avalia a infraestrutura viária, a acessibilidade aos modais de transporte e as estratégias voltadas à promoção do transporte sustentável. Conforme o IESE (2020, p. 20, tradução nossa):

“Mobilidade e Transporte – tanto no que diz respeito ao transporte rodoviário e infraestrutura de rotas, à frota de veículos e transporte, bem como ao transporte aéreo – afetam a qualidade de vida dos habitantes de uma cidade e podem ser vitais para a sustentabilidade da cidade ao longo do tempo.”

Já o Planejamento Urbano refere-se ao acesso da população a serviços essenciais, como saneamento básico, habitação e qualidade das construções – elementos diretamente associados à qualidade de vida. A dimensão Tecnologia, por sua vez, está relacionada à conectividade urbana, abrangendo o uso de redes sociais, telefonia e internet banda larga como ferramentas para integração e inovação.

A Coesão Social reflete o grau de convivência entre os grupos sociais e o nível de participação cívica, indicando o envolvimento da população nos processos decisórios com base no diálogo e no respeito à diversidade. Tais aspectos fortalecem o sentimento de pertencimento e a construção de uma cidade mais inclusiva.

No tocante à Economia, o desempenho positivo é sustentado por políticas de desenvolvimento estratégico, inovação, empreendedorismo e planos de transição econômica. Já a Governança, com pontuação entre 60 e 80, reflete a capacidade institucional da cidade em promover ações participativas e eficientes, por meio de modelos administrativos inovadores e transparentes.

O único indicador com desempenho inferior a 60 foi o Meio Ambiente, que contempla aspectos como a emissão de poluentes, a qualidade do ar e da água e a gestão sustentável dos recursos naturais. Apesar do desempenho inferior, Londres vem

adotando medidas progressivas para a mitigação dos impactos ambientais, como demonstram os investimentos recentes em infraestrutura verde e mobilidade limpa.

Em 2020, Londres liderou o ranking mundial das cidades mais inteligentes, conforme o índice de Cidades em Movimento (CIMI), elaborado anualmente pelo IESE. O relatório destaca o desempenho da cidade nas seguintes dimensões:

“[...] nas dimensões de projeção internacional (posição 1), capital humano (posição 1), governança (posição 2), planejamento urbano (posição 2), mobilidade e transporte (posição 3), tecnologia (posição 6). No entanto, esta cidade não apresenta um desempenho tão bom nas dimensões da coesão social (posição 64) e meio ambiente (posição 35). Deve ficar claro que, embora não esteja em posição de destaque nessas dimensões, a cada ano apresenta uma melhora, consistente com o trabalho que está sendo feito para transformá-la em uma cidade inteligente, em todos os sentidos, e melhorar a sua posição global.” (IESE, 2020, p. 30, tradução nossa).

Esse cenário evidencia que o processo de construção de cidades inteligentes e sustentáveis é gradual, exigindo tanto transformações estruturais quanto uma mudança de mentalidade coletiva.

Dessa forma, é possível observar que Londres tem se destacado em ações voltadas à mobilidade urbana sustentável. Em 2018, a prefeitura da cidade lançou uma ambiciosa estratégia de transporte, na qual:

“[...] estipulou uma meta para 2041 em que 80% de todas as viagens na capital inglesa serão realizadas a pé, de bicicleta ou de transporte público. No mesmo ano, a prefeitura publicou o Plano de Ação para Ciclismo, que prevê investimentos significativos em nova infraestrutura para expandir a rede de ciclismo.” (SUM, 2020, p. 1).

Essa iniciativa visa estimular a mobilidade ativa por meio da bicicleta, requerendo, para isso, uma infraestrutura robusta e interligada. Londres expandiu e integrou ciclovias em todos os distritos e implementou o sistema público de aluguel de bicicletas, conhecido como *Boris Bikes*, em referência ao prefeito que instituiu a política. Outro destaque é a segurança no compartilhamento das vias entre automóveis e bicicletas.

Além disso, foram criadas as chamadas *cycle superhighways* — superestradas para ciclismo — que conectam áreas periféricas ao centro da cidade, oferecendo maior segurança e fluidez ao trajeto, uma vez que são segregadas do tráfego de automóveis (SMU/Londres, 2020).

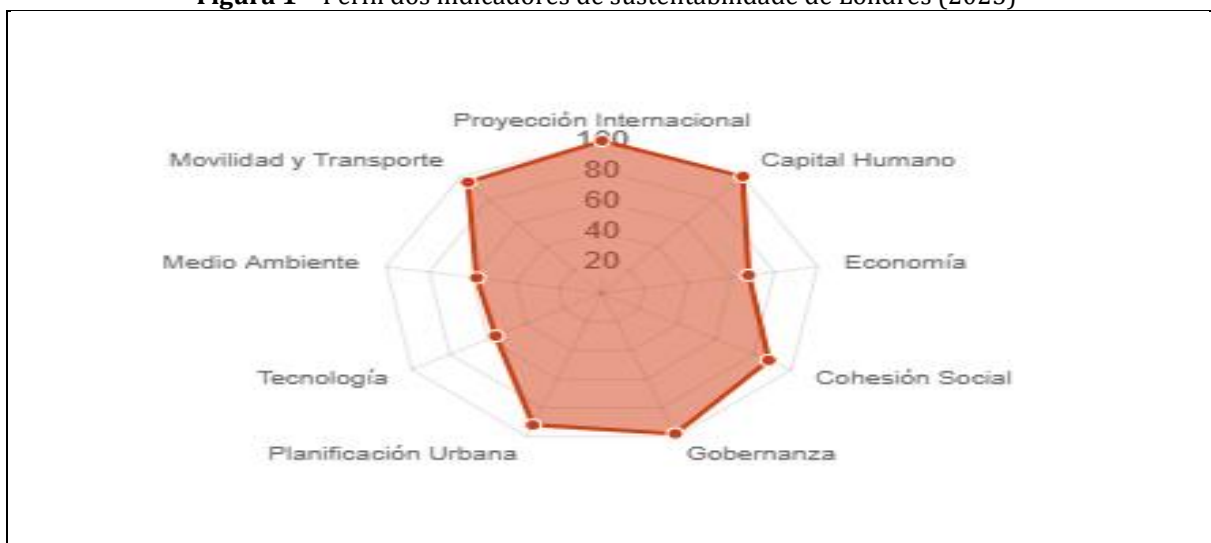
4.1 Análise Comparativa: Londres 2020 x 2025 – Indicadores do CIMI

Para compreender a evolução da sustentabilidade urbana em Londres ao longo dos últimos anos, é fundamental comparar os dados apresentados nos Índices Cities in Motion (CIMI) do IESE referentes aos anos de 2020 e 2025. A análise gráfica dos indicadores revela tanto os pontos de consolidação quanto os desafios persistentes enfrentados pela cidade em sua trajetória rumo a um modelo urbano mais inteligente, inclusivo e sustentável. A partir da representação em gráficos do tipo teia de aranha, é possível visualizar com clareza as áreas em que Londres manteve seu alto desempenho, bem como aquelas que apresentaram variações significativas, seja em avanço ou em retrocesso. Essa comparação contribui para uma avaliação mais precisa das estratégias adotadas e dos resultados obtidos nos últimos cinco anos.

A comparação entre os gráficos dos anos de 2020 e 2025, retirados do Índice *Cities in Motion* (CIMI) do IESE, revela mudanças significativas em alguns dos indicadores de sustentabilidade urbana da cidade de Londres. No geral, observa-se que a cidade manteve seu alto desempenho em áreas-chave, enquanto apresentou avanços em aspectos anteriormente considerados como pontos frágeis.

A seguir, apresenta-se a Figura 1, que ilustra o desempenho de Londres em 2025, segundo os mesmos critérios analisados em 2020:

Figura 1 – Perfil dos indicadores de sustentabilidade de Londres (2025)



Fonte: IESE (2025). Disponível em: <https://citiesinmotion.iese.edu/indicecim/?lang=en>><https://citiesinmotion.iese.edu/indicecim/?lang=en>. Acesso em: 11 abr. 2025.

A Figura 1 apresenta os indicadores de desempenho urbano de Londres em 2025, conforme o Índice Cities in Motion (CIMI), desenvolvido pelo IESE Business School. Esse gráfico permite visualizar de forma integrada os pontos fortes e os desafios da capital

inglesa no contexto da sustentabilidade urbana.

Dando continuidade à análise, a Tabela 1 abaixo apresenta uma comparação detalhada entre os dados estimados para os anos de 2020 e 2025. Essa abordagem permite observar a evolução (ou regressão) de cada dimensão analisada pelo índice CIMI, apontando tendências e destacando os principais avanços ou desafios enfrentados pela cidade.

Tabela 1 - Comparação dos Indicadores de Sustentabilidade Urbana de Londres (2020 x 2025)

Indicador	2020 (estimado)	2025 (estimado)	Análise Comparativa
Projeção Internacional	100	100	Estável – Londres mantém sua liderança como centro global de eventos, turismo e conectividade.
Capital Humano	100	95	Leve queda – Apesar da manutenção do alto nível, pode indicar desafios recentes em educação ou retenção de talentos.
Economia	90	85	Queda leve – Pode refletir impactos econômicos globais (ex: pós-Brexit ou inflação), mas ainda é forte.
Coesão Social	65	75	Melhora significativa – Avanços na inclusão social e na participação cidadã são notáveis.
Governança	75	80	Melhora moderada – Indica aprimoramentos em transparência, digitalização de serviços e gestão pública.
Planejamento Urbano	85	90	Melhoria – Reflete investimentos em infraestrutura habitacional, saneamento e acessibilidade.
Tecnologia	85	95	Avanço expressivo – Adoção de tecnologias emergentes e ampliação da conectividade urbana.
Meio Ambiente	55	70	Melhoria significativa – Avanços em sustentabilidade, redução de emissões e acesso a recursos naturais.
Mobilidade e Transporte	90	95	Melhoria – Expansão de transporte sustentável, integração modal e infraestrutura cicloviária.

Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados da IESE. *Cities in Motion Index 2020-2025*. Barcelona: IESE Business School. Disponível em: <https://citiesinmotion.iese.edu/indicecim/?lang=en>. Acesso em: 11 abr. 2025.

A análise comparativa entre os anos de 2020 e 2025 evidencia um progresso consistente nas políticas e ações voltadas à sustentabilidade urbana em Londres. Dimensões como tecnologia, coesão social e meio ambiente apresentaram avanços significativos, refletindo o compromisso da cidade com uma agenda inteligente e inclusiva. Ainda que alguns indicadores tenham apresentado leve declínio, como capital humano e economia, o panorama geral confirma a manutenção de Londres como uma das

cidades mais sustentáveis e preparadas do cenário global.

5. CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da sustentabilidade urbana em Londres, a partir dos indicadores do *IESE Cities in Motion Index*, revela um cenário de constante aprimoramento no que diz respeito à governança, mobilidade urbana, capital humano, planejamento urbano e uso estratégico da tecnologia. A cidade se destaca como referência internacional por adotar políticas integradas e orientadas a longo prazo, que priorizam tanto a eficiência quanto a inclusão social.

A capital britânica demonstra que é possível aliar desenvolvimento tecnológico e econômico a ações sustentáveis e socialmente justas. O fortalecimento das políticas de mobilidade ativa, o investimento em educação e inovação, e o uso inteligente de dados na gestão pública são exemplos de práticas que contribuem para seu desempenho positivo nos rankings internacionais.

Contudo, o desafio da sustentabilidade urbana é contínuo. O aprofundamento das desigualdades territoriais, a crise habitacional e as mudanças climáticas ainda demandam respostas cada vez mais resilientes, colaborativas e sustentáveis. Londres, ao adotar uma abordagem holística e participativa, caminha para consolidar-se como uma cidade inteligente e sustentável, capaz de inspirar outras metrópoles no enfrentamento dos complexos desafios urbanos do século XXI.

REFERÊNCIAS

DINIZ, F. S. **Cidade inteligente: políticas públicas e coesão social**. Belo Horizonte: UFMG, 2018.

GIFFINGER, R. et al. **Smart cities: Ranking of European medium-sized cities**. Vienna: Centre of Regional Science, Vienna UT, 2007. Disponível em: https://www.smart-cities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf. Acesso em: 11 abr. 2025.

IESE BUSINESS SCHOOL. **IESE Cities in Motion Index 2020**. Barcelona: IESE Business School, 2020. Disponível em: <https://citiesinmotion.iese.edu/indicecim/?lang=en>. Acesso em: 11 abr. 2025.

IESE BUSINESS SCHOOL. **IESE Cities in Motion Index 2025**. Barcelona: IESE Business School, 2025. Disponível em: <https://citiesinmotion.iese.edu/indicecim/?lang=en>. Acesso em: 11 abr. 2025.

LUCCHESE, A. P. **O Conselho do Condado de Londres e as políticas públicas urbanas: planejamento urbano e habitação social**. São Paulo: FAUUSP, 2012.

SMU – CIDADES EM MOVIMENTO. **Estratégia de mobilidade ativa em Londres. 2020**. Disponível em: <https://www.smartmobility.uk/london-cycling-strategy>. Acesso em: 11 abr. 2025.

SMU – STRATEGIC MOBILITY UNIT. **Plano de mobilidade urbana de Londres 2020**. Londres: Prefeitura de Londres, 2020. Disponível em: <https://www.london.gov.uk>. Acesso em: 11 abr. 2025.

VILLAÇA, F. **Espaço intra-urbano no Brasil**. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

CAPÍTULO XXI

USO DE APRENDIZADO DE MÁQUINA PARA PREVISÃO DE ÍNDICE DE DIFERENÇA DE VEGETAÇÃO NORMALIZADA (NDVI) NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CURU

**Luigi Pereira de Paiva
Ruan Santana Cavalcante**

DOI: 10.5281/zenodo.17307622

1. INTRODUÇÃO

Segundo Nascimento et al. (2024), uma série de problemas recorrentes nas áreas urbanas, são provenientes da ausência de políticas públicas de ordenamento territorial e de aplicação de medidas de controle. Com isso, a utilização de métodos e tecnologias para a busca pela solução de problemáticas recorrentes surge. SIG, ou, Sistema de informações geográficas foi uma das formas de solucionar estes desafios.

Além das zonas urbanas, problemas relativos a irrigação, pecuária, aquicultura, análises florestais, desafios enfrentados no semiárido no geral, proporciona a demanda constante de levantamento de dados para atividades econômicas e sociais torna o SIG algo

indispensável para a prosperidade de questões anteriormente citadas.

Neste sentido, as investigações científicas que utilizem as geotecnologias, tornam-se fundamentais para atualização de dados e consequente conhecimento de todas as atividades desenvolvidas nesse espaço e seu uso (Penariol, 2021). Plataformas como Google Earth Engine torna estas análises algo possível. Diante deste contexto, a formação de profissionais que atendam as demandas geradas pela região do semiárido brasileiro e suas necessidades de levantamento de dados.

Dentro de um contexto de mudanças climáticas e problemas relativos a ela, Tiburcio et al. (2023) afirma que o cenário de agravamento de eventos destaca o semiárido nordestino brasileiro. Diante disso, surge a necessidade de novas metodologias de análises de sensoriamento remoto, uma vez que sua abordagem proporciona maior dimensão de estudo, bem como o levantamento constante de dados.

O índice de diferença de vegetação normalizada (NDVI), precipitação, temperatura superficial terrestre (LST) e umidade do solo, são parâmetros diretamente ligados com o bem estar de um ambiente, que por sua vez, está diretamente relacionado com o bem estar da atividade agrícola local (Caetano et al., 2022; Lima et al., 2023).

Além da utilização de dados oriundos de softwares e plataformas de sensoriamento remoto, também existe no contexto atual, a utilização de aprendizado de máquina para o levantamento de projeções futuras com base em modelos matemáticos, proporcionando perspectivas para o enfrentamento de desafios e problemas.

Markert et al. (2020) afirma que a utilização de modelos de aprendizado de máquina têm se mostrado eficazes para diversas aplicações no âmbito do sensoriamento remoto, sob uso para levantamento de dados. Dito isso, o objetivo deste trabalho será produzir um algoritmo para a plataforma Google Earth Engine, que faça a previsão de até 1 mês do valor de NDVI e relacioná-los com valores reais na bacia do Curu, localizada no Ceará.

2. METODOLOGIA

O método se inicia com a escrita do algoritmo em Javascript, na plataforma Google Earth Engine, que será utilizado para determinar Índice de Diferença de Vegetação Normalizada (NDVI) médio da área de interesse, umidade do solo, Temperatura superficial terrestre (LST) e precipitação média. As coleções de imagens que serão

utilizadas será "Harmonized Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A (SR)", que contém imagens multiespectrais do satélite Sentinel 2, onde serão utilizadas as bandas do infravermelho próximo (NIR) e a banda vermelha, sendo respectivamente nomeadas por B8 e B4. Também será utilizado um filtro de nuvens que irá filtrar as imagens para utilizar apenas as imagens com até 10% de cobertura de nuvem, as camadas raster possuem 10 m de resolução e Datum utilizado será o EPSG:4326.

Para localização da bacia será utilizada a coleção "WWF HydroSHEDS Basins Level 12", que formula shapefiles de bacias hidrográficas em todo o mundo, sendo o nível 12, macrobacias, a qual a bacia do Curu se encontra.

A coleção "CHIRPS Pentad: Climate Hazards Center InfraRed Precipitation With Station Data (Version 2.0 Final)" será contém valores relativos a precipitação em todo o globo (Funk et al., 2015). Para temperatura superficial será utilizada a coleção "OpenLandMap Long-term Land Surface Temperature Daytime Monthly Median", (Hengl & Parente, 2022), a coleção " ERA5-Land Hourly - ECMWF Climate Reanalysis", (Muñoz,2019) e por fim, converter o valor em Kelvin (°K) para graus Celsius (°C).

Por questões estruturais, o código irá trabalhar o intervalo de 01/01/2024 até 01/03/2025 e fará a previsão de até 1 mês adiante. Todos os parâmetros estudados terão levantamento de séries históricas de iguais períodos. Os valores de umidade do solo e precipitação já se encontram na própria coleção, necessitando apenas da filtragem dos dados para que haja o levantamento dos dados apenas das datas e região de interesse. A equação utilizada para o levantamento do NDVI será:

$$NDVI = \frac{B8 - B3}{B8 + B3}$$

As classes de NDVI serão classificadas consoantes à Almeida et al. (2014), onde $NDVI < 0$ será classificado como água, $0.01 < NDVI < 0.2$ será solo exposto, $0.201 < NDVI < 0.4$ será vegetação arbustiva aberta, $0.401 < NDVI < 0.6$ vegetação arbustiva semi - aberta e $0.601 < NDVI < 0.8$ será vegetação arbustivo/arbórea.

O modelo de aprendizado de máquina utilizado será Random Forest, utilizando-se dos parâmetros precipitação, temperatura da superfície, NDVI e umidade do solo para projetar o NDVI de um mês após o período de estudo. A preparação dos dados para a aplicação do modelo se consiste primeiramente na criação de uma imagem composta com os parâmetros utilizados, sendo NDVI o parâmetro "alvo", enquanto os demais serão

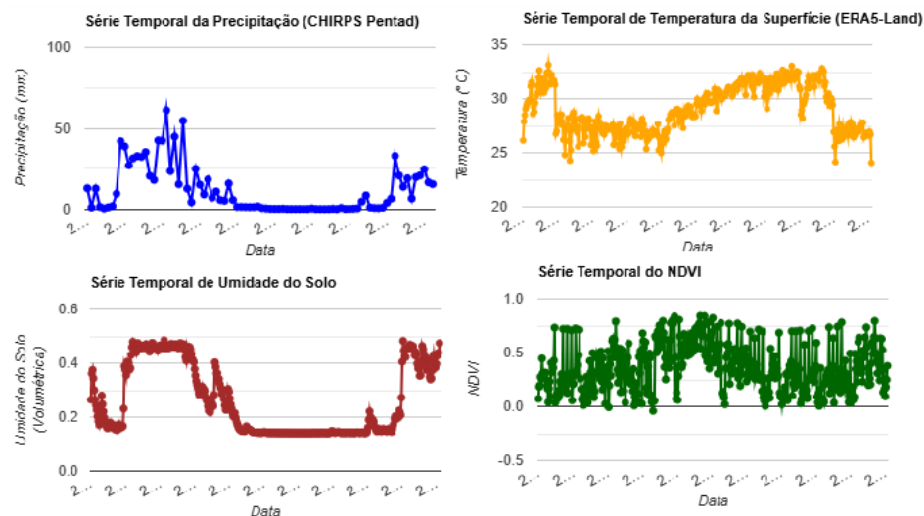
preditores, formando a Training Data. A amostragem será composta dentro da área de interesse e as amostras serão utilizadas para treinar o modelo de predição com base no classificador Random Forest para gerar previsões do mês seguinte e os valores serão com base nos valores individuais de cada pixel da área de interesse.

Devido a continuidade do alvo, o modelo de regressão utilizado irá prever valores decimais. O *forecastComposite* possuirá apenas preditores. Para validação entre os resultados, será feito tanto um gráfico de correlação entre o NDVI observado e o NDVI previsto, bem como um histograma residual entre ambos, para por fim fazer uma matriz de correlação entre os valores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o levantamento dos parâmetros dentro da série histórica, abaixo se encontra na figura 1, os gráficos das 4 séries históricas.

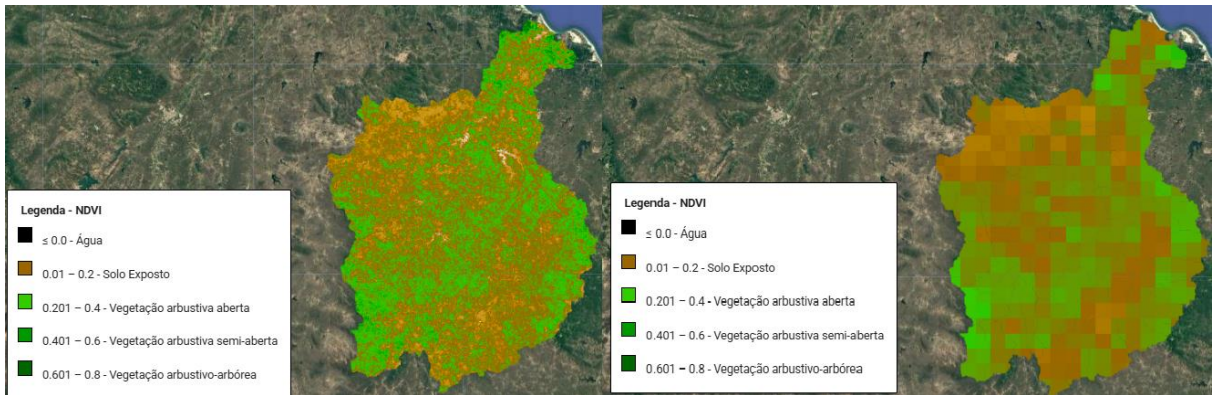
Figura 1 – Séries históricas dos parâmetros de interesse, no intervalo de 01/01/2024 até 01/03/2025.



Fonte: Autor, 2025.

Após o levantamento das séries históricas, Foi possível fazer o treinamento do modelo de aprendizado de máquina Random Forest, que formulou 50 árvores, formulando a camada "previsão", abaixo se encontra na figura 2 a camada "previsão" produzida pelo modelo Random Forest, para o mês de abril de 2025.

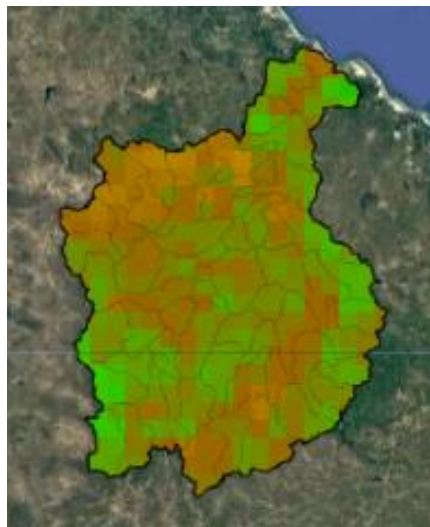
Figura 2 – Respectivamente: imagem NDVI previsão e NDVI real.



Fonte: Autor, 2025.

Devido a limitações computacionais, não houve possibilidade de aumento de resolução de imagem da camada. Após a remodelação da imagem por interpolação bilinear dos pixels, o que suaviza a imagem. Na figura 3, se encontra a camada resultante.

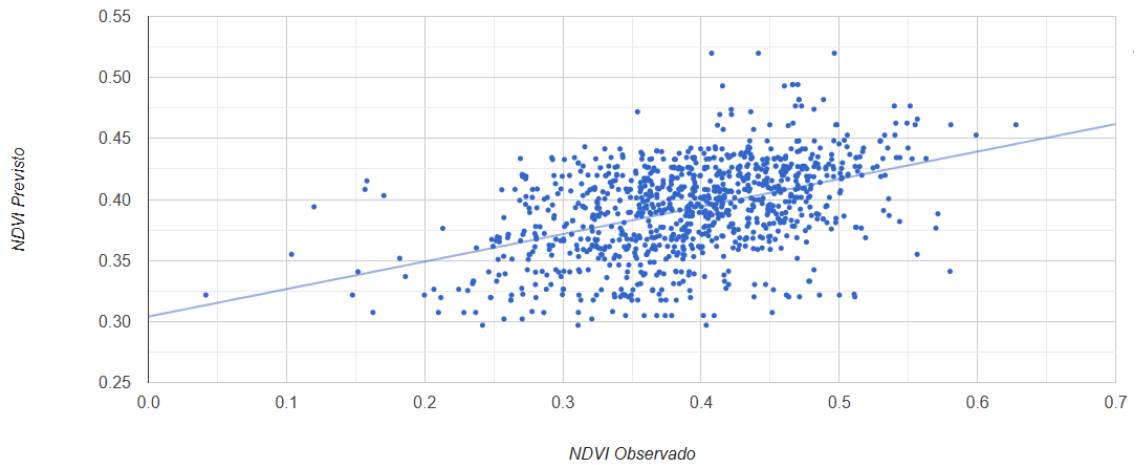
Figura 3 – Camada NDVI previsão suavizada



Fonte: Autor, 2025.

Após a produção da camada resultante, o processo de validação dos dados estava completo. Abaixo, na figura 4 se encontra o gráfico resultante da correlação entre o NDVI observado e o NDVI previsto.

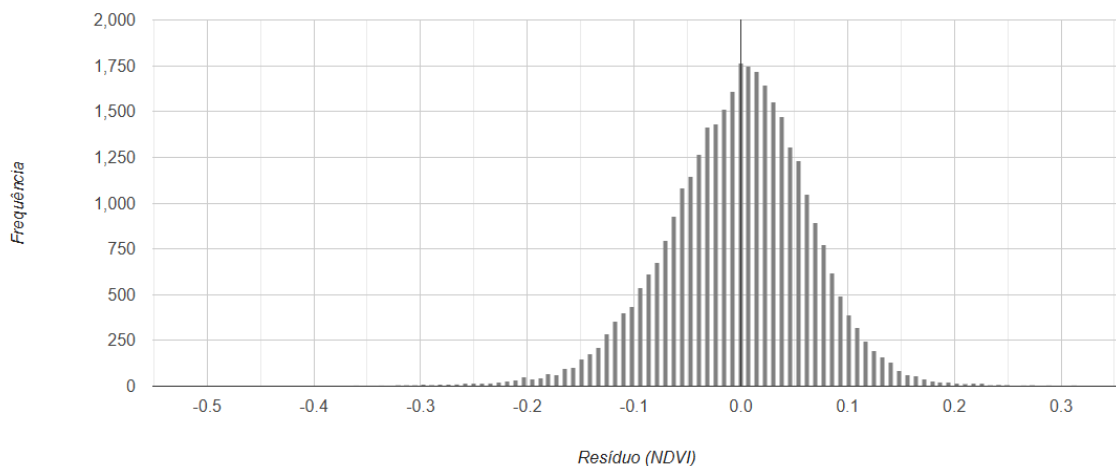
Figura 4 – Gráfico de correlação entre NDVI observado e NDVI previsto.



Fonte: Autor, 2025.

Como resultante da correlação, o R^2 encontrado foi de 0.199, que segundo Cohen (2013), no presente objeto de estudo, indica intensidade que 0.02 de R^2 indica baixa correlação, 0.13 indica média e $R^2 > 0.25$ significa grande, e, portanto, o presente resultado se classifica como moderada correlação. Além do gráfico de correlação, também foi levantado o gráfico residual, que se encontra na figura 5.

Figura 5 – Gráfico residual (NDVI observado – NDVI previsto)



Fonte: Autor, 2025.

Dentro de um modelo de regressão, os resíduos seguem uma distribuição normal, e, portanto, o histograma residual aproxima em forma de curva sino (distribuição normal) indicando a validade da suposição. De acordo com Draper (1998), resíduos possuem a tendência de se concentrar em torno de 0, que indica ausência de viés sistemático, e,

devido ao comportamento gráfico, o modelo está apto para suportar outros métodos de análises estatísticas.

Por fim, a resultante da matriz de correlação se encontra abaixo, vale destacar o uso da distância euclidiana para formulação da matriz, que utilizou-se dos parâmetros NDVI observado, NDVI previsto, precipitação, umidade do solo, temperatura superficial terrestre. Abaixo, se encontra no tabela 1, a matriz de correlação.

Tabela 1 – Matriz de correlação

	NDVI OBS	PREC	TEMP	UMI.SOL	NDVI PREV
NDVI OBS	1.00	0.13	-0.02	0.01	0.45
PREC	0.13	1.00	-0.15	0.07	0.30
TEMP	-0.02	-0.15	1.00	-0.07	-0.03
UMI. SOL	0.01	0.07	-0.07	1.00	-0.03
NDVI PREV	0.45	0.30	-0.03	-0.03	1.00

Fonte: Autor, 2025.

O "r" entre NDVI observado e o NDVI previsto foi de 0.45, e, de acordo com Cohen (2013), indica uma correlação moderada ou forte, destacando também, que o "r" entre NDVI previsto e precipitação foi de 0.30, indicando correlação moderada entre os parâmetros. Os demais parâmetros possuíram baixa correlação.

4. CONCLUSÃO

O trabalho encontrou obteve êxito na produção do algoritmo e na produção de camadas de previsão sob uso de aprendizado de máquina com Random Forest, atingiu correlação moderada ou significativa entre o NDVI observado e NDVI previsto, o que indica que o modelo atingiu êxito nos resultados, embora seja evidente a necessidade de aprimoramento do modelo para maior assertividade. Para avaliação em ecossistemas do semiárido no âmbito qualitativo, o modelo possui suficiência, entretanto, no quesito quantitativo, ou, para maior funcionalidade, além da melhoria do algoritmo, também é imprescindível ao avanço da tecnologia o uso de dados de campo para melhoria do sistema e também, maior funcionalidade ante os desafios presentes no semiárido brasileiro.

5. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. B.; MOREIRA, A. A.; FERNANDES, F. H. S.; DE ALMEIDA, R. P.; & NERY, C. V. M. (2014). O sensoriamento remoto aplicado ao estudo da desertificação na região semiárida do Norte de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geomática*, 2(2), 31-39.
- CAETANO, R., SILVA, T. B., DE CASTRO, D. R., & BENFICA, N. S. (2022). Uso de índices espectrais na caracterização da cobertura vegetal em região de Caatinga do Semiárido Baiano. *Revista de Geociências do Nordeste*, 8(2), 28-43.
- COHEN, J., 2013. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. routledge.
- DRAPER, N. R., & SMITH, H., 1998. **Applied regression analysis** (Vol. 326). John Wiley & Sons,.
- FUNK, C.; PETE P.; MARTIN L.; DIEGO P.; JAMES V.; SHRADDHANAND S.; GREGORY H.; JAMES R.; LAURA H.; ANDREW H. & JOEL M.. "The climate hazards infrared precipitation with stations-a new environmental record for monitoring extremes". Scientific Data 2, 150066. [doi:10.1038/sdata.2015.66](https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66) 2015.
- HENGL, T. & PARENTE, L. (2022). Long-term MODIS LST day-time and night-time temperatures, SD and differences at 1 km based on the 2000–2020 time series.
- LIMA, S. C. D.; MORAES NETO, J. M. D.; LIMA, J. P.; LIMA, F. C. D. & SABOYA, L. M. (2023). Resposta da vegetação semiárida à seca agrícola determinada por índices derivados do satélite MODIS. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 27, 632-642.
- MARKERT, K. N.; MARKERT, A. M.; MAYER, T.; NAUMAN, C.; HAAG, A.; POORTINGA, A.; BHANDARI, B.; THWAL, N.S.; KUNLAMAI, T. & CHISHTIE, F. Comparing sentinel-1 surface water mapping algorithms and radiometric terrain correction processing in southeast asia utilizing google earth engine. *Remote Sensing*. 12, 2469, 2020.
- MUÑOZ S. J., (2019). ERA5-Land monthly averaged data from 1981 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). (18/03/2025), [doi:10.24381/cds.68d2bb30](https://doi.org/10.24381/cds.68d2bb30).
- NASCIMENTO, A. J. C.; SIQUEIRA, G. W.; ALBUQUERQUE V., M. V.; TEIXEIRA, D. F.; PACHECO, J. C.; NASCIMENTO, C. R. & CORRÊA, A. P. R. P. S. (2024). APLICAÇÃO E USO DO SWMM E QGIS PARA A ELABORAÇÃO DE MAPAS DE ALAGAMENTO NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM DO PARÁ. *Revista Políticas Públicas & Cidades*, 13(2), e1286-e1286.
- PENARIOL, R. Z. (2021). Análise e Mapeamento do Uso e Ocupação do Solo do Município de Tanabi-SP através da Utilização do Software Livre QGIS, no ano de 2020.
- TIBURCIO, I. M.; SILVEIRA, N. T.; SANTOS, T. O.; QUEIROGA M., R. & GALVÍNCIO, J. D. (2023). Balanço Hídrico e Mudanças Climáticas no Semiárido Pernambucano: aplicabilidade do Sistema de Unidades de Respostas Hidrológicas para Pernambuco (SUPer). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16(3), 1657-1670.

CAPÍTULO XXII

ESTUDO COMPARATIVO DA ESTRUTURA TÊXTIL DE PANOS DE PRATO: RAPPORT E DENSIDADE DE FIOS EM TECIDOS DA CIDADE DE JARDIM DE PIRANHAS/RN

Marcos Daniel da Silva Oliveira

DOI: 10.5281/zenodo.17307634

1. INTRODUÇÃO

Dentro do cenário regional da indústria têxtil, os panoramas de prato se destacam não só pela sua vasta utilização no dia a dia doméstico, mas também por serem um setor de grande importância econômica para diversas comunidades produtoras (CORTELETTI, 2021). Esses produtos têxteis, apesar de frequentemente subavaliados em termos de complexidade técnica, exigem padrões de qualidade específicos para satisfazer as demandas do consumidor em termos de funcionalidade, beleza e durabilidade. Na área do Seridó do Rio Grande do Norte, especialmente no Jardim de Piranhas/RN, a fabricação de tecidos para a produção de panos de prato é uma prática tradicional que impulsiona a

economia local e fornece sustento para várias famílias (GERMANO, 2024).

A estrutura do tecido é crucial para determinar o seu desempenho funcional. Fatores como a maneira como os fios são entrelaçados, a regularidade do entremeio, a tensão empregada durante a tecelagem e a uniformidade da composição afetam diretamente atributos como resistência ao desgaste, habilidade de absorção de líquidos e estabilidade dimensional após lavagens repetidas (MARTINS, 2024). Um tecido mal estruturado pode ter problemas de uso, tais como baixa capacidade de retenção de umidade, rasgos precoces ou perda de forma, prejudicando sua praticidade. No entanto, quando planejado, a configuração estrutural favorece a durabilidade e eficácia do material, acrescentando valor ao produto acabado (FURTADO et al, 2023).

Dois elementos da estrutura têxtil, o relacionamento e a densidade dos fios, são particularmente relevantes para a qualidade do pano de prato (SCHMALWIESER et al, 2024). O *rapport* é uma repetição sistemática de um padrão ou desenho ao longo do tecido, contribuindo tanto para a harmonia visual quanto para a uniformização do processo de produção (REGE, 2023). A seleção e aplicação corretas deste componente são cruciais para garantir um resultado uniforme e visualmente atraente, além de simplificar o controle de qualidade nas fases de corte e costura. Por outro lado, a densidade dos fios - determinada pela quantidade de elementos de urdume (longitudinais) e trama (transversais) por unidade de medida - afeta características como a porosidade, o peso, a resistência e a capacidade de absorção do tecido. Uma densidade equilibrada assegura uma estrutura coesa e funcional, enquanto variações significativas podem comprometer o desempenho do artigo (JHANJI; GUPTA; KOTHARI, 2024).

A opção por Jardim de Piranhas/RN para a realização do estudo é justificada pela relevância do município no contexto têxtil regional. A cidade, historicamente conhecida pela sua demanda para a indústria têxtil, possui diversas unidades de produção especializadas em itens importados, com ênfase nos panos de prato (GERMANO, 2024). Além da tradição, existe uma grande variedade de métodos de produção e estruturas entre as indústrias locais, tornando o cenário particularmente propício para estudos comparativos e análises técnico-científicas (CORTELETTI, 2021). Entender as características específicas dos tecidos produzidos na região possibilita não só identificar a qualidade dos produtos disponíveis, mas também oferecer apoio para a melhoria técnica dos processos e para o aumento da competitividade local.

Neste contexto, o objetivo deste estudo é conduzir uma avaliação comparativa da

estrutura têxtil de panos de prato fabricados por diversas fábricas em Jardim de Piranhas/RN, concentrando-se na análise do relacionamento e da densidade dos fios de urdume e trama. Propõe-se como metas específicas: (i) consideração e detalhamento dos padrões de relacionamento presentes nas amostras recolhidas; (ii) medir a densidade dos fios em diversas línguas examinadas; (iii) comparar as informações obtidas entre os fabricantes; e (iv) debater as possíveis consequências estruturais nos aspectos funcionais dos produtos. Este trabalho visa aprimorar o entendimento técnico sobre tecidos planos regionais, enfatizando a relevância da estrutura como componente fundamental na fabricação de tecidos de alta qualidade.

2. ESTRUTURA TÊXTEL E PRODUÇÃO REGIONAL NO SERIDÓ POTIGUAR

A estrutura têxtil pode ser definida como o arranjo tridimensional formado pelo entrelaçamento de fios, cuja organização influencia diretamente o comportamento físico e mecânico do material (LI et al, 2022). Entre os diversos tipos de construção existentes, os tecidos planos se destacam por sua ampla utilização em produtos domésticos, industriais e de vestuário. Nessa categoria, os fios são dispostos em dois sistemas ortogonais: o urdume, que se estende no sentido longitudinal do tecido, e a trama, inserida transversalmente (REGE, 2023). O entrelaçamento desses dois sistemas define a construção básica do material e influencia uma série de propriedades, como resistência ao rasgo, estabilidade dimensional, flexibilidade e, especialmente, absorção — característica essencial no desempenho dos panos de prato (LI et al, 2022). A forma como esses fios se cruza, bem como o número de entrelaçamentos por unidade de área, contribui para estabelecer a integridade e o rendimento do tecido em condições reais de uso (JHANJI; GUPTA; KOTHARI, 2024).

Outro componente relevante no contexto da análise estrutural é o *rapport*, conceito que diz respeito à repetição sistemática de um padrão ou motivo ao longo da superfície têxtil. Esse elemento, embora comumente associado a aspectos visuais e ornamentais, possui implicações que ultrapassam o campo estético (REGE, 2023). O *rapport* interfere diretamente na regularidade do tecido, no aproveitamento do material durante o corte e costura, e na padronização da produção em escala industrial. Quando bem projetado, proporciona harmonia visual, facilita o controle de qualidade e contribui para a uniformidade dos lotes (OPOKU; BAIDEN; JOSEPHINE, 2024). Em contrapartida,

falhas na repetição ou desajustes no desenho podem comprometer o aspecto final do produto e gerar desperdícios durante a confecção. Assim, a análise do *rapport* permite não apenas avaliar o apelo visual do pano de prato, mas também diagnosticar a eficiência dos processos gráficos e de tecelagem envolvidos (JHANJI; GUPTA; KOTHARI, 2024).

A densidade de fios, por sua vez, é um parâmetro técnico de grande importância na caracterização de tecidos planos. Trata-se da quantidade de fios presentes em uma determinada unidade de medida (geralmente expressa em fios por centímetro ou por polegada) nos dois sentidos estruturais: longitudinal (urdume) e transversal (trama) (DEJENE; GUDAYU, 2024). Essa variável influencia diretamente a massa por área do tecido, sua opacidade, espessura, capacidade de absorção e resistência mecânica. Tecidos com alta densidade tendem a ser mais compactos, resistentes e com menor permeabilidade ao ar e à água, enquanto aqueles com baixa densidade geralmente apresentam maior maleabilidade, mas podem ter desempenho funcional reduzido (JHANJI; GUPTA; KOTHARI, 2024). No caso específico dos panos de prato, a densidade dos fios está intimamente relacionada à eficiência na absorção de líquidos, à resistência ao uso contínuo e à aparência após múltiplas lavagens (DEJENE; GUDAYU, 2024).

No que tange à realidade da indústria têxtil nordestina, particularmente no Seridó Potiguar, há um número crescente de iniciativas que visam valorizar e estudar a produção local, reconhecendo seu potencial técnico e cultural (LOPES; MORAIS, 2022). A região tem se consolidado como um polo de referência na fabricação de produtos têxteis de base artesanal e semi-industrial, com forte presença de pequenas e médias empresas que operam principalmente no segmento de utilitários domésticos (CORTELETTI, 2021). Jardim de Piranhas, em especial, é um dos municípios mais emblemáticos nesse cenário, destacando-se pela tradição na confecção de panos de prato e outros artigos similares. Embora ainda escassos, estudos acadêmicos sobre os aspectos técnicos da produção têxtil nessa localidade têm ganhado relevância, explorando tanto as condições produtivas quanto os desafios enfrentados pelas manufaturas locais (GERMANO, 2024).

3. METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa descritiva, quantitativa e comparativa (GIL; VERGARA, 2015; NUNES; NASCIMENTO, 2016), com o intuito de analisar aspectos estruturais de panos de prato produzidos na cidade de Jardim de

Piranhas/RN. A investigação centra-se na identificação do padrão de *rapport* e na quantificação da densidade de fios (urdume e trama), visando compreender a uniformidade e a qualidade dos tecidos utilitários produzidos localmente.

A etapa de coleta consistiu na obtenção de uma amostra de pano de prato de cada uma das 10 empresas têxteis locais participantes do estudo, totalizando dez amostras distintas. A seleção das empresas levou em consideração a sua representatividade no setor têxtil da cidade, a diversidade de técnicas de tecelagem utilizadas e a disposição em colaborar com a pesquisa. As amostras foram obtidas diretamente junto às unidades de produção e representam o padrão comercializado por cada fabricante.

Todas as análises foram conduzidas com o auxílio de uma lupa conta-fios com escala milimétrica, ferramenta óptica amplificadora essencial para a observação e quantificação de estruturas têxteis.

A avaliação do *rapport* foi realizada por meio da observação direta da repetição dos padrões visuais no tecido, medindo-se, com a lupa, a distância entre os pontos iniciais e finais de um mesmo motivo gráfico, tanto no sentido do urdume quanto da trama. Essa abordagem permitiu identificar o tamanho do *rapport* e sua regularidade estrutural, sem o uso de software ou imagens digitais, garantindo fidelidade à observação física do tecido.

Para a mensuração da densidade de fios, a mesma lupa conta-fios foi utilizada, possibilitando a contagem precisa do número de fios por centímetro nos dois sentidos estruturais do tecido, analisando uma área de 1cm^2 . A escolha da lupa como instrumento principal baseou-se em sua eficácia para análises de campo e em sua ampla utilização em estudos têxteis de caráter técnico e aplicado.

Os dados foram tabulados e submetidos a análise estatística descritiva, com cálculos de média aritmética e desvio padrão referentes às densidades de urdume e trama para cada uma das amostras. As medidas de *rapport* também foram sistematizadas para permitir a comparação entre as empresas, identificando variações no padrão estrutural e possíveis relações entre os dois parâmetros estudados. A metodologia adotada proporcionou uma avaliação prática, acessível e tecnicamente rigorosa dos tecidos analisados.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. ESTRUTURA E RAPPORT (DIMENSÕES E TIPO)

Os resultados obtidos a partir da análise das estruturas das amostras têxteis permitiram identificar variações nas dimensões e nos tipos de repetição estrutural entre os tecidos analisados. Essas diferenças refletem escolhas de organização dos fios que influenciam diretamente a aparência do tecido e, em certa medida, seu desempenho funcional. Abaixo, as amostras estão organizadas em ordem de A a J (Figura 1).

Figura 1 – Estruturas dos panos de prato



Fonte: Galeria do autor

Amostra A – A primeira amostra apresenta uma estrutura notadamente compacta, com fios de urdume e trama entrelaçados de maneira bastante fechada. A estrutura é pequena e visualmente discreta, com dimensões estimadas em torno de 2 a 3 mm. A repetição estrutural, embora presente, não se manifesta por meio de desenhos marcantes, o que confere ao tecido uma aparência homogênea e funcional. A ausência de um padrão visual mais explícito pode indicar uma opção técnica voltada à otimização da resistência mecânica e ao desempenho utilitário, em detrimento de aspectos estéticos. Esse tipo de organização estrutural é comum em tecidos cujo foco principal é a absorção e a durabilidade, características essenciais para o uso doméstico intensivo.

Amostra B – Nesta amostra, observa-se uma estrutura mais bem definida em comparação à amostra anterior. A repetição se dá por meio de pequenas interseções em

forma de "X", distribuídas com regularidade ao longo da superfície. O padrão visual é perceptível e contribui tanto para a identidade estética do tecido quanto para a sua regularidade estrutural. As dimensões da estrutura giram em torno de 3 a 4 mm, permitindo uma repetição curta que equilibra eficiência funcional e visual. A presença desse tipo de estrutura sugere uma intenção de agregar valor estético ao tecido, sem comprometer sua aplicabilidade.

Amostra C – A estrutura da terceira amostra é marcada pela linearidade no entrelaçamento dos fios, com urdume e trama dispostos de forma ortogonal e com espaçamento regular. A estrutura identificada é pequena, estimada em cerca de 3 mm, com padrão sutil e pouco contrastante. Não há indícios de desenhos marcantes ou variações de textura perceptíveis a olho nu, o que caracteriza o tecido como tecnicamente estável e visualmente neutro. Este tipo de tecido é particularmente adequado para aplicações em que a sobriedade visual e a eficiência funcional são prioridades, como em panos de prato destinados ao uso intensivo.

Amostra D – Esta amostra se destaca por apresentar a estrutura mais espaçada entre todas as analisadas, com dimensões de aproximadamente 4 a 5 mm. O entrelaçamento mais solto dos fios confere ao tecido uma estrutura visualmente aberta e arejada, permitindo maior percepção da trama e do urdume. Essa configuração pode favorecer a secagem rápida e a leveza do tecido, porém, pode comprometer aspectos como resistência à abrasão e durabilidade. A repetição do padrão é mais fácil de identificar, o que sugere uma preocupação com a regularidade visual. Trata-se de um tecido funcionalmente adaptável, possivelmente voltado para usos mais leves no ambiente doméstico.

Amostra E – O tecido da amostra E exhibe uma estrutura compacta, com repetição bem definida de elementos gráficos semelhantes a pequenas diagonais entrelaçadas, criando um efeito visual que remete à cestaria. As dimensões da estrutura são estimadas em cerca de 3 a 4 mm. A uniformidade na repetição contribui para uma textura harmônica, ao mesmo tempo que reforça a resistência do tecido devido à interligação balanceada dos fios. A escolha dessa estrutura parece buscar um equilíbrio entre estética artesanal e performance técnica, características valorizadas em produtos regionais de apelo cultural.

Amostra F – Nesta amostra, o padrão estrutural remete a uma composição levemente diagonal, semelhante à amostra anterior, porém com maior densidade de fios e menor espaçamento entre eles. A estrutura é pequena, variando entre 2,5 e 3 mm, e se

repete com precisão. O aspecto visual é mais robusto e o tecido aparenta maior compacidade, o que sugere uma performance superior em termos de absorção e resistência ao uso contínuo. Essa característica pode indicar um processo de tecelagem mais rígido ou materiais com maior tenacidade, reforçando o valor funcional do produto.

Amostra G – A amostra G apresenta uma estrutura extremamente compacta, com fios muito próximos entre si e uma repetição difícil de distinguir visualmente. As dimensões são bastante reduzidas, girando em torno de 2 mm, o que torna o padrão quase imperceptível ao olho nu. Essa organização sugere um tecido de alta densidade, ideal para absorção eficiente de líquidos. A falta de um padrão gráfico explícito pode indicar um foco produtivo voltado exclusivamente para o desempenho funcional. A consistência estrutural evidencia um processo de produção padronizado e tecnicamente controlado.

Amostra H – A amostra H revela uma textura semelhante à G, porém com leve irregularidade no alinhamento dos fios. A estrutura é pequena, variando entre 2 e 3 mm, mas a repetição ocorre de forma menos evidente, conferindo ao tecido um aspecto mais “orgânico” ou artesanal. A leve variação entre os pontos do padrão pode ser resultado de pequenas inconsistências no processo de tecelagem ou de características próprias dos fios utilizados. Essa irregularidade, no entanto, não compromete a funcionalidade do tecido, e pode até representar um valor estético associado ao produto local e manual.

Amostra I – O tecido da amostra I apresenta uma estrutura sutilmente angulada, com repetições em formato levemente inclinado, criando uma aparência dinâmica na superfície do tecido. O padrão se manifesta de maneira delicada, com dimensões em torno de 3 mm. Esse efeito visual pode ser intencionalmente explorado para enriquecer a aparência do pano de prato, sem impactar sua função principal. O entrelaçamento é equilibrado, favorecendo tanto a durabilidade quanto a estética. Tecidos com esse tipo de estrutura geralmente demonstram bom desempenho em uso doméstico e boa aceitação comercial.

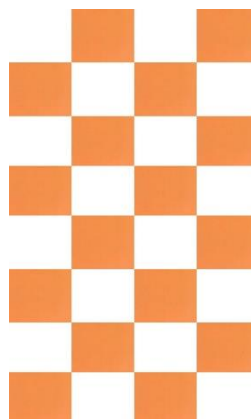
Amostra J – Por fim, a amostra J se destaca por uma estrutura extremamente regular, com fios dispostos de maneira simétrica e bem distribuída. A estrutura tem dimensão próxima de 2 a 3 mm e se repete de forma contínua e homogênea. O tecido apresenta uma aparência visualmente agradável e tecnicamente confiável, com equilíbrio entre rigidez e flexibilidade. Essa amostra representa, possivelmente, um padrão técnico idealizado e otimizado, servindo como referência de qualidade dentro do conjunto de tecidos analisados.

O rapport é um conceito fundamental na indústria têxtil e se refere ao menor módulo de repetição de um padrão de entrelaçamento ou estampa em um tecido. No caso de tecidos planos e jacquard, o rapport está relacionado à estrutura da tecelagem, definindo o menor número de fios de urdume e trama necessários para formar um desenho contínuo. Já na estamparia, o rapport corresponde à repetição de uma imagem no comprimento e na largura do tecido, garantindo que o padrão se mantenha visualmente harmonioso e sem interrupções perceptíveis. A correta definição do rapport é essencial para evitar distorções e falhas na continuidade do desenho, sendo amplamente utilizado tanto no desenvolvimento de tecidos técnicos quanto na produção de estampas para moda e decoração.

Para garantir precisão na análise estrutural dos panos de prato, foi utilizada uma lupa para examinar as dimensões em uma área de 1 cm². Esse procedimento permitiu uma observação detalhada da estrutura têxtil de cada amostra, coletada de dez empresas diferentes, possibilitando a comparação entre os tecidos em relação à uniformidade do entrelaçamento, densidade e acabamento.

As empresas A, C e J adotam, em seus tecidos analisados, um padrão de entrelaçamento do tipo tela (também conhecido como tafetá ou plain weave), conforme evidencia a imagem do rapport ortogonal apresentado. O padrão quadriculado regular, composto por blocos intercalados em uma estrutura simétrica, é característico da amarração mais simples e fundamental da tecelagem: cada fio de trama passa alternadamente por cima e por baixo de cada fio de urdume. O resultado dessa interseção básica é a formação de uma superfície têxtil estável, com visual limpo e de excelente resistência mecânica (Figura 2).

Figura 2 – Rapport das empresas A, C e J



Fonte: Galeria do autor

Do ponto de vista técnico, o rapport da tela tem uma repetição mínima de 2 fios de urdume por 2 fios de trama, sendo este o menor rapport possível para um tecido plano. No entanto, o que se observa no padrão representado é uma ampliação visual dessa unidade básica, com o objetivo de criar um efeito visual quadriculado mais marcado. Isso geralmente é feito por meio do uso de cores contrastantes, fios tintos ou urdumes e tramas com cores alternadas — o que produz um efeito gráfico semelhante ao de um xadrez simples, mas cuja estrutura base é puramente de tela.

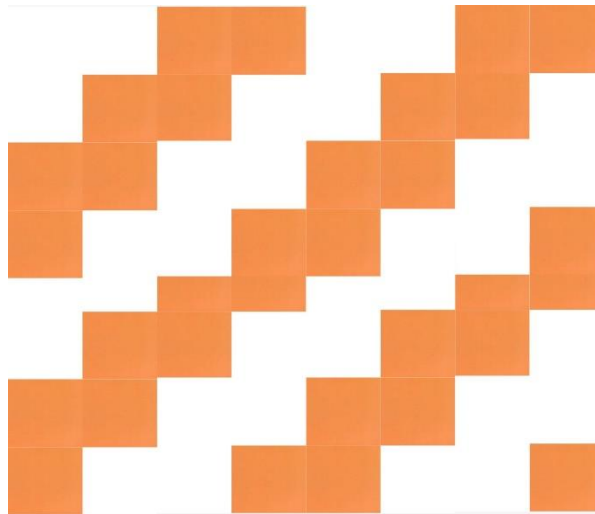
Essa escolha estrutural por parte das empresas analisadas revela uma estratégia voltada para otimização de custo, durabilidade e eficiência produtiva, ao mesmo tempo em que garante um produto esteticamente aceito pelo mercado consumidor. A tela é reconhecida por: Alta resistência à tração e abrasão, devido ao elevado número de pontos de ligação entre urdume e trama; Facilidade de tecelagem, sendo compatível com todos os tipos de teares planos; Boa estabilidade dimensional, o que reduz deformações durante o uso e a lavagem; Versatilidade estética, pois permite a aplicação de padronagens visuais simples com grande apelo comercial.

No caso dos panos de prato, especificamente, o rapport de tela é especialmente eficiente. A estrutura resulta em uma superfície com porosidade controlada, o que facilita a absorção de líquidos sem comprometer a resistência do tecido. Ao mesmo tempo, o entrelaçamento simples proporciona boa ventilação e rápida secagem, características essenciais para utensílios de cozinha.

Do ponto de vista do design, o uso do rapport de tela associado a padronagens regulares (como o quadriculado da imagem) cria uma identidade visual repetitiva e coerente, reforçando uma estética clássica, higiênica e confiável. A simplicidade não é, aqui, sinônimo de limitação, mas sim de eficiência visual e técnica — uma solução sólida, tanto para o processo produtivo quanto para a experiência do usuário final.

O padrão observado nos tecidos produzidos pelas empresas B, D, E, F, G, H e I apresenta um rapport em diagonal com construção visual complexa, que foge da linearidade ortogonal típica de estruturas como a tela simples. A disposição dos elementos — neste caso, blocos coloridos em sequência diagonal — remete fortemente a padrões têxteis baseados em amarrações como a sarja (ou twill), um dos principais tipos de entrelaçamento utilizados na tecelagem tradicional e industrial (Figura 3).

Figura 3 – Rapport das empresas B, D, E, F, G, H e I



Fonte: Galeria do autor

Na estrutura da sarja, os pontos de ligação entre urdume e trama são deslocados progressivamente em cada passada, criando linhas diagonais visíveis na superfície do tecido. Este efeito é responsável por características visuais e táteis específicas, como: Aparência diagonal marcante; Toque mais macio em relação à tela; Drapeado mais fluido; Maior densidade por unidade de área.

Ao transpor isso para o padrão visual representado na imagem — mesmo que em escala ampliada e com uso de blocos quadrados para ilustração — nota-se a presença de módulos repetitivos em padrão de escadinha, sugerindo um rapport com múltiplas unidades de base (maior que o 2x2 da tela). Este tipo de organização visual normalmente está associado à intenção de criar ritmo e movimento gráfico, sendo uma estratégia comum em tecidos que buscam equilibrar sofisticação visual com um certo grau de complexidade estrutural.

Do ponto de vista da engenharia têxtil, esse tipo de rapport em diagonal pode corresponder a sarjas simples (como 2/1 ou 3/1), mas também a variantes mais complexas, como: Sarja quebrada (broken twill), que altera a direção da diagonal ao longo do tecido; Sarja escalonada, com saltos de pontos maiores e efeitos de “largas escadarias” visuais; Ou ainda tecidos mistos com tramas duplas que criam efeitos visuais diagonais sobre estrutura de base mais simples.

Em contextos como o de panos de prato — foco da análise —, a adoção de rapport diagonal pelas empresas desse grupo pode ser compreendida como uma escolha técnica e estética estratégica. A estrutura diagonal geralmente resulta em tecidos mais densos e

duráveis, com boa resistência ao desgaste; A distribuição de tensões entre os fios se dá de forma mais uniforme do que na tela, favorecendo a integridade do tecido após múltiplas lavagens; A orientação diagonal favorece o escoamento de líquidos e o aumento da área de absorção superficial, o que é um diferencial em produtos de limpeza ou uso culinário.

O padrão em diagonal agrega movimento e dinamismo visual, tornando o tecido mais sofisticado visualmente; Há um afastamento do visual “comum” do quadriculado, posicionando o produto em um nível estético diferenciado, o que pode influenciar positivamente a percepção de valor por parte do consumidor; Em alguns casos, esse tipo de padronagem é vinculado a produtos com apelo mais artesanal ou estilizado, embora seja produzido industrialmente.

As empresas A, C e J apresentam em seus tecidos um rapport ortogonal, também conhecido como rapport em tela, caracterizado por uma repetição simétrica de elementos dispostos em linhas e colunas que formam uma estrutura quadriculada. Nesse tipo de organização, o motivo visual – neste caso, os blocos laranja – se repete de maneira regular tanto no sentido da urdume quanto da trama, criando uma sensação de equilíbrio, ordem e previsibilidade no padrão. O resultado é uma aparência visual estática, onde os olhos do observador percorrem o tecido de forma ritmada e controlada, sem desvios ou variações no percurso visual. O alinhamento exato dos blocos em eixos horizontais e verticais reforça essa estabilidade gráfica, o que pode estar relacionado a uma busca por padronagem mais tradicional, funcional e facilmente reconhecível, características comuns em tecidos voltados para usos domésticos como os panos de prato.

Em contrapartida, os tecidos produzidos pelas empresas B, D, E, F, G, H e I apresentam um rapport complexo com desenvolvimento em diagonal. Neste caso, os blocos laranja são organizados em uma progressão oblíqua que quebra a rigidez ortogonal, deslocando a repetição do padrão em ângulos ascendentes ou descendentes. Essa construção gera um dinamismo visual muito mais expressivo, onde o olhar é conduzido por uma trajetória diagonal que percorre o tecido em ziguezague. A sensação de movimento e fluidez proporcionada por esse tipo de rapport torna a superfície têxtil mais dinâmica, sugerindo uma intenção estética voltada para diferenciação e impacto visual. A escolha por um rapport diagonal pode indicar uma preocupação das empresas com aspectos mais criativos ou decorativos do produto, fugindo do convencional e atribuindo à peça uma linguagem gráfica mais sofisticada.

Comparando os dois grupos, percebe-se que os tecidos das empresas A, C e J se

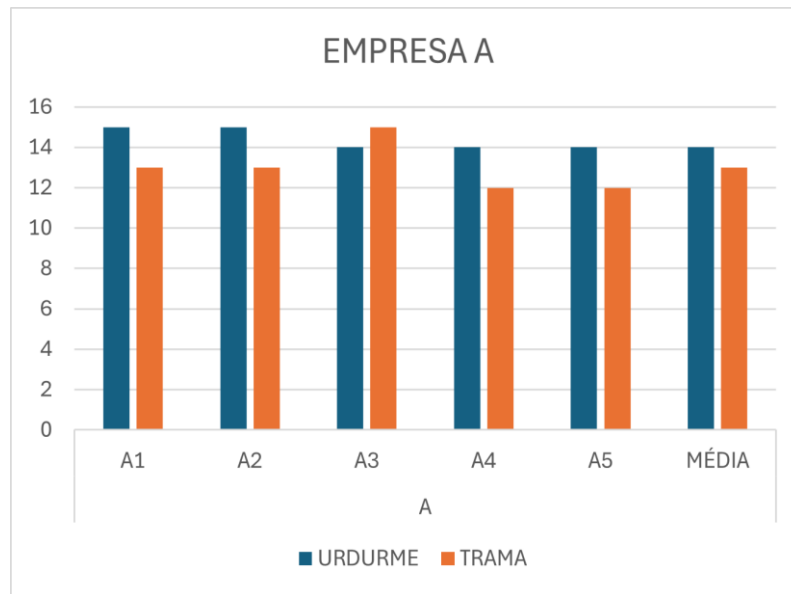
ancoram em uma construção de padrão mais tradicional e estável, enquanto os tecidos das empresas B, D, E, F, G, H e I exploram uma abordagem mais ousada, dinâmica e visualmente complexa. Essa distinção sugere não apenas diferentes estratégias de design, mas também distintas intenções comunicativas e mercadológicas por parte dos fabricantes. A uniformidade e previsibilidade do rapport em tela podem atender a um público que valoriza a funcionalidade e a estética clássica, ao passo que a construção diagonal, com sua estrutura ritmada e envolvente, pode ser mais atrativa em contextos nos quais o apelo visual e o caráter inovador do padrão são valorizados. Essa diferença no uso do rapport também impacta diretamente a leitura do tecido e seu comportamento na composição visual de ambientes, já que padrões ortogonais tendem a se integrar discretamente, enquanto os diagonais destacam-se com mais facilidade, funcionando quase como elementos decorativos por si só.

6.2. DENSIDADE DE URDUME E TRAMA

A densidade dos tecidos, tanto no sentido do urdume quanto da trama, foi analisada por meio de uma lupa de mão do tipo conta-fios, instrumento comumente utilizado para inspeções têxteis devido à sua precisão na contagem de fios por centímetro. Esse método possibilitou a observação direta da estrutura do tecido, permitindo identificar o número de fios presentes em cada direção. Foram analisadas, ao todo, amostras de 50 panos de prato, sendo cinco unidades provenientes de cada uma das 10 empresas participantes do estudo. A escolha de múltiplas amostras por fabricante teve como objetivo assegurar uma maior representatividade dos dados e permitir a identificação de possíveis variações internas na produção.

O gráfico referente à Empresa A demonstra a variação da densidade de fios em urdume e trama em cinco amostras de panos de prato, além da média geral obtida para cada direção do tecido (Figura 4).

Figura 4 – Gráfico empresa A

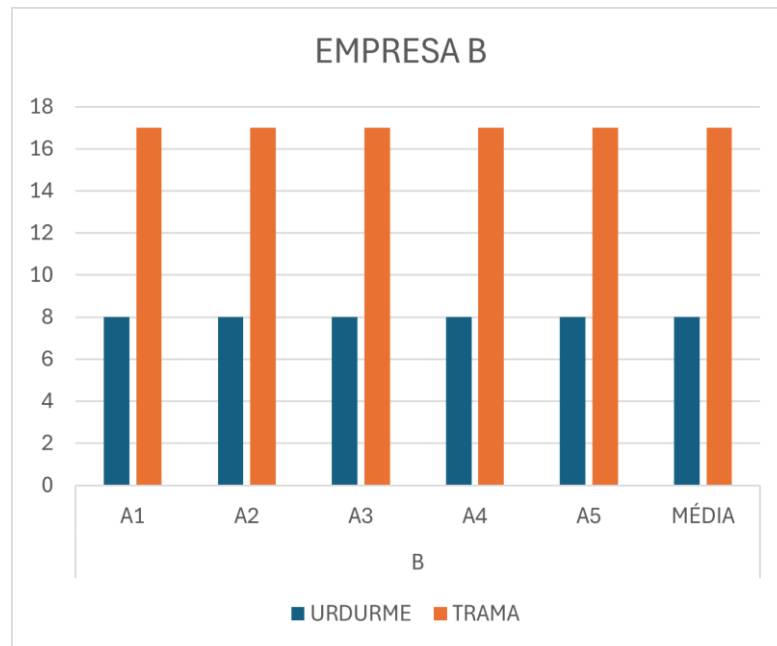


Fonte: Galeria do autor

No eixo do urdume, os valores se mantêm bastante estáveis, variando entre 14 e 15 fios por centímetro, o que sugere um bom controle no processo de preparação da urdissagem e na regulagem dos teares, refletindo consistência e uniformidade estrutural ao longo das amostras. Essa estabilidade é um indicativo positivo de padronização no sentido longitudinal do tecido. Por outro lado, a densidade no sentido da trama apresenta oscilações mais perceptíveis, com valores entre 12 e 15 fios por centímetro. A amostra A3 se destaca por possuir a maior densidade de trama, chegando a superar a densidade de urdume nessa unidade específica, o que pode ser consequência de uma variação na tensão da lançadeira, na batida do pente ou até na alimentação do fio de trama. Já as amostras A4 e A5 registraram os menores valores nesse sentido, com 12 fios por centímetro, o que pode impactar diretamente em propriedades como porosidade e resistência transversal do tecido. Mesmo com essas flutuações, a média final de densidade da trama permanece equilibrada em torno de 13 fios por centímetro, enquanto a média da densidade do urdume se mantém em 14 fios por centímetro, reforçando a ideia de que o urdume é mais estável na produção desses tecidos. A análise desses dados permite identificar a eficiência do processo produtivo da empresa, bem como possíveis pontos de ajuste que podem contribuir para uma maior uniformidade entre os panos de prato produzidos.

O gráfico da Empresa B revela uma diferença bastante significativa entre os valores de densidade de fios no sentido do urdume e da trama nas cinco amostras analisadas, além de suas respectivas médias (Figura 5).

Figura 5 – Gráfico empresa B



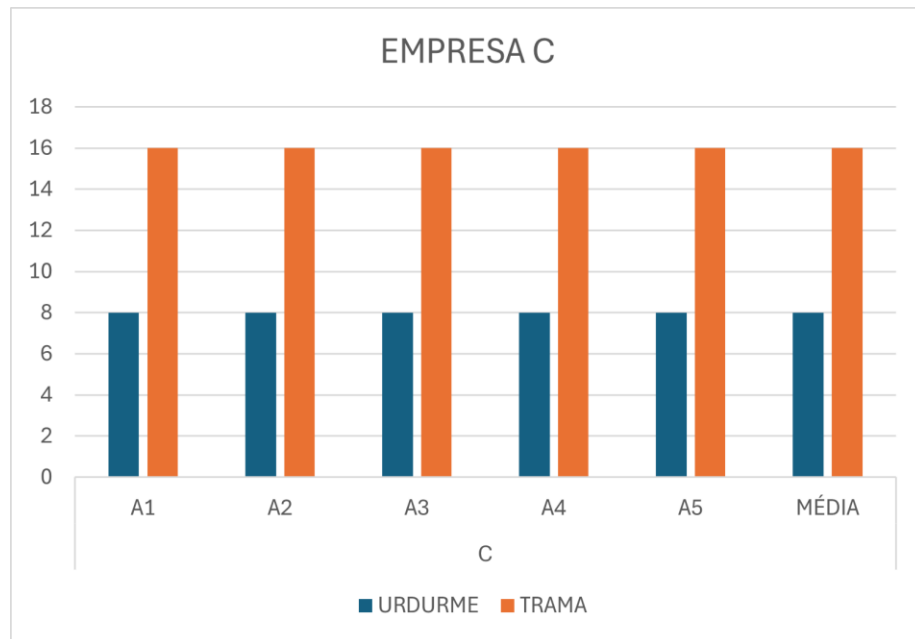
Fonte: Galeria do autor

Todas as amostras (A1 a A5) apresentam a mesma densidade de urdume, com valor constante de 8 fios por centímetro, o que indica uma uniformidade considerável nesse sentido da estrutura do tecido. Essa constância pode ser interpretada como resultado de um processo produtivo bem estabilizado quanto à preparação dos fios de urdume e à regulação dos equipamentos responsáveis por sua inserção no tear. No entanto, apesar da regularidade, o valor de 8 fios por centímetro é relativamente baixo se comparado a padrões de tecidos mais compactos, o que pode indicar um tecido mais leve, com menor resistência longitudinal e, possivelmente, maior porosidade.

Em contrapartida, a densidade de fios no sentido da trama se apresenta em um patamar significativamente mais elevado, com todas as amostras registrando o mesmo valor de 17 fios por centímetro. Esse resultado mostra um claro desequilíbrio entre as direções da estrutura têxtil, já que a densidade de trama é mais que o dobro da densidade de urdume. Embora esse padrão seja mantido de forma constante entre todas as amostras, indicando um processo de inserção da trama bem controlado, a desproporção entre os dois sentidos pode afetar a performance do tecido final em diversos aspectos. Essa configuração, com trama muito mais densa que o urdume, pode resultar em um pano de prato com maior resistência transversal, mas com menor estabilidade dimensional no sentido do comprimento. Pode ainda influenciar o comportamento ao toque e à absorção, características importantes para esse tipo de produto.

O gráfico da Empresa C apresenta uma distribuição extremamente uniforme entre as amostras analisadas, tanto na densidade de urdume quanto na de trama (Figura 6).

Figura 6 – Gráfico empresa C



Fonte: Galeria do autor

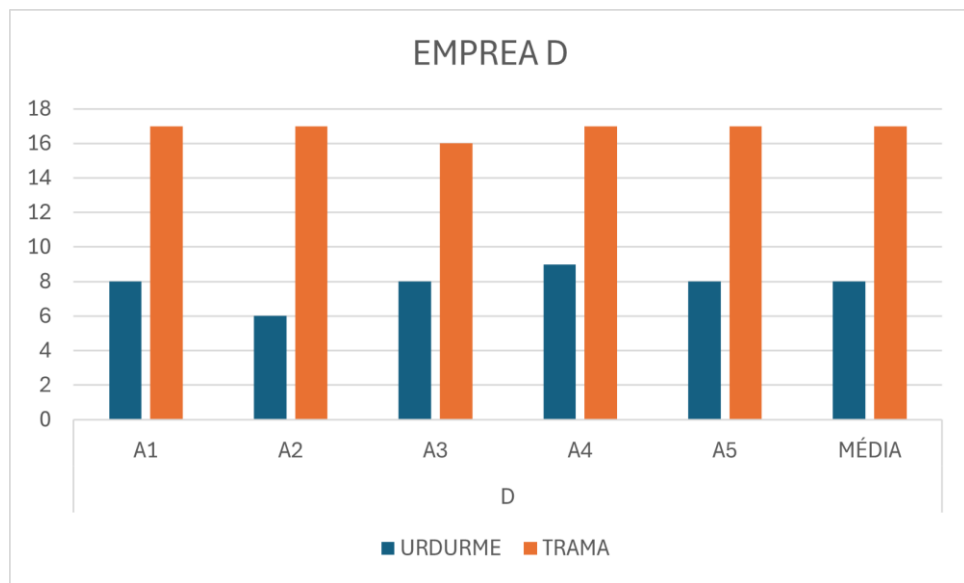
Em todas as amostras (A1 a A5), observa-se que a densidade de urdume manteve-se constante em 8 fios por centímetro, enquanto a densidade de trama apresentou-se de forma igualmente uniforme, com valor fixo de 16 fios por centímetro. Essa constância absoluta nos dados evidencia um processo produtivo altamente controlado e reproduzível, o que sugere o uso de parâmetros técnicos bem estabelecidos na preparação da teia e na inserção da trama durante a tecelagem. A manutenção desses valores em todas as amostras analisadas reflete um grau de estabilidade importante para a confiabilidade do produto, especialmente em processos industriais de larga escala.

Contudo, mesmo diante dessa padronização, nota-se um desbalanceamento estrutural entre as duas direções do tecido, visto que a densidade de trama é exatamente o dobro da densidade do urdume. Essa relação assimétrica pode impactar diretamente nas propriedades mecânicas e funcionais do pano de prato, como sua resistência à tração nos diferentes sentidos, estabilidade dimensional, durabilidade e capacidade de absorção. Tecidos com maior densidade de fios na trama tendem a apresentar maior resistência transversal, porém podem ser mais suscetíveis a deformações longitudinais, além de apresentarem um comportamento distinto ao toque, que pode ser mais áspero ou rígido,

dependendo da matéria-prima utilizada. Do ponto de vista técnico, a escolha dessa proporção pode estar associada à busca por determinadas características funcionais ou estéticas no produto, mas também pode indicar limitações do maquinário ou estratégias de otimização da produção.

A representação gráfica da Empresa D evidencia uma variação mais perceptível nos valores de densidade de fios no sentido do urdume, em contraste com a uniformidade observada na densidade da trama (Figura 7).

Figura 7 – Gráfico empresa D



Fonte: Galeria do autor

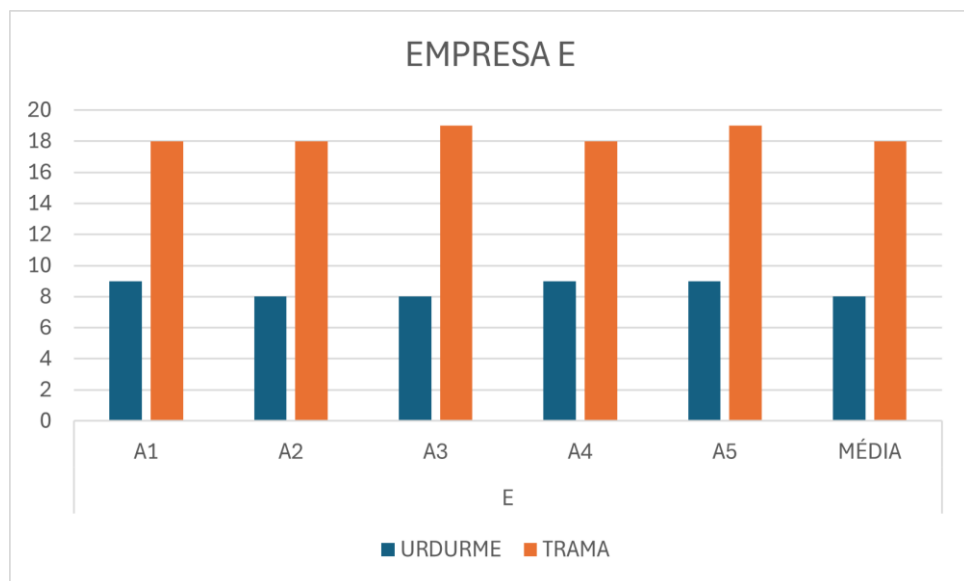
Observa-se que a densidade de urdume oscila entre 6 e 9 fios por centímetro, ao passo que a trama permanece constante em 17 fios por centímetro em todas as amostras. Essa estabilidade na direção da trama demonstra um bom controle de processo neste sentido específico da tecelagem, sugerindo uma padronização na alimentação do fio de trama e na batida do tear. No entanto, a flutuação dos valores de urdume pode indicar inconsistências durante a preparação da teia ou variações no tensionamento dos fios, o que pode comprometer a uniformidade estrutural e estética do produto.

A menor densidade de urdume observada na amostra A2 (com 6 fios/cm) pode influenciar negativamente o desempenho do tecido em termos de resistência longitudinal, além de resultar em uma aparência menos compacta. Por outro lado, a amostra A4 apresenta o maior valor de urdume (9 fios/cm), refletindo uma estrutura mais fechada e potencialmente mais resistente. Essas variações impactam diretamente em parâmetros técnicos relevantes, como a estabilidade dimensional, a durabilidade e a absorção do pano

de prato, além de afetarem o comportamento do tecido durante o uso e a lavagem. O desequilíbrio entre urdume e trama, com esta última apresentando densidade média mais que o dobro da do urdume, reforça uma orientação estrutural que prioriza a resistência transversal do tecido. Tal escolha pode ser estratégica, caso se deseje otimizar a durabilidade lateral dos panos de prato durante o uso repetido. Em termos produtivos, a média geral da densidade de urdume da empresa D foi de 7,8 fios por centímetro, enquanto a trama manteve-se em 17 fios por centímetro.

A análise do gráfico referente à Empresa E revela uma composição têxtil caracterizada por elevada densidade de fios na trama em comparação à urdume (Figura 8).

Figura 8 – Gráfico empresa E



Fonte: Galeria do autor

Observa-se que, nas cinco amostras avaliadas (A1 a A5), a densidade da trama se mantém majoritariamente constante em 18 fios por centímetro, com exceção das amostras A3 e A5, nas quais esse valor atinge 19 fios por centímetro. Essa ligeira variação positiva pode indicar uma tentativa de otimização estrutural com vistas ao aumento da resistência transversal e da durabilidade do produto, visto que um maior número de fios na trama contribui para a coesão e a estabilidade do tecido durante o uso repetido.

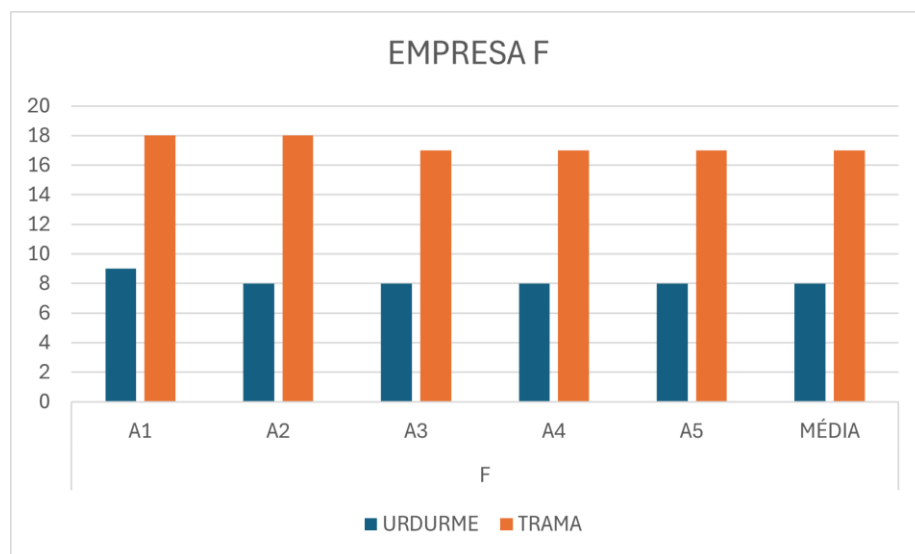
No que se refere à densidade de urdume, há uma oscilação entre 8 e 9 fios por centímetro, o que configura uma certa uniformidade dentro de limites aceitáveis para padrões artesanais ou semi-industriais. Esse comportamento relativamente estável do urdume, aliado à trama consistentemente mais densa, sugere uma estratégia produtiva

focada na consolidação da estrutura do tecido a partir do reforço transversal. A média da densidade de urdume é de 8 fios/cm, enquanto a da trama é de 18 fios/cm, demonstrando uma relação de aproximadamente 1:2,25 entre os dois sentidos. Tal proporção pode influenciar diretamente o desempenho funcional dos panos de prato, sobretudo em aspectos como absorção, resistência ao rasgamento e durabilidade em lavagens sucessivas.

A padronização observada no eixo da trama pode ser atribuída à maior facilidade de controle do batente do tear e da alimentação automática dos fios de trama, sobretudo em processos semi-industriais. Em contrapartida, embora a variação do urdume seja pequena, ela pode estar relacionada a fatores como a tensão aplicada na urdideira, irregularidade dos fios ou mesmo ao processo de estiramento da teia antes da tecelagem. Esse controle, ainda que não totalmente automatizado, demonstra um certo domínio técnico da empresa sobre seus processos produtivos.

A representação gráfica da densidade de fios nos tecidos produzidos pela Empresa F evidencia uma padronização significativa, especialmente no que se refere à densidade de trama (Figura 9).

Figura 9 – Gráfico empresa F



Fonte: Galeria do autor

Em todas as amostras analisadas (A1 a A5), observa-se que a densidade da trama varia muito pouco, oscilando entre 17 e 18 fios por centímetro, o que demonstra um controle produtivo eficiente nesse sentido. Tal estabilidade pode indicar a utilização de práticas consistentes no processo de batida do tear, garantindo a repetibilidade do padrão

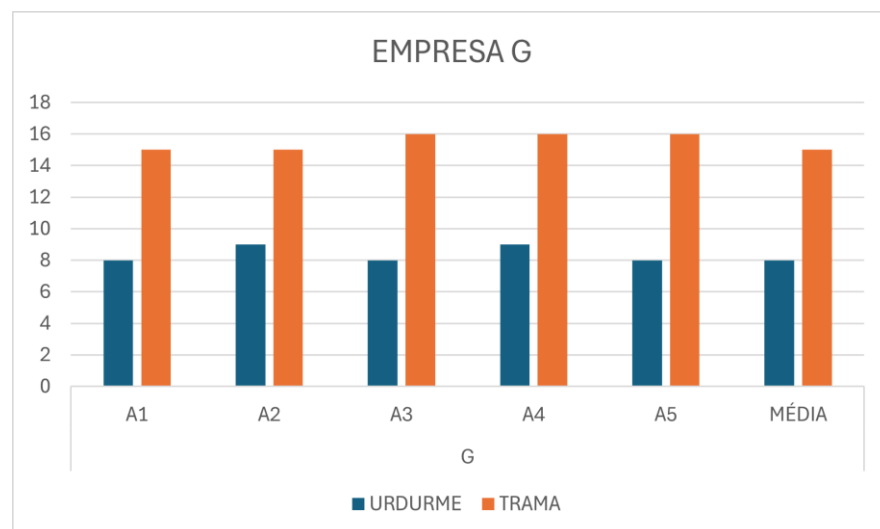
têxtil transversal e favorecendo a regularidade da superfície do tecido.

Em relação à densidade de urdume, os dados mostram uma variação discreta, com a amostra A1 apresentando 9 fios por centímetro, enquanto as demais mantêm-se constantes em 8 fios por centímetro. Essa ligeira diferença, embora sutil, pode ser atribuída a fatores como a tensão aplicada na urdidura, a calibragem do equipamento ou eventuais variações no controle manual do processo, caso se trate de produção semiartesanal. A média geral de urdume foi de 8 fios por centímetro, ao passo que a média da trama situou-se em 17 fios por centímetro, resultando numa proporção de aproximadamente 1:2,1 entre os dois sentidos. Essa relação, que privilegia uma densidade superior na trama, tende a conferir ao tecido maior resistência transversal, aspecto relevante para a durabilidade dos panos de prato durante o uso doméstico.

A repetibilidade dos valores observados ao longo das amostras aponta para um processo de produção relativamente padronizado, o que é positivo do ponto de vista da consistência do produto. A manutenção da trama em níveis elevados é indicativa de uma estratégia de reforço estrutural, possivelmente direcionada à melhoria da resistência à tração e ao desgaste por atrito. Por outro lado, a leve variação na densidade de urdume, ainda que dentro de margens aceitáveis, sugere oportunidades para aprimoramento do controle de qualidade, especialmente se a produção visar mercados mais exigentes em termos de uniformidade têxtil.

A análise gráfica da densidade de fios dos tecidos produzidos pela Empresa G revela um padrão de distribuição bastante equilibrado, com pequenas oscilações tanto na urdidura quanto na trama (Figura 10).

Figura 10 – Gráfico empresa G



Fonte: Galeria do autor

A densidade de urdume varia entre 8 e 9 fios por centímetro, sendo que as amostras A2 e A4 apresentaram os maiores valores (9 fios/cm), enquanto as demais mantiveram-se em 8 fios/cm. Já a densidade de trama, por sua vez, oscilou entre 15 e 16 fios por centímetro, com as amostras A1 e A2 registrando o menor valor e as demais o valor mais elevado.

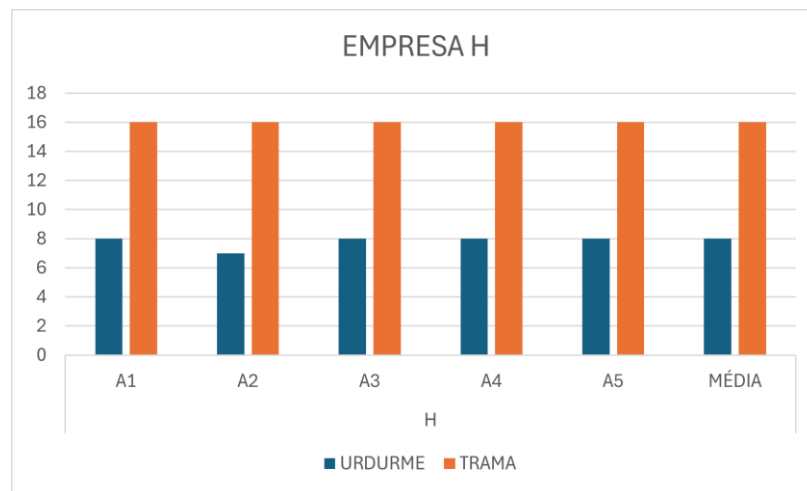
A média geral da densidade de urdume ficou em 8 fios por centímetro, e a de trama em 15 fios por centímetro, o que configura uma proporção de aproximadamente 1:1,87 entre os dois sentidos. Essa relação indica uma leve predominância da trama em termos de número de fios, o que pode ser estratégico para a obtenção de tecidos mais estáveis transversalmente, sem comprometer demasiadamente a flexibilidade longitudinal.

Do ponto de vista produtivo, os dados sugerem que a Empresa G mantém um bom controle sobre os processos de tecelagem, evidenciado pela consistência das densidades observadas. A variação limitada entre as amostras reforça a hipótese de que os parâmetros operacionais — como regulagem do tear, tensão dos fios e cadência de batida — estão sendo seguidos de maneira relativamente uniforme. No entanto, a oscilação de 1 fio por centímetro em ambas as direções pode apontar para uma margem natural de variação aceitável ou, alternativamente, para pequenas inconsistências no controle de qualidade que poderiam ser minimizadas com ajustes finos nos processos.

Sob uma perspectiva funcional, a configuração apresentada pela Empresa G tende a resultar em um tecido com bom equilíbrio entre resistência e flexibilidade. A densidade de trama mais elevada contribui para uma maior resistência ao desgaste por fricção, aspecto importante para produtos como panos de prato, que sofrem lavagens frequentes. Por outro lado, a manutenção da densidade de urdume dentro de uma faixa próxima também favorece a integridade dimensional do tecido, evitando deformações excessivas no uso cotidiano.

A análise da densidade de fios dos tecidos produzidos pela Empresa H evidencia um padrão altamente uniforme entre as amostras avaliadas. A densidade de urdume varia de 7 a 8 fios por centímetro, enquanto a densidade de trama mantém-se constante em todas as amostras, com 16 fios por centímetro. A média final reflete esse comportamento: 8 fios/cm para o urdume e 16 fios/cm para a trama (Figura 11).

Figura 11 – Gráfico empresa H



Fonte: Galeria do autor

A relação urdume:trama de 1:2 indica uma estrutura com maior concentração de fios na direção transversal, o que potencializa a estabilidade dimensional e a resistência à abrasão lateral, características importantes para tecidos de uso doméstico como panos de prato. Essa proporção pode também conferir um toque mais firme e uma aparência mais fechada ao tecido, sem comprometer a flexibilidade longitudinal.

Do ponto de vista do controle de qualidade, a Empresa H demonstra excelente padronização no que se refere à densidade da trama, com ausência total de variação entre amostras. A pequena variação observada na urdidura (7 a 8 fios/cm) é mínima e provavelmente está dentro da tolerância esperada para processos têxteis industriais, podendo decorrer de ajustes finos no tensionamento dos fios ou pequenas oscilações nos batentes do tear.

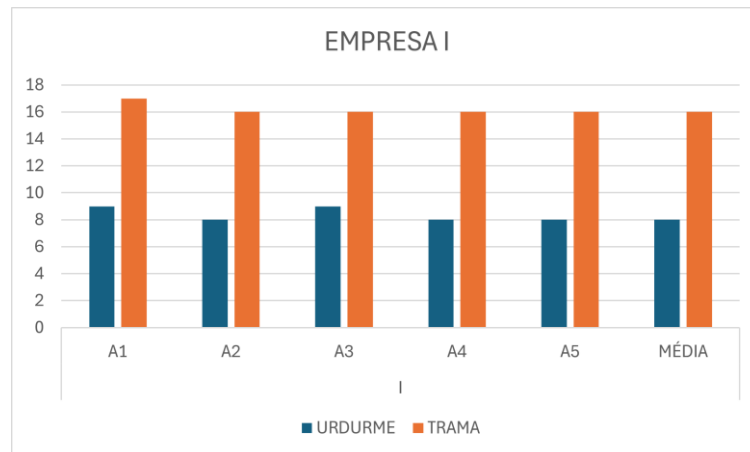
O desempenho produtivo, portanto, sugere que os parâmetros de tecelagem estão sendo aplicados com consistência, especialmente na alimentação da trama. Esse controle favorece a reprodutibilidade dos tecidos e fortalece a confiabilidade do produto final, especialmente em contextos em que se exige homogeneidade visual e tátil.

Em síntese, a Empresa H apresenta um tecido com características bem equilibradas para sua função, mantendo uma densidade de trama elevada e constante, e uma urdidura levemente variável, mas ainda dentro de padrões aceitáveis. Esse perfil reforça a imagem de um processo produtivo consolidado, com potencial para atender mercados que exigem regularidade e desempenho funcional.

A Empresa I apresenta uma densidade de fios que se mantém consistente entre as amostras, com pequenas oscilações. A densidade de urdume varia entre 8 e 9 fios por

centímetro, enquanto a densidade da trama apresenta leve variação entre 16 e 17 fios/cm. A média geral é de 8 fios/cm para urdume e 16 fios/cm para trama (Figura 12).

Figura 12 – Gráfico empresa I



Fonte: Galeria do autor

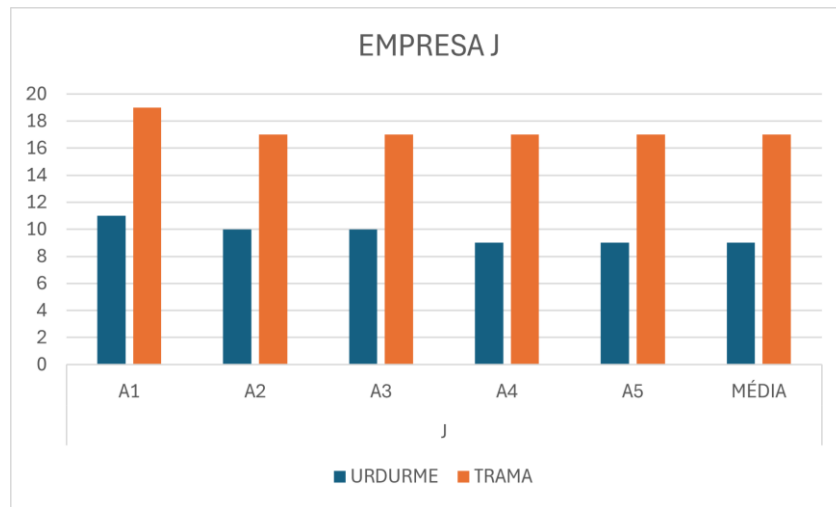
A razão urdume:trama de aproximadamente 1:2 confirma um padrão semelhante ao observado em outras empresas, com predominância de fios na direção da trama. Essa característica proporciona ao tecido maior resistência lateral e contribui para a estabilidade dimensional transversal, fatores importantes na aplicação como pano de prato.

Em termos de uniformidade produtiva, a Empresa I mantém um bom controle sobre a densidade dos fios, especialmente na urdidura, que não apresenta grandes variações. Já a leve flutuação na trama (entre 16 e 17 fios/cm) pode ser atribuída a variações pontuais no sistema de inserção de trama ou à tensão aplicada durante a tecelagem, mas permanece dentro de um intervalo aceitável do ponto de vista técnico.

Esse perfil indica um processo de tecelagem relativamente estável e bem ajustado, com boa padronização entre os tecidos avaliados. A variação mínima não compromete significativamente o desempenho do tecido, tampouco sua aparência, reforçando a adequação do controle de qualidade adotado pela empresa.

A Empresa J apresenta as maiores densidades de fios entre as empresas analisadas até o momento. As amostras exibem densidades de urdume entre 9 e 11 fios/cm, com uma média de 9 fios/cm, enquanto a densidade da trama varia entre 17 e 19 fios/cm, com média de 17 fios/cm (Figura 13).

Figura 13 – Gráfico empresa J



Fonte: Galeria do autor

Esse padrão evidencia uma estrutura de tecido mais compacta, o que pode resultar em maior resistência mecânica, menor transparência e possivelmente maior durabilidade. Essas características são vantajosas para tecidos utilizados como panos de prato, pois contribuem para maior absorção, resistência ao desgaste e durabilidade no uso cotidiano.

A amostra A1 se destaca por apresentar a maior densidade tanto em urdume quanto em trama (11 e 19 fios/cm, respectivamente), sugerindo um lote com maior compacidade. As demais amostras mantêm valores relativamente próximos, indicando uma produção consistente, embora com uma ligeira tendência de redução em A4 e A5.

A razão urdume:trama gira em torno de 1:1,89 a 1:1,73, o que reforça o padrão identificado nas empresas anteriores — maior concentração de fios na trama. Contudo, a diferença entre as direções é um pouco menos acentuada em comparação com empresas como H e I, sinalizando uma distribuição mais equilibrada.

6.3. COMPARAÇÃO ENTRE OS TECIDOS DAS DIFERENTES FÁBRICAS

Ao realizar uma análise comparativa das estruturas têxteis dos panos de prato provenientes de dez empresas diferentes da cidade de Jardim de Piranhas/RN, foi possível identificar aspectos relevantes relacionados às dimensões, repetições e características visuais dos *rappports* observados em cada amostra. De maneira geral, todos os tecidos analisados apresentaram *rappports* de pequenas proporções, com variações dimensionais que oscilam entre aproximadamente 2 mm e 5 mm. Essa característica comum sugere que

as indústrias locais priorizam, predominantemente, a funcionalidade dos tecidos — como a capacidade de absorção e resistência ao uso contínuo — em detrimento de padrões decorativos mais complexos e visualmente ornamentados. O uso de *rappports* reduzidos tende a favorecer a compactação estrutural do tecido, aumentando a sua área útil de contato com superfícies e, conseqüentemente, a eficiência em aplicações domésticas.

Dentre todas as amostras, o tecido identificado como D destacou-se por apresentar o *rapport* mais espaçado e visualmente perceptível, revelando uma estrutura têxtil consideravelmente mais aberta em relação às demais. Essa abertura estrutural, enquanto favorece aspectos como leveza e secagem rápida, também pode implicar em menor resistência à abrasão e menor vida útil em contextos de uso intensivo. A regularidade visual do padrão, neste caso, torna-se mais evidente, podendo inclusive ser utilizada como um diferencial estético, ainda que simples.

Por outro lado, os tecidos A, G e J configuram o grupo com os *rappports* mais fechados e compactos da amostragem. Nessas estruturas, os fios de urdume e trama encontram-se densamente entrelaçados, o que resulta em superfícies mais homogêneas, visualmente neutras e estruturalmente robustas. A compactidade dessas amostras é indicativa de uma maior densidade de fios por centímetro linear, o que pode estar diretamente relacionado a um desempenho superior em termos de durabilidade e capacidade de absorção. A baixa visibilidade do *rapport* nesses tecidos reforça a ideia de que o foco principal é o rendimento funcional, com menor ênfase na expressividade visual do produto final.

Adicionalmente, algumas amostras — mais especificamente as identificadas como E, F e I — apresentaram padrões estruturais com leve deslocamento de linhas e orientação diagonal nas interseções dos fios. Essa inclinação sutil remete a estruturas têxteis baseadas em ligamentos tipo sarja ou a variações mais elaboradas do tradicional ligamento tafetá. Tais padrões diagonais ou em forma de trançado conferem aos tecidos uma dinâmica visual diferenciada, sem, no entanto, comprometer sua funcionalidade. A introdução de uma organização mais complexa nos fios pode contribuir positivamente tanto para a flexibilidade quanto para a estética, representando uma alternativa intermediária entre a funcionalidade pura e a valorização visual do tecido.

Em síntese, a análise das amostras revela um panorama técnico coerente com a proposta de produção da região, que parece direcionada a atender demandas utilitárias com eficiência, priorizando tecidos simples, resistentes e adequados ao uso doméstico. A

variação no *rapport*, ainda que sutil entre as amostras, demonstra a existência de diferentes estratégias produtivas adotadas pelas empresas locais — algumas optando por estruturas mais abertas e leves, enquanto outras apostam em maior densidade e uniformidade visual. Essa diversidade interna, mesmo dentro de um nicho produtivo específico, pode representar um indicativo da maturidade técnica do polo têxtil de Jardim de Piranhas, além de sugerir um potencial significativo para futuras explorações estéticas e funcionais no segmento dos tecidos domésticos regionais.

7. CONCLUSÃO

A presente análise estrutural de panos de prato provenientes de dez empresas da cidade de Jardim de Piranhas/RN permitiu compreender, com base na observação dos *rappports* e na organização dos fios, a diversidade de soluções técnicas adotadas na produção têxtil local. Foram identificados dois grupos predominantes de estrutura: os tecidos com *rapport* ortogonal (empresas A, C e J) e os tecidos com *rapport* diagonal (empresas B, D, E, F, G, H e I). As dimensões dos *rappports* variaram entre 2 mm e 5 mm, caracterizando padrões pequenos e repetitivos, que priorizam o desempenho funcional – como absorção e durabilidade – em detrimento de ornamentações complexas.

Essa investigação reforça a importância da análise estrutural como ferramenta fundamental para o controle de qualidade na indústria têxtil. A observação detalhada da densidade de fios, da regularidade dos padrões e da composição visual permite identificar potenciais pontos de melhoria, padronizar processos e oferecer produtos mais consistentes ao consumidor final. O uso da lupa conta-fios revelou-se essencial para a avaliação precisa das estruturas, contribuindo com dados objetivos para a comparação entre as amostras.

REFERÊNCIAS

CORTELETTI, Roseli de Fátima. EMPREENDEDORISMO E TRABALHO FLEXÍVEL NA PRODUÇÃO TÊXTEL DE JARDIM DE PIRANHAS/RN1. DO DESENVOLVIMENTO, TRABALHO E AÇÃO COLETIVA, p. 301. 2021.

DEJENE, Bekinew Kitaw; GUDAYU, Adane Dagnaw. Explorando o potencial de tecidos espaçadores de malha e tecidos 3D em têxteis técnicos: Uma revisão crítica. Journal of Industrial Textiles , v. 54, p. 15280837241253614, 2024.

FURTADO, Juliana da Costa et al. EFEITO DA CONTENÇÃO HIGIÊNICA SOBRE OS TECIDOS PERIODONTAIS: REVISÃO DE LITERATURA. RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218, v. 4, n. 12, p. e4124552-e4124552, 2023.

GERMANO, Gislainy da Costa. Difusão de inovação na indústria têxtil em Jardim de Piranhas/RN: dependência de trajetória e desenvolvimento local no Seridó potiguar. 2024. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

GIL, Antonio Carlos; VERGARA, Sylvia Constant. Tipo de pesquisa. Universidade Federal de Pelotas. Rio Grande do Sul, v. 31, 2015.

JHANJI, Y.; GUPTA, Deepti; KOTHARI, VK Papel das variáveis de fibra, fio e tecido na engenharia de vestuário com propriedades termofisiológicas necessárias. Indian Journal of Fibre & Textile Research (IJFTR) , v. 49, n. 1, p. 109-128, 2024.

LI, Mengru et al. Uma revisão sobre o desempenho mecânico de tecidos entrelaçados de urdidura tridimensional como reforço em compósitos. Journal of Industrial Textiles , v. 51, n. 7, p. 1009-1058, 2022.

LOPES, Sócrates Dantas; MORAIS, Ione Rodrigues Diniz. Institucionalização da sustentabilidade organizacional: o processo produtivo na indústria faccionista têxtil no Seridó Potiguar. Saberes: Revista interdisciplinar de Filosofia e Educação, v. 22, n. 1, p. 175-199, 2022.

MARTINS, Lázaro Manuel Marques. Definição de Melhorias para o Sistema de Apoio à Execução da Produção (MES) da Empresa Somelos Tecidos SA. 2024. Dissertação de Mestrado. Instituto Politecnico do Cavado e do Ave (Portugal).

NUNES, Ginete Cavalcante; NASCIMENTO, Maria Cristina Delmondes; DE ALENCAR, Maria Aparecida Carvalho. Pesquisa científica: conceitos básicos. ID on line. Revista de psicologia, v. 10, n. 29, p. 144-151, 2016.

OPOKU, Moisés; BAIDEN, Sarah; JOSEPHINE, Aboagyewaa-Ntiri. Processos de produção de vestuário e seus desafios à saúde: um caso de alfaiates e costureiras nas indústrias de vestuário de pequena escala no município de Sunyani. 2024.

REGE, Saloni. Textiles and Architecture| Woven into Dimensions of Temporality, Craft, Drapery, and Technology. University of Washington, 2023.

SCHMALWIESER, A. W. et al. Ultraviolet radiation protection factors of livestock shade cloths for free-range pigs. Veterinary Dermatology, v. 35, n. 6, p. 641-651, 2024.

CAPÍTULO XXIII

PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS ORGÂNICOS E SEU APROVEITAMENTO ENERGÉTICO

**Lucas Antonio da Silva de Jesus
Tânia Cristine Frankliane Cândido Ribeiro**

DOI: 10.5281/zenodo.17307640

1. INTRODUÇÃO

O gás natural, considerado um combustível fóssil, e o biogás possuem o mesmo processo de formação, a partir da decomposição da matéria orgânica. Porém, a diferença entre eles é que para a geração do biogás a decomposição da matéria orgânica é feita na superfície terrestre, enquanto que a geração do gás natural é feita no fundo de rios e mares a partir da decomposição anaeróbica de material orgânico composto por animais e plantas mortos há milhões de anos (KARLSSON et al., 2014).

O biogás possui diversas aplicações possíveis, podendo ser aproveitado no

consumo doméstico para acender fogões, aquecedores ou lampiões, como combustível no acionamento de motores de veículos e também pode ser utilizado para a geração de energia elétrica. A sua primeira utilização ocorreu em Bumbai (Índia), onde foi criada a primeira fábrica de biogás em 1859. Essa iniciativa teve muito sucesso e em 1980 a Índia já possuía 150.000 biodigestores funcionando (MALAJOVICH., 2016).

Existem diversas fontes de matéria-prima que podem ser usadas para produzir o biogás, dentre elas estão o esterco de animais rurais, resíduos orgânicos proveniente de restaurantes, residências, matadouros, fábricas de alimentos e bebidas alcoólicas, restos de culturas e efluentes oriundos de fábricas de laticínios, esgotos residenciais e frigoríficos (FERRAZ; MARRIEL, 1980).

A biodigestão anaeróbica é uma das melhores maneiras de se tratar e dar um destino adequado para os dejetos e efluentes, além de ter como produto o biogás que pode substituir uma grande variedade de combustíveis e o biofertilizante que é rico em nutrientes para as plantas, esse processo também ajuda na redução de odores, na eliminação de agentes patogênicos e apresenta baixo custo operacional (RIZZONI, 2012).

Para se ter uma produção de biogás eficaz é de suma importância atentar para os fatores que influenciam na biodigestão anaeróbica. Em respeito à temperatura, de forma geral é sabido que quanto maior for a temperatura do meio maior será a velocidade de uma reação química. Entretanto quando se trata de processos de transformação e degradação biológica isso nem sempre se aplica, visto que atuam no processo uma grande variedade de microrganismos e cada um deles possui sua faixa ideal de temperatura. Uma variação da temperatura acima ou abaixo dessa faixa ideal pode bloquear a ação desses microrganismos e até mesmo destruí-los (ROHSTOFFE, 2010). A regra da temperatura vale também para o valor do pH, os microrganismos envolvidos nos diversos estágios de decomposição necessitam de diferentes valores de pH para o seu bom desenvolvimento (ROHSTOFFE, 2010, p. 23).

Além disso, tem-se o tipo substrato utilizado no processo, este afeta a estabilidade e eficiência do processo. O que depende também da composição dos substratos que possuem energia e nutrientes necessários para que os microrganismos produzam um biogás de qualidade e para que o processo seja estável (KARLSSON et al., 2014).

O equipamento utilizado para a produção de biogás é chamado de biodigestor anaeróbico. Um biodigestor pode ser definido como um resíduo fechado, no qual microrganismos agem sobre a matéria orgânica depositada em seu interior, onde não há

presença de oxigênio. Esses microrganismos degradam a matéria orgânica com o objetivo de se obter como produtos o biogás e o biofertilizante (MALINOWSKY, 2016).

Os vários tipos de biodigestores existentes possuem a característica em comum de buscar a completa ausência de oxigênio em seu interior para que a biomassa seja digerida. Para escolher entre os diversos tipos é preciso levar em conta as condições locais, disponibilidade da matéria orgânica e investimento envolvido. A escolha também vai de acordo com a necessidade e realidade de seu respectivo dono. Os biodigestores são classificados de acordo com sua forma de abastecimento em: contínuos e batelada (ALVES; INOUE; BORGES, 2010).

O biodigestor em batelada é caracterizado principalmente por apresentar apenas uma carga por processo operacional, o equipamento é carregado e apenas quando todo o gás produzido for armazenado e não houver mais como os microrganismos produzirem mais gás que o equipamento é aberto para ser feito a retirada dos resíduos e por fim a limpeza do equipamento. Neste tipo de processo, a produção de gás é limitada, porém a conversão é maior e ele também tem capacidade de receber material orgânico sem que precisem ser previamente triturados (FERRAZ; MARRIEL, 1980). Um modelo indicado quando se tem resíduos em grandes quantidades em um curto espaço de tempo, como acontece com camas de frango, onde o resíduo não se encontra diariamente na propriedade e sim ao final do crescimento das aves (ALVES; INOUE; BORGES, 2010, p. 3).

Já no modelo de biodigestor contínuo o abastecimento é feito de maneira contínua e a cada recarga feita é feito também uma descarga, esta é equivalente à quantidade de material inserido no biodigestor. Essa descarga é feita através de uma encanação e pode ser diretamente utilizada como adubo orgânico em plantações. O fato deste tipo de biodigestor poder alimentado apenas com material orgânico triturado é visto como uma desvantagem (FERRAZ; MARRIEL, 1980).

É indicado quando se possui uma quantidade de resíduos produzida de forma mais constante na propriedade (dejetos suíno e bovino, por exemplo) e também mão-de-obra para a realização das cargas diárias (ALVES; INOUE; BORGES, 2010, p. 3). Os principais modelos de biodigestores na forma contínua são o chinês, o indiano e o canadense.

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2008) a energia tem sido vista como uma das variáveis que determinam o nível de desenvolvimento de um país, visto que para que se tenha um bom desenvolvimento econômico e social é

necessário que a humanidade disponha de suporte térmico, mecânico e elétrico. Isso se dá também por resultado do avanço tecnológico, cujo processo requer uma grande quantidade de energia para que continue ocorrendo.

Devido à crescente demanda por energia, para que esta supra as necessidades que a economia mundial exige para continuar crescendo e se transformando, tem-se utilizado o petróleo e o carvão mineral como principal fonte de energia durante todo o século XX. Entretanto, com a chegada do século XXI, tornou-se evidente a mudança ocorrida nesse cenário e foi constatado a necessidade de se desenvolver fontes alternativas de energia, sendo elas mais sustentáveis (ANEEL, 2008).

A crise do petróleo, datada da década de 70, foi o marco inicial para que todos os países dependentes economicamente dessa fonte energética ficassem atentos às mudanças decorrentes disso e comesçassem a se preocupar em achar uma forma de substituição para tal produto (DEGANUTTI, et al. 2002).

Com o passar dos anos a sociedade vem se tornando cada vez mais consciente de que é melhor agir com medidas preventivas a ter que gastar forças tentando desfazer danos. Sendo assim, o desenvolvimento de métodos para limpar o meio ambiente e conservá-lo tem sido preferível a aqueles que poluem e degradam o meio ambiente, tais métodos são chamados de tecnologias limpas (MALAJOVICH, 2016).

O Brasil possui um destaque muito importante no cenário nacional quando o assunto é o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), este é um dos instrumentos criados pelo Protocolo de Quioto com o intuito de auxiliar os países desenvolvidos a alcançar as metas estabelecidas para a redução de emissão de carbono e ao mesmo tempo dar incentivo financeiro aos países que ainda estão em desenvolvimento (ARCADIS, 2010).

Quando se trata do potencial de redução das emissões de gases poluentes associado aos projetos de MDL, o Brasil ocupa a terceira maior posição, estando ele responsável pela redução de 375.889.172 toneladas de CO₂ equivalente, tal realização corresponde a 6% do total mundial para o primeiro período de obtenção de créditos, podendo este período ser estendido por no máximo 10 anos para projetos de período fixo ou por até 7 anos para projetos de período renovável. Dentro dos 168 projetos de MDL registrados nos muitos setores do Brasil, tem-se 25 que são realizados em aterros sanitários, porém apenas 7 destes tiveram como objetivo a geração de energia. Estes poucos constituem a importante possibilidade de promover uma sociedade mais

sustentável, através do incentivo para que se tenha uma gestão adequada dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) (ARCADIS, 2010).

O biogás tem se mostrado uma opção bastante favorável para a produção de energia, já que possui baixo custo de produção e apresenta bons resultados, em vista disso vários países já apresentaram interesse e estão pondo em prática a sua utilização. Entretanto, apesar dos conhecimentos a seu respeito serem procedentes de muitos anos atrás, foi apenas recentemente que começaram a ser desenvolvidos de fato os processos para a obtenção do biogás. Sendo assim, o ano de 1976 foi marcado como o início da intensificação dos estudos direcionados ao seu aproveitamento (DEGANUTTI, et al. 2002).

Inicialmente, o objetivo principal não era obter o biogás como uma fonte de energia, mas sim a diminuição da quantidade lodo de esgoto. Porém, o preço da energia subiu por conta da crise do petróleo que se iniciou nos anos 70. A partir daí, com a necessidade de se aproveitar o biogás produzido, começou a serem feitas pesquisas com a finalidade de otimizar o processo de biodigestão anaeróbica da matéria orgânica, para atender a essa demanda de energia (KARLSSON et al., 2014).

Dentre os objetivos de se utilizar o biogás nas propriedades rurais, pode-se destacar: o oferecimento de maior conforto aos proprietários rurais, possibilitando-lhes a utilização de um combustível mais prático e acessível; a contribuição com a economia no consumo de petróleo, já que o biogás é proveniente de uma fonte sustentável; a produção de biofertilizante que é um subproduto da decomposição anaeróbica rico em nutrientes, este pode ser utilizado na fertilização do solo com o objetivo de melhorar a produção dos cultivos; e, por fim, a contribuição na luta em preservação ao meio ambiente, visto que na produção de biogás são utilizados lixos e dejetos orgânicos para que possam ser reciclados (DEGANUTTI, et al. 2002).

Dentre as fontes de energia que são renováveis pode-se citar a energia hidráulica, esta utiliza-se do recurso natural mais abundante da terra, a água, que é uma das poucas fontes que não contribuem para o aquecimento global. Porém, mesmo esse recurso existindo em grande quantidade, a sua utilização é ainda pouco expressiva (ANEEL, 2008).

Há também a biomassa que é uma das fontes de energia sustentável com maior potencial de crescimento nos anos que estão por vir. A partir da biomassa é possível obter biocombustíveis, energia térmica e energia elétrica como foi mencionado

anteriormente. Os biocombustíveis obtidos através desta fonte podem servir como substitutos para os combustíveis derivados do petróleo. A biomassa é qualquer matéria orgânica que possua capacidade de ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica, podendo ser originária de diversos lugares, como da agricultura, da floresta, dos rejeitos urbanos e industriais. É através do tratamento anaeróbico da biomassa que se obtém, como subproduto, o biogás, cujo potencial como fonte de energia renovável é excelente (ANEEL, 2008).

Além das energias hidráulica e de biomassa, existem outras fontes, eles são: energia eólica, energia solar, geotérmica, mar e o biogás. Estas, apesar de ainda serem pouco utilizadas, nos últimos anos apresentaram um aumento de 500% da participação na matriz energética mundial (ANEEL, 2008).

As primeiras tentativas de se utilizar o biogás ocorreram em 1897 quando o cientista Louis Pasteur começou a produzir energia a partir do esterco de cavalos e as lâmpadas das ruas de Exeter começaram a funcionar com o gás vindo do tratamento de águas residuais. A partir desse desenvolvimento foi observado a possibilidade de aumentar a produção de biogás a partir das instalações de purificação anaeróbica para águas residuais. Porém a maior parte ainda era desperdiçada para a atmosfera. Em 1904, Travis tentou implementar um processo com duas etapas que combinava a purificação de águas residuais com a produção do gás metano (DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2008).

Em 1906, Sohgen observou que a fermentação da matéria orgânica produz compostos como hidrogênio, ácido acético e gás carbônico e demonstrou também que para haver a formação do metano deve ocorrer a redução de CO_2 e supôs que o ácido acético é descarbonizado para que haja a fermentação do metano. Essa hipótese, que por décadas permaneceu duvidada, a partir do século XX já foi aceita como correta (SOARES; SILVA, 2010).

A crise ambiental é consequente das frequentes ações do ser humano, as quais têm utilizado de maneira insustentável os recursos não renováveis, ajudando na redução da biodiversidade, cooperando para o aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera e para a acidificação dos oceanos. O aumento do processo da globalização também tem influenciado nisto, agravando as crises ambientais e sociais, ao mesmo tempo em que a economia mostra sinais de uma possível queda (MARTINE; ALVEZ, 2015).

Com o passar dos anos a humanidade vem ampliando a sua capacidade de

interferir na natureza para satisfazer suas crescentes necessidades e anseios, isso faz surgir conflitos a respeito do uso do espaço e dos recursos naturais. Nos últimos séculos, com a industrialização, surgiu um novo modelo de civilização, esta realiza a mecanização da agricultura, usa intensivamente os agrotóxicos e se concentra majoritariamente nas cidades. Com isso intensificou-se a exploração de recursos naturais e deu-lhe uma outra forma (BARRETO, 2000).

Os resíduos sólidos podem ter sua composição afetada por diversos fatores, dentre eles: o número de habitantes de um município, o nível educacional da população, os hábitos e costumes da população, a renda familiar, as condições climáticas e o nível da industrialização de alimentos. Desta forma diferentes comunidades apresentam diferentes valores da composição (REMPEL, 2014).

Devido à crise ambiental e a constante preocupação com a saúde e o meio ambiente, a utilização dos RSU tem sido vista como uma opção muito importante para a geração de energia. Ao serem depositados em aterros sanitários e lixões, essa matéria gera uma série de gases que podem vazar para a atmosfera poluindo o meio ambiente e aumentando o efeito estufa (PEREIRA; CURI, 2012).

Um dos fatores que afetam diretamente o meio ambiente de forma negativa é o aumento desproporcional da quantidade de resíduos sólidos gerados. Isso faz com que os aterros sanitários necessitem de uma forma segura e econômica para armazenar toda essa quantidade de resíduos no solo e que também ocupe o menor espaço possível. Porém ainda é preciso se preocupar com a diminuição da quantidade de lixo gerado, com o reaproveitamento da maior quantidade possível de resíduo orgânico e inorgânico, e com a realização de tratamento adequado na fração que restar para que por fim apenas os rejeitos sejam recebidos pelos aterros sanitários, resultando na redução do espaço necessário para esses resíduos (REMPEL, 2014).

A economia, que apresenta como base uma produção e consumo em larga escala, teve sua criação derivada da crescente demanda global de recursos naturais. Como resultado disto, o processo de exploração da natureza que vem ocorrendo é responsável por grande parte destruição dos recursos renováveis e é determinante das necessidades que pedem um crescimento infinito das demandas quantitativas e qualitativas dos recursos referidos (BARRETO, 2000).

Entretanto, apenas recentemente começou a existir essa consciência sobre esses problemas ambientais. As preocupações acerca dos impactos gerados pela má gestão

dos recursos naturais tornaram-se recorrentes ao redor do mundo nas últimas décadas do século XX mais precisamente. Sendo assim, é imprescindível que haja uma mudança mental e comportamental do ser humano a respeito da crise ambiental, pois a situação necessita de novos valores para que a natureza possa ser vista como um meio de sobrevivência e não apenas como fonte de lucro (PEREIRA; CURI, 2012).

No Brasil os empreendimentos de pesquisa e produção do biogás ainda estão na fase inicial e são efetivamente separados por região, porém, apesar disto o biogás vem ganhando cada vez mais importância na busca por fontes renováveis de energia, sendo ele um produto atrativo tanto no âmbito econômico como também sustentável (DUARTE, 2017).

Neste contexto, o presente trabalho buscou respostas para o questionamento sobre o estudo e a busca pelo desenvolvimento da obtenção de energia sustentável através da produção de biogás, para solucionar os problemas energéticos mundiais e contribuir na luta por um meio ambiente mais saudável. Para tal, teve-se o objetivo geral de compreender como a produção de biogás a partir de resíduos orgânicos influencia na crescente necessidade de obtenção de energia sustentável e qual a interferência disto no meio ambiente, e também a respeito da geração de biogás a partir de resíduos orgânicos, além de se explorar o conhecimento sobre a geração de energia sustentável a partir do biogás e por fim fez-se um entendimento acerca da contribuição ambiental que a utilização do biogás.

2. METODOLOGIA

Este artigo consiste em uma revisão bibliográfica, realizada por meio da análise de publicações científicas recentes (últimos 10 anos) indexadas em bases de dados como Scopus, Web of Science, SciELO e ScienceDirect. Utilizou-se as palavras-chave "biogas production", "organic waste", "anaerobic digestion", "energy recovery" e "renewable energy", combinados com operadores booleanos. Foram selecionados artigos, teses e relatórios técnicos que abordassem a produção de biogás a partir de resíduos orgânicos, seu potencial energético e aplicações. Os critérios de inclusão contemplaram estudos com dados quantitativos, técnicas de purificação do biogás e eficiência energética. Excluíram-se trabalhos sem revisão por pares ou com informações redundantes. Os dados foram organizados em categorias temáticas: tecnologias de digestão anaeróbia, composição do

biogás, métodos de upgrading e usos energéticos. A síntese das informações permitiu comparar diferentes substratos, escalas de produção e viabilidade econômica, identificando tendências e lacunas na literatura. Por fim, discutiu-se as perspectivas de aplicação em contextos sustentáveis, com ênfase na integração entre gestão de resíduos e geração de energia renovável.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As questões ambientais tornaram-se o principal tema das discussões pelo mundo todo, a busca por meios de se ter um desenvolvimento econômico, tecnológico, industrial e social e ao mesmo tempo conseguir preservar a natureza, para que os recursos naturais existentes estejam disponíveis para as gerações que estão por vir, tem sido cada vez mais urgente.

Entretanto, apenas recentemente começou a existir essa consciência sobre os problemas ambientais. As preocupações acerca dos impactos gerados pela má gestão dos recursos naturais tornaram-se recorrentes ao redor do mundo nas últimas décadas do século XX mais precisamente. Sendo assim, é imprescindível que haja uma mudança mental e comportamental do ser humano a respeito da crise ambiental, pois a situação necessita de novas atitudes para que a natureza possa ser vista como um meio de sobrevivência e não apenas como fonte de lucro (PEREIRA; CURI, 2012).

Com o passar dos anos tem sido cada vez mais notável e alarmante a crescente necessidade de se ter soluções e alternativas para que seja desenvolvido um plano de projeto que abranja um ambiente social, econômico e ambiental em equilíbrio. Assim, o presente trabalho apresenta significativas soluções e contribuições para a sociedade em geral, possibilitando principalmente a produção de energia elétrica sustentável a partir de resíduos orgânicos, influenciando positivamente a economia, além do seu papel importante na cooperação da preservação ao meio ambiente.

A energia sempre foi reconhecida como a base do desenvolvimento das civilizações ao redor do mundo. Com o avanço tecnológico e com o aumento populacional, surgiu também a necessidade de recursos energéticos para suprir a demanda de energia, porém não se pôde ignorar os impactos ambientais. Nessas circunstâncias a utilização de energias renováveis ganhou força, favorecendo dessa forma seu desenvolvimento.

A utilização de combustíveis fósseis vem sendo feita em grandes quantidades há muitos anos. Isto tem impactado negativamente o meio ambiente, visto que a partir da queima desses combustíveis são liberados gases como o dióxido de carbono (CO_2) e gás metano (CH_4) que são responsáveis pelo efeito estufa. Com isso, tem-se a necessidade de substituí-los, visto que é uma fonte esgotável de energia, pois existe em quantidade limitada.

É imprescindível que se faça entender, para a comunidade acadêmica e a sociedade em geral, as inúmeras vantagens que se obtém ao utilizar-se de uma energia sustentável. Para tal, é preciso que existam estudos e pesquisas que mostrem, de forma coesa e objetiva, o processo para obtenção dessa energia juntamente com todos os seus benefícios. Com o estudo sobre a produção de biogás e seu aproveitamento energético é possível mostrar para a sociedade a importância da utilização dessa energia e do investimento necessário para que se possa tornar possível seu emprego em larga escala. Além de instigar a comunidade acadêmica a buscar meios de aprimoramento das metodologias para a obtenção do biogás, tornando-a cada vez mais prática e atrativa.

Como resultado dessa preocupação mundial a respeito da saúde do meio ambiente a longo prazo e também com a escassez energética proveniente da utilização de recursos esgotáveis e nada sustentáveis, tem sido cada vez mais urgente a busca por soluções para se ter uma forma de tratamento adequada dos RSU e de todo lixo orgânico gerado mundialmente, além da procura por fontes energéticas sustentáveis. Essa busca levou os pesquisadores até o biogás e a biomassa, sobre os quais tem sido feito diversos estudos acerca do aproveitamento de ambos.

Biodigestão anaeróbia é uma forma de decomposição de matéria orgânica na qual uma variedade de micro-organismos anaeróbios atua em atmosferas isentas de oxigênio. Ao final desse processo de biodigestão obtém-se os produtos finais que incluem: uma fração gasosa denominada Biogás, cuja composição aproximada está representada na Tabela 1, e rejeitos sólidos, geralmente ricos em nitrogênio (NEITZEL, 2015).

Tabela 1 – Composição média do biogás

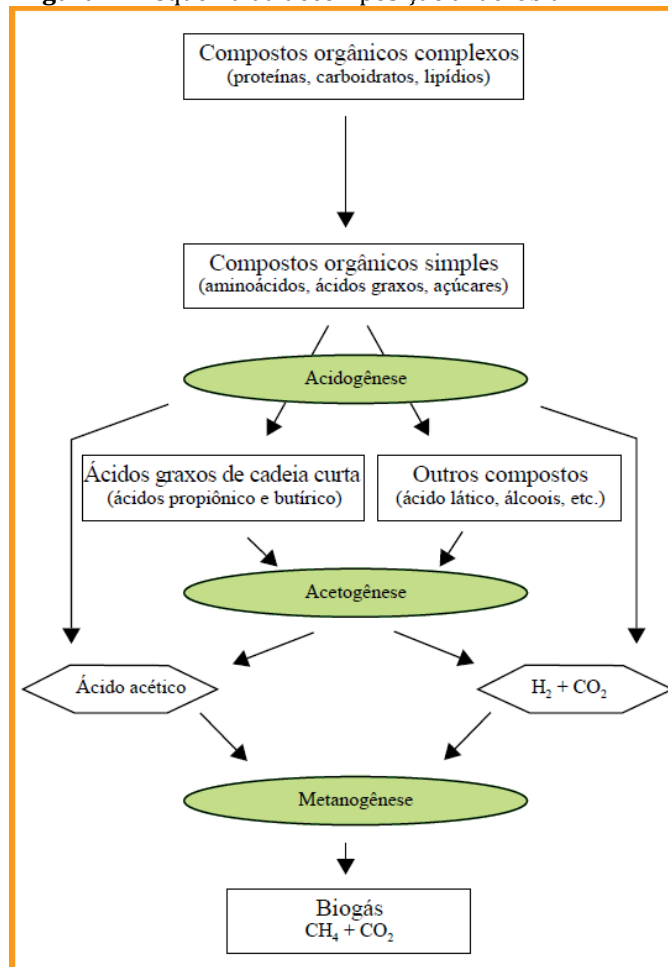
Componente	Concentração
Metano (CH_4)	50% - 75% em vol.
Dióxido de carbono (CO_2)	25% - 45% em vol.
Água (H_2O)	2% - 7% em vol. (20 - 40 °C)

Sulfeto de hidrogênio (H ₂ S)	20 - 20.000 ppm
Nitrogênio (N ₂)	< 2% em vol.
Oxigênio (O ₂)	< 2% em vol.
Hidrogênio (H ₂)	< 1% em vol.

Fonte: Rohstoffe (2010).

O processo de formação do biogás se divide em 4 etapas que devem ocorrer em perfeita coordenação durante o processo para que tudo aconteça de acordo com o esperado, cada etapa contém seus específicos grupos de microorganismos (ROHSTOFFE, 2013), estes atuam juntamente com uma série de fatores que influenciam na composição e consequentemente na qualidade do biogás produzido, tais fatores são: temperatura, pH, composição da matéria-prima e a ausência de oxigênio (KARLSSON et al., 2014). A Figura 1 apresenta um esquema simplificado do processo de decomposição anaeróbica.

Figura 1 - Esquema da decomposição anaeróbica



Fonte: Rohstoffe (2010).

Conforme a Figura 1, a hidrólise é a primeira etapa da decomposição anaeróbica, está é muito importante para o processo de produção do biogás, pois é nela que um grupo de microrganismos anaeróbicos atua sobre a matéria orgânica fazendo a hidrólise das moléculas mais complexas, tais como carboidratos, proteínas e lipídios, estas se degradam, ficando pequenas e menos complexas, tais como ácidos graxos, álcoois e os açúcares. Esse processo ocorre por meio de reações bioquímicas (ROHSTOFFE, 2010). Essa quebra enzimática se dá para que os microrganismos consigam se alimentar dessas moléculas e ela é essa quebra que permite que os microrganismos consumam fragmentos da matéria orgânica e se aproveitem da energia nela contida (KARLSSON et al., 2014).

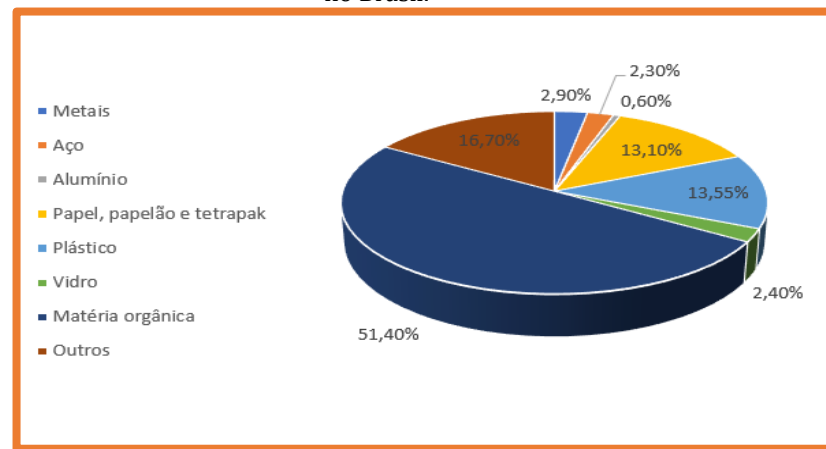
Logo após, na etapa chamada acidogênese ou de fermentação ácida, nela os componentes resultantes da primeira etapa vão continuar a serem quebrados em moléculas cada vez menores, estas são os ácidos orgânicos e o gás carbônico. Estes produtos que foram obtidos dependem de fatores ambientais e dos microrganismos presentes no meio. Essa etapa utiliza-se de bactérias anaeróbicas o que é visto como uma vantagem já que a primeira etapa necessita de um ambiente isento de oxigênio para ocorrer (KARLSSON et al., 2014).

Em seguida começa a acetogênese, nesta etapa as moléculas já degradadas nas etapas anteriores continuam a se romper em moléculas ainda menores, as quais são ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono. Entretanto as bactérias presentes nessa etapa não possuem resistência a grandes quantidades de hidrogênio, o torna a presença das bactérias metanogênicas de suma importância para que estas consumam o hidrogênio em excesso (KARLSSON et al., 2014). Durante a formação do metano, as arqueas consomem hidrogênio e dióxido de carbono (transferência interespecífica de hidrogênio), garantindo o meio propício para as bactérias acetogênicas (ROHSTOFFE, 2010, p. 20).

Nesta etapa tem-se a formação do gás metano que é o principal produto de interesse de todo esse processo e do dióxido de carbono, estes são formados pelas arqueias metanogênicas que são microrganismos extremamente sensíveis às possíveis perturbações durante o processo. Para a geração do metano essas bactérias utilizam os produtos oriundos das etapas anteriores. Logo, é preciso que as condições do ambiente sejam favoráveis não só para um grupo de microrganismos e sim para todos para que haja equilíbrio e não afete a produção de biogás (ALVES; INOUE; BORGES, 2010).

Quando se trata da composição dos resíduos sólidos é sabido que os países em desenvolvimento apresentam um excesso de matéria orgânica dentre a composição do lixo doméstico, apresentando valores superiores a 50%, isso se dá pela falta de preparo prévio de frutas e vegetais, pela pequena quantidade dos outros componentes e pela falta de equipamentos domésticos próprios para o reaproveitamento dos alimentos (ALVES, 2008). Os RSU gerados no Brasil apresentam uma composição muito heterogênea, podendo variar de acordo com o período do ano em que é coletado, com o nível socioeconômico da população e o tipo da coleta municipal que possui (PAVI, 2016). A Figura 2 mostra a composição gravimétrica média dos RSU no Brasil.

Figura 2 - Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil.

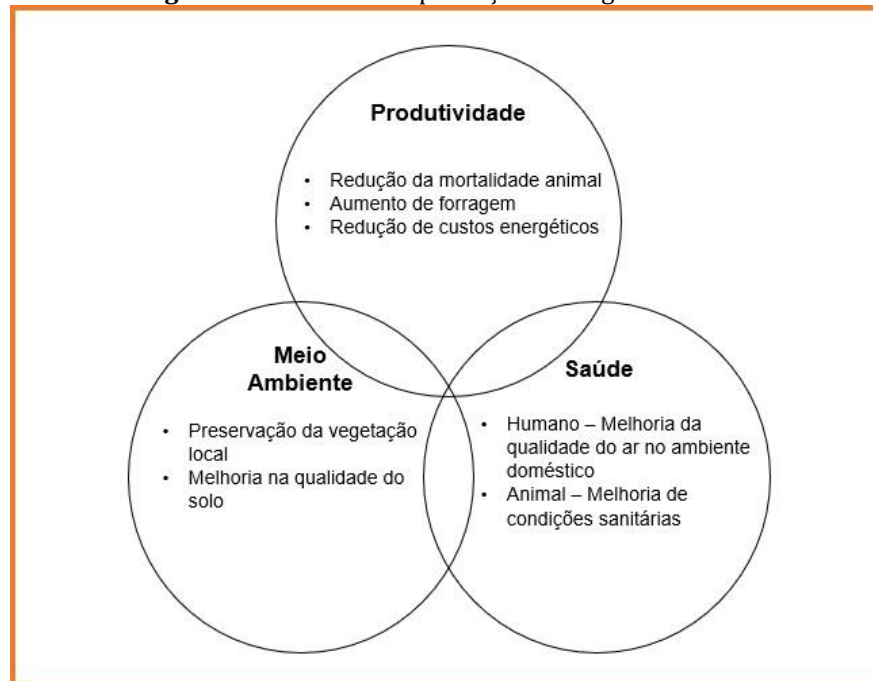


Fonte: Adaptado de Abrelpe (2012).

Conforme a Figura 2, é possível constatar que a maior parte da composição dos RSU produzidos no Brasil é de matéria orgânica. De acordo com Malinowsky (2016), a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, rurais e agrícolas é a parte composta pela matéria putrescível, são resíduos gerados por indústrias alimentícias e por atividades agrícolas, como ração, adubos, restos de colheita, entre outros.

O processo de biodigestão anaeróbica possibilita o aproveitamento do esterco animal e dos resíduos oriundos da agricultura para a geração de biogás e biofertilizante, os benefícios da utilização desse método são: o aumento da produtividade, a preservação do meio ambiente e a melhoria da saúde humana e dos animais, como mostra a Figura 3 (OLIVER, 2008).

Figura 3 - Benefícios da produção de biogás.



Fonte: Adaptado de Oliver (2008).

A partir da Figura 3 pode-se apontar os benefícios que são obtidos com a utilização de um biodigestor para a produção de biogás, eles são: a utilização de biogás como energia limpa e renovável - podendo substituir o gás de cozinha, reduzindo os custos com o gás, incluindo o produto, o transporte e o armazenamento; a produção de biofertilizante - material que pode ser utilizado como adubo na produção de forragem para os animais e de alimento para as pessoas, aumentando o rendimento agrícola; melhoria nas condições de higiene para os animais e para as pessoas - a limpeza diária das instalações para recolher o esterco e o seu tratamento adequado diminuem a contaminação do ambiente por microrganismos nocivos, reduz também a proliferação de moscas e a mortalidade dos animais; os benefícios ambientais incluem a redução da emissão dos gases do efeito estufa, preservação da flora e da fauna nativa já que o biogás substitui a lenha e reduz a necessidade do corte de árvores, e a redução de odores que são oriundos do segundo estágio da decomposição da matéria orgânica sob maus cuidados (OLIVER, 2008).

A produção de biogás para a obtenção de energia é uma alternativa adequada, tendo em vista que essa geração se dá através da decomposição anaeróbica da matéria orgânica, fazendo com que tenha-se uma utilidade para a fração orgânica de todos os RSU e ao mesmo tempo em que ameniza a necessidade de utilização dos combustíveis de origem fóssil para suprir a demanda energética (PAVI, 2016).

4. CONCLUSÃO

A produção de biogás a partir da digestão anaeróbica de resíduos orgânicos mostrou-se ser um procedimento bastante complexo, apresentando uma série de fatores que podem influenciar tanto positivamente quanto negativamente na obtenção do produto. O biogás é um combustível ecologicamente sustentável e pode ser um substituto eficiente para os combustíveis fósseis.

O estudo acerca do biogás data do século XIX e ganhou mais notoriedade na década de 70 com a crise do petróleo, na qual a sociedade começou a buscar com afincos fontes alternativas de energia. Desde então, o biogás tem sido visto como uma importante fonte de energia sustentável que deve ser mais explorada e estudada, tendo em vista o seu desenvolvimento para que se torne viável financeiramente o seu emprego em larga escala.

Os problemas ambientais têm sido o principal alvo das discussões ao redor do mundo e com isso foi observado que a crise ambiental é resultado da má gestão dos recursos naturais em todo o planeta. Foi visto também que um dos fatores que tem influência negativa no meio ambiente é o aumento desproporcional da quantidade de resíduos sólidos gerados. Para todos os problemas citados anteriormente, a produção de biogás é vista como uma solução ou como atenuante, trazendo benefícios ao meio ambiente e conseqüentemente à população.

REFÊRENCIAS

ALVES, E. E. N.; INOUE, K. R. A.; BORGES, A. C. **Biodigestores: Construção, operação e usos do biogás e do biofertilizante visando a sustentabilidade das propriedades rurais**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, Viçosa: SIMBRAS. Anais..., n. 2, p. 1 – 14, set. 2010.

ALVES, I. R. F. S. **Análise experimental do potencial de geração de biogás em resíduos sólidos urbanos**. 2008. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília: TDA comunicação, 2008.

ARCADIS TETRAPLAN (PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento). **Estudo sobre o Potencial de Geração de Energia a partir de Resíduos de Saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte**

alternativa de energia renovável. Produto 6 - Resumo Executivo. São Paulo, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil.** 186 f. 2012.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004:** Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 71 p. 2004.

BARRETO, R. M. S. **Parâmetros curriculares nacionais: Meio ambiente.** Brasília: Secretaria da Educação Fundamental 2000.

DEGANUTTI, R. et al. **Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada.** Encontro de energia no meio rural, Campinas, v. 4, 2002. Disponível: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000100031&lng=en&nrm=abn> Acessado em 01 oct.2019.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from waste and renewable resources.** Singapore: Wiley-VCH, 2008.

DUARTE, D. D. V. **Biogás no Brasil: Desafios à Implementação do Biogás Gerado a Partir de Biomassa de Origem Animal.** 2017. 59 f. Monografia (Bacharelado em Economia) - Universidade Federal Do Rio De Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

FERRAZ, J. M. G.; MARRIEL, I. E. **Biogás: Fonte alternativa de energia.** Sete Lagos: EMBRAPA: Conselho Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, 1980.

KARLSSON, T. et al. **Manual básico de biogás.** Lajeado: Ed. Da Univates, 2014.
MALAJOVICH, M. A. **Biotecnologia.** Rio de Janeiro: ACTE C&T no Ensino, 2016.
MALINOWSKY, C. **Tratamento dos resíduos sólidos orgânicos da UFSC através de biodigestor anaeróbio.** 2016. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

MARTINE, G.; ALVES, J. E. D. Economia, sociedade e meio ambiente no século 21: tripé ou trilema da sustentabilidade. **Revista Brasileira de Estudos de População**, Brasília, v. 32, nov. 2015. Disponível: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-30982015000300433&lng=en&nrm=iso> Acessado em 08 oct.2019.

NEITZEL, J. **Potencial de produção de biogás da codigestão anaeróbia de resíduos de frutas e verduras e lodo de esgoto primário.** 2015. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

OLIVER, A. P. M. **Manual de Treinamento em Biodigestão.** Salvador: Instituto Winrock - Brasil. 23 f. 2008.

PAVI, S. **Produção de biogás a partir da co-digestão da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos e resíduos de hortifrutigranjeiros.** 2016. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2016.

PEREIRA, S. S.; CURI, R. C. **Meio Ambiente, Impacto Ambiental e Desenvolvimento**

Sustentável: Conceituações Teóricas sobre o Despertar da Consciência Ambiental. REUNIR – Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade, Campina Grande, Vol. 2, no 4, p.35-57, set./dez. 2012.

REMPEL, N. **Biodigestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos consorciado com glicerina.** 2014. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2014.

RIZZONI, L. B. **Biodigestão anaeróbia do tratamento de dejetos de suínos.** Revista científica eletrônica de medicina veterinária, Alfenas, v. 9, n. 18, p. 1 – 20, jan. 2012.

ROHSTOFFE, F. N. **BIOGAS: an introduction.** Gülsow-Prüzen: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e V. (FNR), 2013.

ROHSTOFFE, F. N. **Guia Prático do Biogás: Geração e Utilização.** Gülsow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e V. (FNR), 2010.

SOARES, R. C.; SILVA, S. R. C. M. **Evolução do uso do biogás como combustível.** Diversitas Journal, Mato Grosso, p. 1-6, ago. 2010.

CAPÍTULO XXIV

ESTUDO SOBRE A CORROSÃO POR SULFETO DE HIDROGÊNIO EM AÇO: UMA IMPLICAÇÃO INDUSTRIAL ATUAL

**Lucas Antonio da Silva de Jesus
Gilsilene Choplin Nascimento Dos Santos**

DOI: 10.5281/zenodo.17307660

1. INTRODUÇÃO

Existe mundialmente uma busca crescente na indústria por otimização, criando processos mais rápidos, flexíveis, eficientes e seguros. O que leva a um dos problemas recorrentes na indústria, principalmente a petrolífera, a corrosão de equipamentos, acidentes de trabalho e até mortes pela presença do sulfeto de hidrogênio (H₂S).

O sulfeto de hidrogênio pode ser formado como subproduto de uma reação ou por uma sucessão de fenômenos durante o processo, apesar de ser um ácido fraco seu poder

corrosivo é capaz de causar o rompimento de aços resistentes apresentando distintas consequências dependendo do material. O hidrogênio cuja representação é a letra H é o terceiro elemento mais abundante da terra e o mais abundante do universo sendo dentre todos os elementos o que possui a estrutura mais simples, em sua forma atômica compõe-se de um próton e um elétron (MOURA, 2018).

O hidrogênio é um gás extremamente leve, se você pegar 100 milhões de litro de ar, somente 5 litros seriam de hidrogênio. Em condições normais o gás hidrogênio é uma molécula diatômica e por possuir configuração eletrônica $1s^1$ o H se assemelha aos metais alcalinos que possuem configuração ns^1 e também aos halogênios que assim como hidrogênio possui a limitação de ter um elétron a menos do que o gás hélio. Tais características torna possível que hidrogênio forme óxidos, halogenetos e sulfetos como os metais alcalinos (STWERTKA, 2002). O hidrogênio possui características exclusivas, o tornando em um elemento único e capaz de se assemelhar a outros grupos, uma dessas características mais interessantes é a capacidade do hidrogênio em se combinar com outros não metais como o enxofre formando o sulfeto de hidrogênio (MOURA, 2018).

De acordo com a *World Health Organization* (WHO, 2003), o sulfeto de hidrogênio (H_2S ; CAS No. 7783-06-4) também conhecido como ácido sulfídrico, gás sulfídrico ou sulfidreto, é um gás tóxico, incolor e com odor característico, formado por dois átomos de hidrogênio e um de enxofre. É extremamente inflamável sendo sua temperatura de ignição $260^\circ C$.

Como os mecanismos formação do H_2S necessitam de uma fonte de enxofre, alguns exemplos são: sulfato solúvel (SO_4^{2-}) em sedimentos marinhos, sulfato de cálcio ($CaSO_4$) ou sulfato de bário ($BaSO_4$); um mediador como as bactérias ou as elevadas temperaturas de subsuperfície e um agente catalisador cuja presença implicará na velocidade da reação de oxirredução (MAINIER; RODRIGUEZ, 1994).

Também é possível afirmar que o gás sulfídrico (H_2S) por sua solubilidade, ocorre em superfícies, tanto na sua forma livre como em soluções de petróleo e em salmouras. Sua presença em campos como o petróleo e gás implica em problemas operacionais por sua alta corrosividade para com o aço, atacando tubos, tubos de revestimentos de produção, válvulas e linhas de fluxo por exemplo. Quando vestígios de H_2S são encontrados em óleo ou gás estes são classificados como ácidos (SELLEY; SONNENBERG, 2016).

Para a indústria do petróleo, o H_2S pode se fazer presente nos reservatórios de

petróleo e nos campos onde há injeção de água do mar. Tal pode se dar por diversos fatores tais quais os mecanismos de dissolução de sulfetos minerais, da decomposição de compostos orgânicos sulfurados e da ação da Bactéria Redutora de Sulfato – BRS (SILVA, 2009).

Sua formação, então, pode ocorrer na natureza e em processos industriais, quando a formação do sulfeto de hidrogênio ocorre em algum processo ou de forma natural, pode trazer sérios riscos à saúde e segurança humana já que o mesmo é raramente produzido de forma desejada, e possui consequências, necessitando de atenção quando é comprovada a existência do mesmo (SILVA FILHO, 2009).

Por ser um gás tóxico o sulfeto de hidrogênio traz algumas consequências ao ser humano, existem várias pesquisas que buscam entender a biologia do H_2S e como ele age no sistema fisiológico e fisiopatológicos em diversos sistemas biológicos como por exemplo, o corpo humano (MAINIER, 2001).

Devido a ocorrência de tais falhas nos processos que utilizam H_2S , foram elaboradas normas como as ISO's que contêm especificações e recomendações para a utilização de materiais em meio contendo sulfeto de hidrogênio. Apesar do seu destaque no setor industrial o sulfeto de hidrogênio também é formado de forma natural podendo ocorrer em poços e estações de tratamento de água, necessitando também de atenção.

Sua formação, então, pode ocorrer na natureza e em processos industriais, quando a formação do sulfeto de hidrogênio ocorre em algum processo ou de forma natural, pode trazer sérios riscos à saúde e segurança humana já que o mesmo é raramente produzido de forma desejada, e possui consequências, necessitando de atenção quando é comprovada a existência do mesmo (SILVA FILHO, 2009).

O sulfeto de hidrogênio e o dióxido de carbono (CO_2) são os principais agentes corrosivos dos equipamentos na indústria, principalmente a petrolífera, levando a quebra de equipamentos. O dióxido de carbono e o sulfeto de hidrogênio mudam as propriedades mecânicas dos equipamentos metálicos acelerando sua falha (MURSALOV, 2007).

A morfologia, composição e estrutura dos produtos da corrosão por H_2S dependem de muitos fatores como temperatura, quantidade de H_2S , fluxo do fluido, tempo de exposição, pH da solução, etc. Além disso, afetam também a evolução do hidrogênio e sua permeação melhorando sua absorção (penetração do hidrogênio no aço), bem como a suscetibilidade dos aços ao craqueamento induzido por hidrogênio (*Hydrogen Induced Cracking-HIC*) (MURSALOV, 2007).

A inalação é a principal via de exposição ao sulfeto de hidrogênio levando em consideração o fato do mesmo ser um gás. A maioria dos registros de intoxicação derivam de relatórios, exposições ocupacionais, e comunidades de estudos (WHO, 2003).

Não existe muito na literatura sobre a exposição controlada a baixas concentrações do sulfeto de hidrogênio, nem se os efeitos são acumulativos ou reversíveis, porém considerando os aspectos do H_2S , qualquer pessoa exposta a essa substância ou ácido deve ser alertada dos riscos que a mesma pode causar.

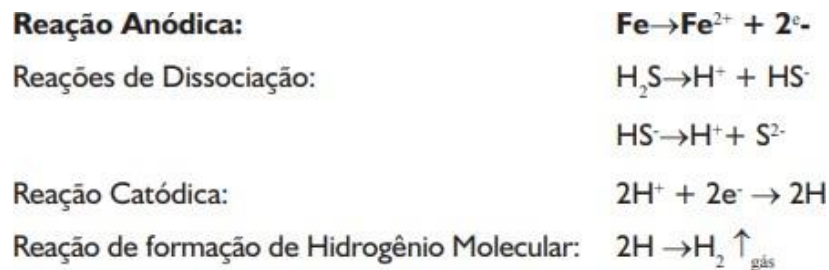
Também observa-se que em casos de acidentes em que ocorra o vazamento do H_2S é necessário que as equipes de combate que irão atuar no acidente utilizem equipamentos respiratórios especiais assim como o resfriamento dos equipamentos industriais caso tenha, para evitar a explosão devido a inflamabilidade do gás (MAINIER, 2001). Esses são exemplos simples de métodos de detecção que são necessários em processos com a presença do H_2S por seu nível de toxidez e perigo mostrando a necessidade da conscientização dos profissionais para possíveis acidentes e efeitos desse gás.

O HIC se inicia na corrosão do aço em meio aquoso onde são gerados átomos de hidrogênio. Parte destes átomos de hidrogênio podem combinar-se entre si e formar moléculas (H_2) que não alteram as propriedades do metal, uma vez que não ocorre a penetração de H_2 na sua microestrutura. Porém parte desse hidrogênio atômico que foi formado na superfície pode se difundir na rede cristalina pela estrutura metálica até atingirem regiões de ancoramento, como as discordâncias, contornos, interfaces ou inclusões, que quando o limite de solubilidade é atingido, formam moléculas, que geram campo de tensões ao seu redor, causando a formação e propagação de trincas ao longo da direção de constituintes frágeis (LADINO; FALLEIROS, 2015).

Também se torna importante deixar claro que o H_2S quase não causa corrosão em condições secas, mas por diversas vezes está associado a outros gases como o CO_2 , ácidos orgânicos e ácidos dissolvidos nos campos do petróleo, como resultado acaba por atribuir propriedades ácidas aos produtos do petróleo líquido e atingindo os equipamentos (MURSALOV, 2007).

Segundo Ladino e Falleiros (2015) as reações mais aceitas de corrosão do aço exposto ao H_2S em presença de umidade, das quais se podem gerar as espécies nocivas, são os apresentados na Figura 1.

Figura 1 – Reações de corrosão com o H₂S.



Fonte: Hincapie-ladino e Falleiros (2015, p.3)

Os íons H⁺ presentes na solução sofrem reações de redução, combinando-se com os elétrons liberados pelo metal formando hidrogênio atômico na superfície. Na ausência de sulfeto de hidrogênio, 98% dos átomos de H, formados pela corrosão, combinam-se formando gás hidrogênio, o restante se difunde para o interior do aço, porém, quando se há a presença de H₂S, a cinética da reação de formação de hidrogênio molecular fica mais lenta, fazendo com que o teor de hidrogênio que se difunde para o interior do material aumente até 10 vezes (LADINO; FALLEIROS, 2015).

O sulfeto de hidrogênio ao ser dissolvido em água forma um ácido fraco causando a corrosão em meios contendo hidrogênio e dióxido de carbono porém dependendo de diferentes condições a corrosão pode ser dificultada através da formação de sulfeto de ferro (FexSy), tendo para certo intervalo de pH um filme de FexSy que é formado na superfície reduzindo a taxa da corrosão. Os produtos formados para esse sistema Fe-H₂S são pirita (FeS₂), pirrotita (Fe_{1-x}S), sulfeto de ferro hexagonal (FeS) e mackinawite (Fe_{1+x}S), entre outros dos quais se considera que a mackinawite se forma primeiro na superfície do aço por uma reação superficial direta (LADINO; FALLEIROS, 2015).

A formação do filme de sulfeto de ferro em sua maior parte depende da concentração de H₂S no sistema sendo sua natureza inibidora majoritariamente dependente do pH da solução já que em soluções com variação de 3 a 5 o sulfeto de ferro é capaz de inibir a corrosão, já em pH quase neutro e temperatura ambiente é a película de mackinawite que se forma. Também é possível assumir que a precipitação do sulfeto de ferro sólido ocorre quando o produto da concentração de Fe²⁺ e S²⁻ excede o limite de solubilidade de FeS, como o sulfeto de ferro é um filme semiconductor quando combinado com outros filmes não condutores pode formar uma barreira difusora para as

espécies corrosivas passarem através da superfície do metal, porém se o sulfeto de ferro for a única espécie precipitante mesmo com a formação de uma camada grossa do filme por causa da sua condutividade o processo de corrosão não é retardado (KOTEESWARAN, 2010).

A *American Society for Testing Materials* (ASTM, 1999) determina que a taxa de corrosão pode apresentar resultados em termos de corrente elétrica, a conversão dos valores de perda de massa é baseada na lei de Faraday, porém os cálculos podem ser complicados para ligas e metais com elementos apresentam múltiplos valores de valência. Os resultados também podem estar em termos de resistência elétrica para a conversão da perda de massa ou taxa de penetração, algumas informações eletroquímicas adicionais são necessárias.

Dentre os métodos apresentados o fator econômico é essencial para a escolha, qualquer método utilizado deve ser vantajoso economicamente se o custo de manutenção for baixo, daí se faz necessário um balanço econômico para julgar a vantagem das medidas de proteção recomendadas para um determinado equipamento, a solução econômica para esse controle da corrosão portanto é dada por algumas formulas como a de Uhlig que fornece a economia ou prejuízo anual com troca de material (GENTIL, 1996).

O uso de inibidores de corrosão específicos é um dos principais métodos adotados pela indústria para prevenir ou minimizar a corrosão, sendo substâncias orgânicas ou inorgânicas, que quando adicionadas ao meio corrosivo, evitam ou diminuem as reações de corrosão. Ademais, os inibidores de corrosão podem atuar reprimindo reações anódicas (inibidores anódicos), reprimindo reações catódicas (inibidores catódicos) ou ambas (inibidores mistos) (SOUZA, 2012).

Os inibidores anódicos ajudam na reação de passivação da superfície da liga metálica, reprimindo as reações anódicas, ou seja, retardando ou impedindo a reação do ânodo, formando uma camada que adere sobre o metal. Essa camada é feita da interação do inibidor com o produto de corrosão inicialmente formado, gerando óxidos ou hidróxidos. Já o inibidor de corrosão catódico ajuda a evitar que ocorra a reação catódica da liga metálica. Através de reações com íons metálicos que compõem esse inibidor, devido à alcalinidade, há a formação de espécies insolúveis que se depositam e cobrem a superfície metálica, preferencialmente em regiões catódicas (FERNANDES, 2016).

A adsorção é um fenômeno físico-químico superficial, de adesão das moléculas de uma fase gasosa ou líquida em uma superfície sólida. A força de atração do adsorvente e

do adsorbato é o que causa a fixação na superfície do sólido, dependendo da força de adsorção, pode-se diferenciar dois tipos principais de adsorção: adsorção física e adsorção química. Quando as forças de atração entre o fluido e o adsorvente são fracas, tem-se a adsorção física, ou, fisissorção, que ocorre devido às forças de Van der Waals e é reversível. Já na adsorção química, tem-se a quimissorção, que estabelece ligações químicas entre as espécies do adsorbato e os centros ativos da superfície do adsorvente, e esse tipo de adsorção exibe características de uma reação química. O processo é frequentemente irreversível, o que faz com que na dessorção a substância inicialmente adsorvida sofra mudanças na sua estrutura (CAVALCANTE JR, 1998).

A dessulfurização por adsorção baseia-se na capacidade de um material sólido (adsorvente), inicialmente livre do composto, adsorver seletivamente compostos sulfurados presentes na corrente no caso a de refino. Existem vários estudos que apresentam adsorventes promissores na remoção de H_2S , vale destacar os carbonos ativados que usualmente apresentaram grande eficiência em processos de purificação, além de apresentar a vantagem de poder ser obtido a partir de diversos materiais. No entanto, ao conhecer as reações de adsorção física e química, faz-se necessário conhecer uma característica importante dos adsorventes que é a regenerabilidade (MENEZES, 2017).

Dependendo do nível de interação adsorbato-adsorvente, a reversibilidade do processo de adsorção pode ser de maior ou menor intensidade. A possibilidade de reutilizar o adsorvente é essencial pois está associada diretamente ao custo do processo e pode ser um fator decisivo (MENEZES, 2017).

Sequestrantes de H_2S podem ser caracterizados como qualquer produto químico que possa reagir com uma ou mais espécies de sulfeto e possa convertê-lo em uma forma inerte, devendo reagir favoravelmente com o H_2S para gerar produtos menos tóxicos. Existem algumas características que definem um bom sequestrante como quando sua reação é rápida, completa e previsível com o produto da reação permanecendo inerte sob todas as condições, o sequestrante também deve ocorrer em qualquer ambiente químico e físico além de ser amplamente disponível e economicamente viável, entre outras características (SOUZA, 2012).

Os sequestrantes líquidos mais utilizados são as aminas, os nitritos e as triazinas, sendo que os últimos dominam o mercado, tendo base em estudos de viabilidade econômica os autores concluem que, embora o custo operacional dos sequestrantes

líquidos seja alto, ele é compensado, em certa medida, por um custo relativamente baixo em equipamentos. Entretanto, os sequestrantes líquidos não são economicamente viáveis acima de aproximadamente 50 kg de H_2S por dia (SOUZA, 2012).

Algumas medidas de prevenção e monitoramento são utilizadas em processos contendo o sulfeto de hidrogênio, especificações como a ISO 8819:1993 que fala sobre a detecção do H_2S em gases liquefeitos de petróleo é um exemplo, assim como os revestimentos anticorrosivos dos equipamentos. As ações dos revestimentos podem ser explicadas devido a formação de películas de óxidos, hidróxidos e outros compostos pela reação de metais como alumínio, cromo, níquel e zinco com os oxidantes do meio corrosivo. O revestimento também pode ser metálico sendo constituído de partículas de metal líquido aplicado sobre a superfície limpa e rugosa do aço. As propostas comerciais para revestimentos compósitos garantem boa estabilidade dimensional numa alta faixa de temperatura, maior durabilidade, alta força dielétrica e baixa permeabilidade, porém o desempenho desses revestimentos ainda não é bem caracterizado (FRAUCHES-SANTOS et al., 2014).

A corrosão pode ser evitada através de técnicas de modificação do meio corrosivo onde a alteração do meio é feita através do controle do pH e a desaeração. O controle de pH visa favorecer a passivação dos metais, o que ocorre com o pH ligeiramente básico já a desaeração consiste na retirada de oxigênio do meio, sendo este um agente despolarizante, com a sua retirada favorecendo a polarização catódica com a consequente diminuição da intensidade do processo corrosivo. Os processos de retirada de oxigênio podem ser químicos ou mecânicos. O processo químico é realizado pelos agentes sequestradores de oxigênio, enquanto que a retirada através do processo mecânico é feita com a desaeração por arraste do oxigênio por outro gás (SANTOS et al., 2014).

Nos campos onde existe a presença de sulfeto de hidrogênio há a necessidade de eliminação do gás para a redução dos índices de acidentes e riscos ocupacionais no trabalho beneficiando o meio ambiente e também economicamente o processo a ser tratado. Portanto, entender sobre seu processo de formação e suas propriedades em algumas áreas da indústria é extremamente vantajoso.

O objetivo geral do estudo é identificar as propriedades do sulfeto de hidrogênio, sua ação corrosiva no aço, além dos métodos de tratamento existentes para a mitigação dos seus efeitos. Além disso, também apresentar o sulfeto de hidrogênio e suas propriedades, apontando a influência do mesmo na corrosão de equipamentos e suas

possíveis consequências, bem como expor estudos que visam diminuir os danos causados pelo H_2S . Portanto em decorrência dos diversos riscos da presença do sulfeto de hidrogênio em certas áreas é necessário um estudo completo e embasado em pesquisas científicas que poderão então contribuir com informações coesas, claras e importantes para a comunidade acadêmica e científica. Com o presente estudo é possível o desenvolvimento de metodologias, novas tecnologias, novos estudos e sistemas de gestão para o controle e remoção do sulfeto de hidrogênio quando produzido de forma indesejada durante os processos.

2. METODOLOGIA

Para conduzir esta revisão bibliográfica, adotou-se uma abordagem baseada em critérios pré-definidos para seleção e análise das fontes. Inicialmente, realizou-se uma busca em bases de dados científicas (Scopus, Web of Science e SciELO) utilizando combinações de palavras-chave como "hydrogen sulfide corrosion", "sulfide stress cracking" e " H_2S in steel industry". Foram incluídos artigos publicados entre 2010 e 2024, priorizando estudos experimentais, revisões teóricas e casos industriais relevantes. Os trabalhos selecionados foram categorizados em três eixos temáticos: mecanismos de corrosão, fatores influenciadores (pH, concentração de H_2S , temperatura) e estratégias de mitigação. A análise crítica considerou a consistência dos resultados, metodologias empregadas e aplicabilidade industrial. Dados conflitantes foram confrontados, destacando lacunas no conhecimento. Adicionalmente, consultou-se normas técnicas (NACE, ISO) e relatórios de setores petrolíferos para contextualizar as implicações práticas. Por fim, sintetizaram-se as tendências atuais e perspectivas futuras, visando subsidiar novas pesquisas e soluções para o problema.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diversos efeitos na saúde foram observados em seres humanos após a exposição ao sulfeto de hidrogênio, incluindo morte, doenças respiratórias, oculares, neurológicas, efeitos cardiovasculares, metabólicos e reprodutivos. Na Tabela 2 pode-se observar alguns desses efeitos a várias concentrações do H_2S (SILVA FILHO, 2009).

Tabela 2 – Efeitos na saúde humana em várias concentrações de sulfeto de hidrogênio.

Exposição (mg/m3)	Efeitos	Referência
0.011	Começo do odor	Amoore & Hautala, 1983
2.8	Bronco constrição em indivíduos asmáticos	Jappinen et al., 1990
5.0	Aumento das queixas oculares	Vanhoorne et al., 1995
7 or 14	Aumento da concentração de lactato no sangue, diminuição do esqueleto citrato sintase na atividade muscular, diminuição da captação de oxigênio.	Bhambhani & Singh, 1991; Bhambhani et al., 1996b, 1997
5-29	Irritação ocular	IPCS, 1981
28	Fadiga, perda de apetite, dor de cabeça, irritabilidade, perda de memória, tontura.	Ahlhorg, 1951
>140	Paralisia olfativa	Hirsch & Zavala, 1999
>560	Dificuldade respiratória	Spolyar, 1951
≥700	Morte	Beauchamp et al., 1984

Fonte: World Health Organization (2003, p. 14).

Vários acidentes em que houve participação do sulfeto do hidrogênio já foram registrados evidenciando a gravidade da sua ação principalmente no ser humano, a tabela abaixo traz alguns registros de acidentes na indústria em que houve vazamento do H₂S conforma apresenta a Tabela 3 (WHO, 2003).

Tabela 3 – Acidentes com sulfeto de hidrogênio.

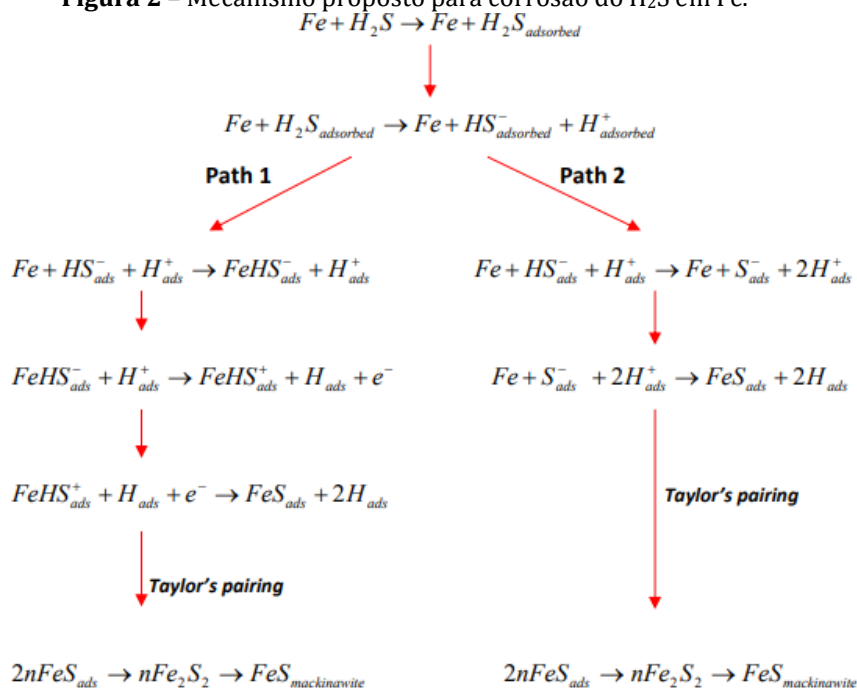
Local/Data	Descrição resumida dos acidentes	Intoxicações	Mortes
Poza Rica,México, 1950	Falha operacional em planta de remoção de H ₂ S em gás natural.	320	22
Texas, USA,1969	Vazamento em refinaria de petróleo.	6	3
Maine, USA, 02/04/1971	Transferência de solução de sulfito de sódio para um tanque de ácido crômico	-	6
Chicago, USA, 14/02/1978	Vazamento originário da reação de sulfito com solução de ácido crômico.	6	3
Genova, Itália, 19/08/1978	Vazamento originário da reação do sulfito com solução de ácido crômico.	29	8
Texas, USA,1979	Vazamento em refinaria de petróleo.	10	2
Rajasthan, Índia, 28/10/1984	Vazamento em planta de água pesada em usina nuclear	3	1
Texas, USA, 20/02/1989	Vazamento de petróleo bruto em parque de tanque.	30	-

Memphis, USA 26/10/1999	Vazamento ocorrido durante manutenção de rotina em refinaria de petróleo.	11	-
Whitehall, MI, USA, 29/06/1999	Vazamento de gás durante transporte e descarga de produtos químicos	1	1
Dalian, China 29/12/1999	Vazamento em fábrica de produtos químicos.	11	4
Alberta, Canadá 30/10/2000	Vazamento de gás durante a manutenção de válvula de um gasoduto	13	-
Ufa, Rússia, 24/11/2000	Vazamento em fábrica de ácido sulfúrico	9	3

Fonte: Mainier (2001, p. 18).

Segundo Sun, Marquez e Botte (2010), a dissolução do aço em meio aquoso contendo H_2S também é um mecanismo complexo e difícil de ser determinado, porém propôs o seguinte mecanismo baseado na formação do filme de mackinawite como demonstra a Figura 2.

Figura 2 – Mecanismo proposto para corrosão do H_2S em Fe.



Fonte: Sun, Marquez e Botte (2010).

A viabilidade desse mecanismo foi avaliada utilizando-se de química computacional sendo que as estruturas das moléculas envolvidas nos dois caminhos diferentes foram otimizadas na fase gasosa a 0 K e 1atm. Gaussian 98 foi o primeiro

software de cálculos de princípio utilizado para os cálculos e os B3LYP e 6-311 + G (d) foram o método e as bases de conjunto utilizados para os cálculos, respectivamente. A análise de frequência das estruturas otimizadas foi realizada para determinar a natureza do ponto estacionário encontrado e calcular a termoquímica das moléculas (MARQUEZ; BOTTE, 2010).

Tabela 4 – Valores adotados no cálculo da taxa de corrosão.

Grandezas	Valor	Unidade
CR		mm/yr
icor		$\mu\text{A}/\text{cm}^2$
K1	3.27×10^{-3}	$\text{g}/\mu\text{A cm}$
K2	8.954×10^{-3}	$\text{g cm}^2 / \mu\text{A m}^2 \text{ d}$
MR		$\text{g}/\text{m}^2\text{d}$
ρ		g/cm^3
EW		Não possui dimensão.

Fonte: American Society for Testing Materials (1999, p.3).

Outros valores para K1 e K2 para diferentes unidades são apresentados na tabela 5.

Tabela 5– Valores das constantes para equação de Faraday.

Unidade de taxa de penetração (CR)	A			
	Unidade Icor	Unidade ρ	K1	Unidades de K1 ^A
	μA/cm ²	g/cm ³	0.1288	mpy g/μA cm
	A/m ² ^B	kg/m ³ ^B	327.2	mm kg/A m y
	c	g/cm ³	3.27×10 ⁻³	mm g/μA cm y
Unidade de taxa de perda de massa	B			
	Unidade Icor	K2	Unidades de K2 ^A	
	A/m ² ^B	0.8953	g/Ad	
	μA/cm ²	0,0895	mg cm ² /μA dm ² d	
	A/m ² ^B	8.953×10 ⁻³	mg m ² /A dm ² d	
	Assume-se que ^A EW é adimensional.			
	Unidade ^B SI.			

Fonte: Sun, Marquez e Botte (2010).

Devido suas características corrosivas e tóxicas o H₂S deve ser removido dos

processos em que há a sua formação de maneira excessiva ou indesejada, os métodos de remoção do sulfeto de hidrogênio são apresentados na tabela 6.

Tabela 6 – Princípios de tratamento de H₂S e seus respectivos sistemas.

Princípio	Processo
Físico	Adsorção
	Lavadores com água pura
	Membranas seletivas
	Separação criogênica
Químico	Absorção com substâncias químicas
	Oxidação térmica
	Oxidação catalítica
	Ozonização
Biológico	Biofiltro
	Biopercolador
	Biolavador
	Tratamento com lodo ativado

Fonte: Silva (2008).

Existem várias tecnologias que são empregadas em diferentes áreas de atuação para a remoção do H₂S, para a seleção da tecnologia adequada devem-se levar em conta as condições de concentração, vazão e temperatura em que o gás residual é emitido, e a capacidade de tratamento desejada. Um resumo de algumas dessas tecnologias é apresentado no Quadro 2 e Quadro 3 (SZARBLEWSKI; SCHNEIDER; MACHADO, 2012).

Quadro 2 – Principais tecnologias para o tratamento do H₂S.

MÉTODO		DESCRIÇÃO
	FUNDAMENTO	Tal processo consiste na combustão de parte da corrente rica em sulfeto de hidrogênio, liberada no processo “Alcanolamina”, com um terço da quantidade estequiométrica de ar necessária. O SO ₂ resultante dessa queima reage com o H ₂ S restante, na presença de um catalisador de alumina, a fim de se produzir S°. $2\text{H}_2\text{S}(\text{g}) + \text{SO}_2(\text{g}) \rightarrow 3\text{S}^\circ(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}$

PROCESSO DE CLAUS	VANTAGENS	Obtenção de um produto (S°) com interesse de mercado; recuperação de enxofre de 93 a 95%; pequeno impacto ambiental quando acoplado com uma unidade de tratamento de gases residuais; baixo consumo de produtos químicos;
	DESVANTAGENS	Este processo se torna viável em locais com quantidades de remoção acima de 50 ton./dia enxofre; alto custo de instalação;
	REFERÊNCIAS	GUIMARÃES, 2006 LI, 2008 OPRIME, 2001
ABSORÇÃO(LAVADORES)	FUNDAMENTO	Processo físico baseado na transferência dos poluentes presentes no gás residual para uma fase líquida não-volátil. Trata-se de um dispositivo no qual se realiza a separação de um poluente gasoso por Intermédio da lavagem do mesmo com água que na maioria dos casos é nebulizada para formar pequenas gotículas. A fase líquida contaminada resultante é usualmente tratada biologicamente e recirculada para o lavador.
	VANTAGENS	Custos de capital moderados; custos operacionais moderados; fácil operação; podem operar com a presença de material particulado na corrente gasosa; absorve H ₂ S e CO ₂ ; ocupa pouco espaço;
	DESVANTAGENS	Os poluentes são transferidos para uma nova fase ao invés de serem destruídos; somente aplicável para correntes gasosas moderadamente contaminadas; não remove a maioria dos compostos orgânicos voláteis; gasta uma quantidade significativa de água.
	REFERÊNCIAS	REIJENGA et al., 2008

Fonte: Szarblewski, Schneider e Machado (2012).

O processo de Claus como apresentado no Quadro 2 chega a ter 95% de eficiência na retirada do enxofre, porém seu custo de instalação é alto o que torna o tratamento por absorção mais viável mesmo que ao invés de serem destruídos os poluentes são transferidos para uma nova fase já que seu custo operacional é mais barato.

Dentre os métodos apresentados o fator econômico é essencial para a escolha, qualquer método utilizado deve ser vantajoso economicamente se o custo de manutenção for baixo, daí se faz necessário um balanço econômico para julgar a vantagem das medidas de proteção recomendadas para um determinado equipamento, a solução econômica para esse controle da corrosão portanto é dada por algumas formulas como a de Uhlig que fornece a economia ou prejuízo anual com troca de material (GENTIL, 1996).

Quadro 3 – Principais tecnologias para o tratamento do H₂S.

MÉTODO		DESCRIÇÃO
ADSORÇÃO	FUNDAMENTO	Refere-se ao processo em que as moléculas de compostos orgânicos voláteis entram em contato com a superfície de um adsorvente sólido e se ligam via forças moleculares fracas (Van der Waals). Existem vários meios de adsorção para a remoção de H ₂ S, incluindo carvão ativado, óxido de ferro, e sílica gel
	VANTAGENS	Custos de capital moderados; mecanicamente simples; ocupam pequena área (devido à grande área de superfície dos adsorventes, e baixo tempo de retenção do gás); estável e de desempenho elevado e confiável;
	DESVANTAGENS	Os poluentes são transferidos para uma nova fase ao invés de serem destruídos; custos operacionais muito elevados (substituição/regeneração do carvão ativado); gera corrente secundária de resíduo (carvão não regenerável); Não é seletivo.
	REFERÊNCIAS	FISCHER, 2010. KLINKENBIJL et al 1999 LI, 2008.
SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS	FUNDAMENTO	Baseia-se na diferença do tamanho de partícula ou afinidade que certas moléculas possuem em relação a materiais poliméricos (permeação seletiva). A força motriz do presente processo é uma diferença de pressão entre os gases. A taxa de permeação é determinada pelo produto de um coeficiente de solubilidade e um coeficiente de difusão. Moléculas menores são altamente solúveis e permeiam pela membrana mais rápido do que moléculas grandes
	VANTAGENS	Baixo custo de manutenção (sem partes móveis); Baixas exigências de energia; Baixa implementação; Simples para ampliação; Tecnologia em desenvolvimento.
	DESVANTAGENS	As membranas têm custo elevado; Membranas podem ser facilmente contaminadas por suspensões presentes no gás a ser tratado; Alguns solventes podem degradar a membrana;
	REFERÊNCIAS	AMARAL, 2009 REIJENGA et al., 2008

Fonte: Szarblewski, Schneider e Machado (2012).

Como demonstrado existem diversos métodos para a remoção do H₂S do processo em que ele está inserido, no entanto é difícil encontrar um método barato e de alta eficácia, por isso a pesquisa frequente para a melhoria desses métodos e o desenvolvimento de novas tecnologias se faz necessária.

5. CONCLUSÃO

A presença do sulfeto de hidrogênio em processos industriais ou sua formação de forma natural é um marco antigo e que não era totalmente compreendido, devido aos avanços tecnológicos ao longo do tempo é possível entender suas características e propriedades. Possuindo ação corrosiva, pode acarretar em acidentes graves quando não há um monitoramento adequado e é tóxico tanto para seres humanos quanto para animais, o que pode implicar em impactos negativos para o meio ambiente.

A corrosão causada pela presença do H_2S pode ocorrer de diversas maneiras o que torna o seu processo de compreensão complexo e pouco previsível tornando-se um dos principais focos de discussão por aqueles que temem sua ação e formação, já que os possíveis acidentes podem trazer sérios riscos a segurança humana e ambiental.

Diante de tais discussões diversos meios de tratamento, inibição e exclusão do sulfeto de hidrogênio foram desenvolvidos utilizando-se de métodos diferentes, alguns mais vantajosos que outros ou específicos para determinadas áreas, porém todos apresentam um certo nível de contentamento.

O estudo sobre o desdobramento e o processo de formação do sulfeto de hidrogênio é fundamental para a compreensão desse fenômeno, para todos os problemas apresentados, foram observadas soluções cabíveis, porém existe a necessidade de estudos mais profundos e específicos sobre a ação corrosiva do H_2S em setores industriais mais específicos que apresentam escassez de informação para o desenvolvimento de novas tecnologias que possam se adaptar ao processo.

REFERÊNCIAS

ASTM, *American Society for Testing Materials*. **G 102 - 89: Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements**, Philadelphia, 1999.

CAVALCANTE JR, C. L. **Separação de misturas por adsorção: dos fundamentos ao processamento em escala comercial**. 1998. 188 f. Tese submetida ao concurso público para Professor Titular do Departamento de Engenharia Química da UFC – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1998.

FERNANDES, C. M. **Avaliação da eficiência de inibidor de corrosão na presença de inibidores de incrustação e sequestrantes de H_2S** . 2016. 62 f. Monografia (Especialização) - Curso de Química Industrial, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016.

GENTIL, V. **Corrosão**. 3. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 1996. 370 p.

KOTEESWARAN, M. **CO₂ and H₂S Corrosion in Oil Pipelines**. 2010. 79 f. Tese (Doutorado) - Curso de Masters Of Science In Environmental Technology/Water Science, University Of Stavanger, Stavanger, 2010.

LADINO, D. H.; FALLEIROS, N. A. TRINCAMENTO INDUZIDO POR HIDROGÊNIO EM AÇOS MICROLIGADOS. **Tecnologia em Metalurgia Materiais e Mineração**, v. 12, n. 1, p.82-93, 2015.

MAINIER, F. B.; SANDRES, G. C.; TAVARES, S. S. M. **Corrosão por sulfeto de hidrogênio (H₂S) e suas implicações no meio ambiente e na segurança industrial**. In: 8º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica, p.2, Cusco, 23 a 25 de out, 2007, Cusco, Peru. 8º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica, p.2, Cusco, 23 a 25 de outubro, 2007. Lima, Peru: Pont. Universid del Peru, 2007.

MAINIER, F. B. **Os Acidentes Químicos: Um alerta as disciplinas de processos industriais**. In: XXIX Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Porto Alegre, 19 a 22 de dezembro, 2001, Niterói, Rio de Janeiro. XXIX Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Porto Alegre, 19 a 22 de dezembro, 2001. Porto Alegre, Rio Grande do Sul: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS, 2001.

MAINIER, F.B. & RODRIGUEZ, M.R. **H₂S: um problema de corrosão, segurança, meio ambiente ou uma fonte de enxofre de alta pureza**. Anais: 5º Congresso Brasileiro de Petróleo, Instituto Brasileiro de Petróleo, 16 a 20 de outubro, Rio de Janeiro, 12p, 1994.

MENEZES, R. L. C. B. **ESTUDO DO DESEMPENHO DE CARBONOS ATIVADOS PARA A REMOÇÃO DE H₂S DO BIOGÁS**. 2017. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.
MOURA, H. M. **Química Inorgânica**. 1. Londrina: Ed. Editora e Distribuidora Educacional S.A, 2018.

MURSALOV, N. I. Characteristic and Mechanism of Hydrogen Sulfide Corrosion of Steel. **Processes Of Petrochemistry And Oil Refining**. Baku, p. 215-228. jul. 2007.
SANTOS, C. F. et al. The Corrosion and the Anticorrosion Agents. **Revista Virtual de Química**, [s.l.], v. 6, n. 2, p.293-309, abr. 2014.

SELLEY, R. C.; SONNENBERG, Stephen A. **Geologia do Petróleo**. 3. ed. [S. l.]: Elsevier, 2016.

SILVA FILHO, L. F. **Avaliação da Remoção de Sulfeto de Hidrogênio do Gás Natural em uma Coluna de Absorção**. 2009. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Química, Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo - Prh-14, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

SOUZA, V. M. **Estudo de Sequestrantes de H₂S para Sistemas de Produção de Óleo e Gás**. 2012. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

STWERTKA A. **A guide to the elements**. Oxford: Oxford University Press, 2002. 246p.
SUN, W.; MARQUEZ, A. I.; Botte, G. G. **Theoretical Investigation of H₂S Corrosion of Mild Steel**. Institute of Corrosion and Multiphase Technology, 2010.

SZARBLEWSKI, M. S.; SCHNEIDER, R. C. S; MACHADO, E. L. MÉTODOS PARA A REMOÇÃO DE SULFETO DE HIDROGÊNIO DE EFLUENTES GASOSOS APLICÁVEIS A REATORES ANAERÓBIOS. **Revista Jovens Pesquisadores**, Santa Cruz do Su, v. 1, n. 2237-048, p.62-74, jun. 2012.

WHO, *World Health Organization*. **Hydrogen Sulfide: Human Health Aspects**. Geneva, *World Health Organization*, 20

CAPÍTULO XXV

DESEMPENHO DE TURBINAS EÓLICAS EM BAIXAS VELOCIDADES: AVALIAÇÃO DO COEFICIENTE DE POTÊNCIA EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE PÁS

**Larissa Gonçalves Colpo
Silvana Maldaner**

DOI: 10.5281/zenodo.17307668

1. INTRODUÇÃO

A geração de energia e a crescente preocupação com a finitude dos combustíveis fósseis e as emissões de gases de efeito estufa tornaram o investimento em fontes renováveis indispensável. No cenário atual, a transição para essas fontes é inevitável. Nesse contexto, a energia eólica figura como uma solução energética estratégica e ambientalmente responsável, destacando-se por seu alto potencial de geração limpa em meio à transição para uma matriz sustentável (FIORE e SELIG, 2015). Além disso, estudos também destacam a complementaridade sazonal entre os regimes hidrológico e eólico no

Brasil. Essa relação de interdependência reforça a viabilidade da energia eólica na matriz energética nacional (LIMA, 2022).

Assim, neste trabalho analisa-se a influência da geometria e do número de pás (3 e 5) no coeficiente de potência dos aerogeradores. Essa análise considera o Limite de Betz, que define a máxima eficiência teórica para conversão de energia eólica.

Para este estudo, empregou-se o software QBlade para realizar as simulações numéricas. As análises focaram no coeficiente de potência de aerogeradores de pequeno porte, avaliando dois perfis aerodinâmicos NACA 6409 e NACA 2414 e duas configurações de pás (3 e 5). Nas simulações, estabeleceram-se condições controladas: velocidade do vento constante, densidade do ar e número de Reynolds fixos, permitindo identificar a configuração mais eficiente para baixas velocidades de vento.

Dessa forma, o presente estudo busca melhorar o desempenho de turbinas eólicas de pequeno porte, evidenciando como a seleção adequada de parâmetros aerodinâmicos influencia sua eficiência energética. Esse objetivo está alinhado com diversas pesquisas, entre as quais se destaca a de Diniz Neto (2021), que reforça a necessidade de estudos contínuos na área, abordando aspectos como a otimização de perfis aerodinâmicos e o aprimoramento das tecnologias aplicadas em aerogeradores.

2. METODOLOGIA

A metodologia adotada abrangeu duas etapas principais: a seleção de perfis aerodinâmicos para baixa velocidade e a simulação no QBlade para analisar o comportamento do coeficiente de potência. Após diversas leituras baseadas em buscas no Google Acadêmico, observou-se muitos trabalhos envolvendo aerogeradores utilizando os perfis aerodinâmicos NACA 2414 e o NACA 6409. Dentre os trabalhos analisados, um mereceu destaque, pois envolvia estes perfis e empregava o mesmo software proposto para uso neste trabalho: Tokul e Kurt (2023).

Após seleção dos perfis para a criação das pás das turbinas eólicas, selecionou-se parâmetros para inicialização do software Qblade. Para a inicialização das simulações no software Qblade, foram realizadas simulações fluidodinâmicas baseadas no método matemático de elementos de pás e momentos, mais conhecido como BEM. Este método é descrito detalhadamente nos trabalhos de Burton et al. (2011) e Mahmuddin (2017). Ele se baseia na descrição e distribuição das forças aerodinâmicas ao longo da pá.

As equações governantes são as 1 e 2 que representam a força de arrasto e sustentação respectivamente. Além disso, é necessário conhecer o ângulo de ataque e velocidades locais para determinar a resultante das forças de empuxo e torque (equações 5 e 6).

$$F_d = \frac{1}{2} \rho V^2 C_d c \, dr \quad (1)$$

$$F_l = \frac{1}{2} \rho V^2 C_l c \, dr \quad (2)$$

$$V_{rel} = \sqrt{(V_\infty(1 - a))^2 + (\omega r(1 + a'))^2} \quad (3)$$

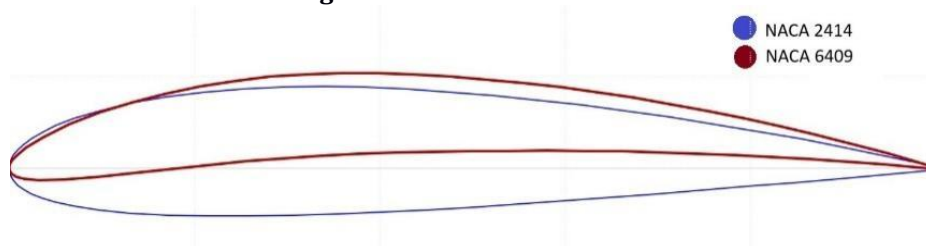
$$\alpha = \theta + \phi \quad (4)$$

$$dT = (F_l \cos \phi + F_d \sin \phi) \, dr \quad (5)$$

$$dQ = r(F_l \sin \phi - F_d \cos \phi) \, dr \quad (6)$$

Nas simulações foram utilizados os perfis aerodinâmicos NACA 6409 e NACA 2414, representados na Figura 1. No Qblade, para realizar as simulações, é necessário informar alguns parâmetros físicos, como o número de Reynolds, a velocidade do vento, a densidade do ar e a viscosidade dinâmica. Os valores dos parâmetros físicos empregados nas simulações são descritos na Tabela 1. Além disso, na etapa de dimensionamento da pá, utilizou-se um diâmetro de rotor de 4,06 m e uma envergadura de 2 m.

Figura 1 – Perfis aerodinâmicos



Fonte: Autora

Tabela 1 – Parâmetros de inicialização

Parâmetro	Valor
Número de Reynolds (Re)	1×10^6
Viscosidade dinâmica (μ)	$1,647 \times 10^{-5} \, \text{m/s}$
Densidade do ar (ρ)	$1,225 \, \text{kg/m}$
Velocidade do vento (V)	$7,5 \, \text{m/s}$
Razão de velocidade na ponta (TSR)	2 - 12
Ângulo de ataque (θ)	$0^\circ - 20^\circ$

Fonte: Autora

Na investigação da otimização do coeficiente de potência do aerogerador, foram realizadas quatro simulações utilizando o software QBlade. Nessas simulações, foram mantidos os perfis aerodinâmicos apresentados na Figura 1, enquanto o número de pás do aerogerador foi alterado entre 3 e 5 pás, respectivamente.

As Figuras 2 e 3 apresentam, na primeira coluna (*Pos*), a discretização da pá em "n" seções. Na segunda coluna (*Chord*), é exibido o comprimento da corda aerodinâmica, variando da raiz até a ponta da pá. A terceira coluna (*Twist*) indica o ângulo de torção ao longo da geometria. Por fim, as duas últimas colunas (*Foil e Polar*) mostram o perfil aerodinâmico utilizado e a polar de arrasto gerada com o número de Reynolds pré-definido na Tabela 1.

Figura 2 – Geometria da pá com perfil NACA 2414

Blade Data					
NACA2414_3PAS			Single Reynolds Number Polars		
3 blades and 0.03 [m] hub radius			✓ Show Blade Root Coordinates		
	Pos [m]	Chord [m]	Twist [deg]	Foil	Polar
1	0.000	0.030	76.180	NACA 2414	NACA_2414_Re1.000_M0....
2	0.100	0.030	51.080	NACA 2414	NACA_2414_Re1.000_M0....
3	0.200	0.109	30.050	NACA 2414	NACA_2414_Re1.000_M0....
4	0.300	0.099	20.360	NACA 2414	NACA_2414_Re1.000_M0....
5	0.400	0.090	14.210	NACA 2414	NACA_2414_Re1.000_M0....
6	0.500	0.082	10.040	NACA 2414	NACA_2414_Re1.000_M0....
7	0.600	0.075	7.060	NACA 2414	NACA_2414_Re1.000_M0....
8	0.700	0.068	4.834	NACA 2414	NACA_2414_Re1.000_M0....
9	0.800	0.062	3.112	NACA 2414	NACA_2414_Re1.000_M0....
10	0.900	0.056	1.744	NACA 2414	NACA_2414_Re1.000_M0....
11	1.000	0.051	0.631	NACA 2414	NACA_2414_Re1.000_M0....
12	1.100	0.049	-0.291	NACA 2414	NACA_2414_Re1.000_M0....
13	1.200	0.044	-1.067	NACA 2414	NACA_2414_Re1.000_M0....
14	1.300	0.040	-1.729	NACA 2414	NACA_2414_Re1.000_M0....
15	1.400	0.036	-2.300	NACA 2414	NACA_2414_Re1.000_M0....
16	1.500	0.033	-2.798	NACA 2414	NACA_2414_Re1.000_M0....
17	1.600	0.030	-3.236	NACA 2414	NACA_2414_Re1.000_M0....
18	1.700	0.027	-3.623	NACA 2414	NACA_2414_Re1.000_M0....
19	1.800	0.025	-3.969	NACA 2414	NACA_2414_Re1.000_M0....
20	1.900	0.023	-4.280	NACA 2414	NACA_2414_Re1.000_M0....
21	2.000	0.020	-4.560	NACA 2414	NACA_2414_Re1.000_M0....

Fonte: Autora

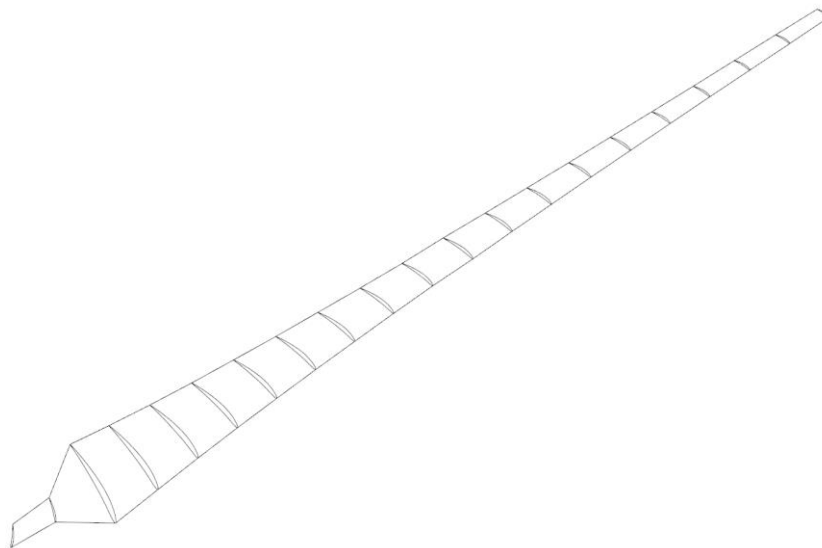
Figura 3 – Geometria da pá com perfil NACA 6409

Blade Data					
NACA6409_3PAS			Single Reynolds Number Polars		
3 blades and 0.03 [m] hub radius			✓ Show Blade Root Coordinates		
	Pos [m]	Chord [m]	Twist [deg]	Foil	Polar
1	0.000	0.030	75.180	NACA 6409	NACA_6409_Re1.000_M0....
2	0.100	0.030	50.080	NACA 6409	NACA_6409_Re1.000_M0....
3	0.200	0.109	29.050	NACA 6409	NACA_6409_Re1.000_M0....
4	0.300	0.099	19.360	NACA 6409	NACA_6409_Re1.000_M0....
5	0.400	0.090	13.209	NACA 6409	NACA_6409_Re1.000_M0....
6	0.500	0.082	9.040	NACA 6409	NACA_6409_Re1.000_M0....
7	0.600	0.075	6.060	NACA 6409	NACA_6409_Re1.000_M0....
8	0.700	0.068	3.834	NACA 6409	NACA_6409_Re1.000_M0....
9	0.800	0.062	2.112	NACA 6409	NACA_6409_Re1.000_M0....
10	0.900	0.056	0.744	NACA 6409	NACA_6409_Re1.000_M0....
11	1.000	0.051	-0.369	NACA 6409	NACA_6409_Re1.000_M0....
12	1.100	0.049	-1.290	NACA 6409	NACA_6409_Re1.000_M0....
13	1.200	0.044	-2.070	NACA 6409	NACA_6409_Re1.000_M0....
14	1.300	0.040	-2.730	NACA 6409	NACA_6409_Re1.000_M0....
15	1.400	0.036	-3.300	NACA 6409	NACA_6409_Re1.000_M0....
16	1.500	0.033	-3.798	NACA 6409	NACA_6409_Re1.000_M0....
17	1.600	0.030	-4.236	NACA 6409	NACA_6409_Re1.000_M0....
18	1.700	0.027	-4.620	NACA 6409	NACA_6409_Re1.000_M0....
19	1.800	0.025	-4.970	NACA 6409	NACA_6409_Re1.000_M0....
20	1.900	0.023	-5.280	NACA 6409	NACA_6409_Re1.000_M0....
21	2.000	0.020	-5.560	NACA 6409	NACA_6409_Re1.000_M0....

Fonte: Autora

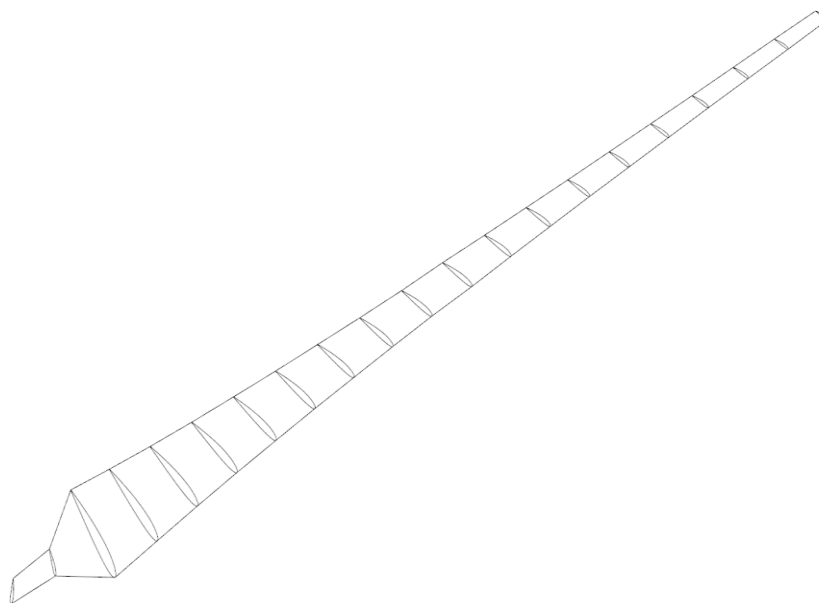
Ambas as geometrias se mantiveram constantes para a variação do número de pás do rotor de 3 e 5 pás das figuras 6 e 7.

Figura 4 – Configuração da pá eólica - NACA 6409



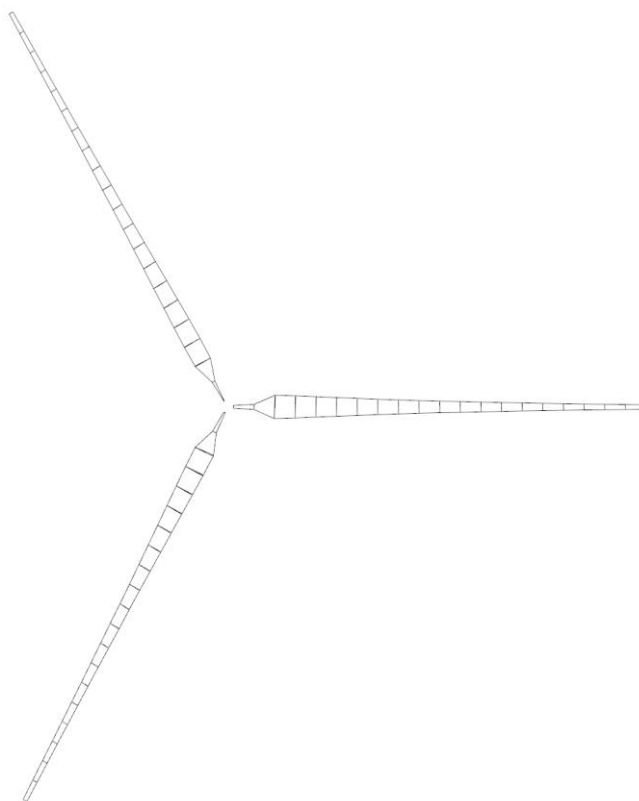
Fonte: Autora

Figura 5 – Configuração da pá eólica - NACA 2414



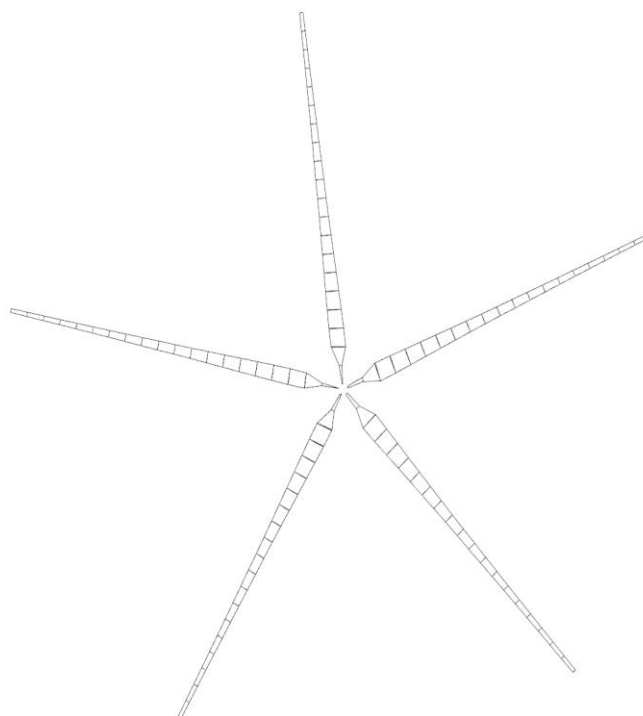
Fonte: Autora

Figura 6 – Configuração da turbina com 3 pás



Fonte: Autora

Figura 7 – Configuração da turbina com 5 pás



Fonte: Autora

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do coeficiente de potência das simulações computacionais para os perfis aerodinâmicos NACA 2414 e NACA 6409 são apresentados nas Figuras 8 e 9. Comparando os resultados apresentados nestas figuras, constata-se que as turbinas com 5 pás apresentam um coeficiente de potência superior, resultando em maior eficiência global do sistema. Esse desempenho ocorre devido à maximização da extração de energia em uma faixa menor de TSR.

O perfil aerodinâmico NACA 2414 destaca-se como uma excelente opção para implementação em projetos de turbinas eólicas de pequeno porte devido à sua ampla faixa de valores ótimos de coeficiente de potência, variando entre 0,3 e 0,5, em uma faixa de TSR de aproximadamente 5 a 11. Essa característica evidencia a capacidade do perfil de manter um desempenho elevado em diferentes condições operacionais, o que é crucial para turbinas localizadas em regiões com ventos moderados e variações sazonais. Esses valores de coeficiente de potência são notavelmente altos, considerando o Limite de Betz, cujo máximo teórico de 0,59 para o aproveitamento da energia do vento. Esse limite teórico, amplamente aceito na literatura, define um parâmetro de referência que ajuda a contextualizar o desempenho das turbinas simuladas neste trabalho.

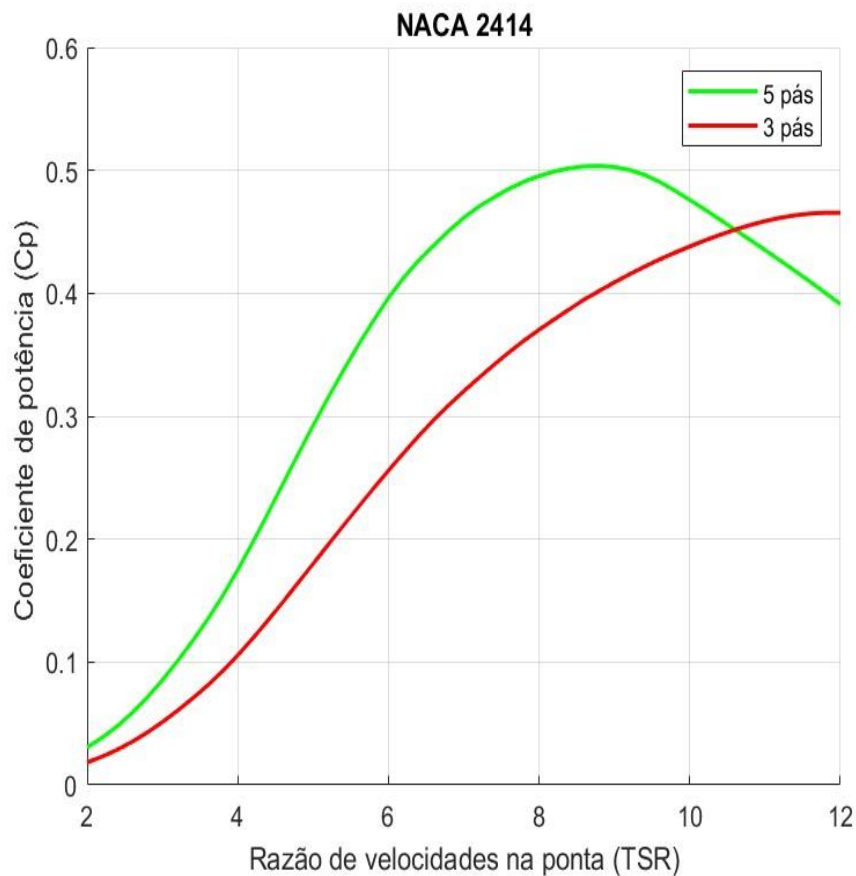
Entretanto, os resultados também indicam que, para razões de TSR superiores a 10,6, o ganho de potência proporcionado pelo aumento no número de pás torna-se irrelevante. Isso ocorre porque, em condições de TSR elevado, as forças aerodinâmicas de arrasto começam a predominar sobre a sustentação, limitando o aumento de eficiência. Assim, configurações com mais pás, embora favoreçam a eficiência em TSR menores, perdem sua vantagem em velocidades mais altas de rotação.

O perfil NACA 2414 alcançou um coeficiente de potência máximo de 0,5036, aproximadamente 7,5 % superior ao máximo obtido pela turbina com 3 pás em um TSR mais elevado. Esse resultado não apenas demonstra a eficácia do perfil NACA 2414, mas também evidencia a influência significativa do número de pás na eficiência global do aerogerador, especialmente em condições de baixa velocidade de vento. A configuração com 5 pás proporciona maior captura de energia em um intervalo mais amplo de TSR, o que a torna especialmente indicada para projetos de pequeno porte onde a variabilidade do vento pode ser um fator limitante.

Por sua vez, ao analisar o gráfico 9, referente ao perfil aerodinâmico NACA 6409 com 5 pás, o coeficiente de potência máximo obtido foi de 0,49, em um TSR ótimo de 7,6. Embora esse valor seja ligeiramente inferior ao alcançado com o NACA 2414, ainda representa um aumento de cerca de 3,7 % em relação ao obtido para a mesma configuração com 3 pás. Esse desempenho reflete a boa adaptação do perfil NACA 6409 a condições moderadas de TSR, sendo uma alternativa viável para aplicações onde o perfil NACA 2414 possa apresentar limitações devido a requisitos específicos do projeto, como menor esforço estrutural.

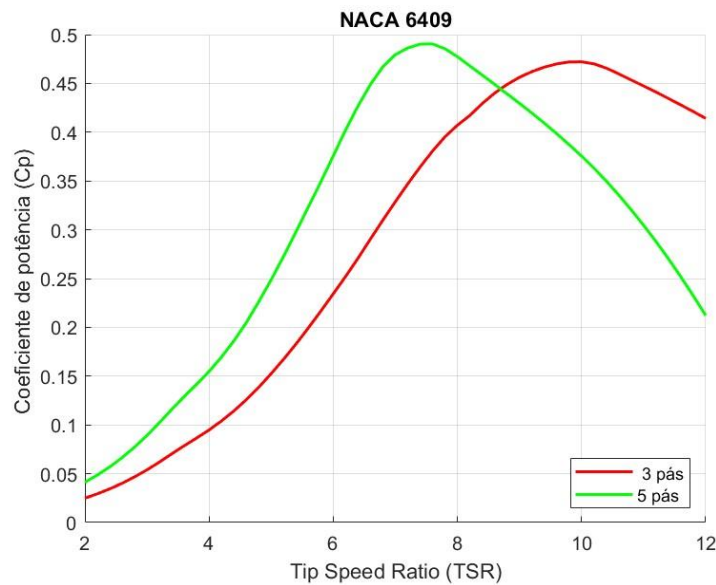
Em resumo, os resultados reforçam a importância de uma escolha criteriosa do perfil aerodinâmico e do número de pás, evidenciando que o equilíbrio entre esses fatores pode levar a ganhos significativos na eficiência energética de turbinas eólicas de pequeno porte. Além disso, a análise detalhada dos coeficientes de potência em diferentes faixas de TSR demonstra a relevância de considerar as condições específicas de operação para maximizar o desempenho do aerogerador.

Figura 3 – Coeficiente de potência x TSR



Fonte: Autora

Figura 3 – Coeficiente de potência x TSR



Fonte: Autora

5. CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise dos resultados das simulações realizadas no software livre QBlade, concluiu-se que a turbina eólica com 5 pás e perfil aerodinâmico NACA 2414 apresentou o melhor desempenho. Essa configuração se mostrou particularmente eficiente em condições de baixas velocidades de vento, evidenciando sua aplicabilidade em regiões com características semelhantes.

Os resultados reforçam a importância de considerar o número de pás e o perfil aerodinâmico como fatores cruciais na otimização de desempenho aerogeradores. O perfil NACA 2414, além de seu desempenho superior em relação ao NACA 6409 nas condições simuladas, destacou-se por sua ampla faixa de valores ótimos de coeficiente de potência. Isso demonstra que a escolha adequada do perfil aerodinâmico pode proporcionar ganhos significativos na eficiência global do sistema, corroborando com os princípios descritos em Burton *et al.* (2011), que enfatizam a relação direta entre o design aerodinâmico das pás e a eficiência energética das turbinas.

Análises futuras devem ser realizadas para avaliar o comportamento da turbina em situações de velocidades do vento variável, com o objetivo de validar e expandir os resultados obtidos neste trabalho. Além disso, a inclusão de fatores como a turbulência e as interações entre as pás, considerando a variação do número de Reynolds, pode

proporcionar uma visão mais abrangente e realista do desempenho da turbina em diferentes condições operacionais. Esses estudos complementares poderão oferecer uma base ainda mais sólida para o desenvolvimento e a implementação de turbinas eólicas de pequeno porte otimizadas para distintos cenários de aplicação.

REFERÊNCIAS

T.; SHARPE, D.; JENBURTON, KINS, N.; BOSSANYI, E. Wind energy handbook. Reino Unido: John Wiley & Sons, 2011.

MANWELL, J. F.; MCGOWAN, J. G.; ROGERS, A. L. Wind energy: theory, design and application. Reino Unido: John Wiley & Sons, 2002.

DINIZ NETO, C. M. *Energia eólica: uma revisão bibliográfica com ênfase na tecnologia dos aerogeradores*. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/45887>. Acesso em: 18 abr. 2025.

TOKUL, A.; KURT, U. Comparative performance analysis of NACA 2414 and NACA 6409 airfoils for horizontal axis small wind turbine. **International Journal of Energy Studies**, v. 8, n. 4, p. 879–898, 22 dez. 2023.

FIORE, Jon M.; SELIG, Michael S. *Airfoil shape optimization for resistance to erosion*. In: **33rd AIAA Applied Aerodynamics Conference**, 2015. Disponível em: <https://m-selig.ae.illinois.edu/pubs/FioreSelig-2015-AIAA-2015-3393-AirfoilShapeOpt-for-Erosion.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2025.

LEDoux, Jeremy; RIFFO, Sebastián; SALOMON, Julien. Analysis of the blade element momentum theory. **SIAM Journal on Applied Mathematics**, v. 81, n. 6, p. 2596-2621, 2021.

LIMA, Wanderley Maragon. Avaliação da complementaridade das usinas hidráulicas e eólicas nas regiões Nordeste e Sul do Brasil considerando os efeitos das mudanças climáticas. Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), 2022. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2022/03/JOSe-WANDERLEY-MARAGON-LIMA.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2025.

MAHMUDDIN, Faisal. Rotor blade performance analysis with blade element momentum theory. **Energy Procedia**, v. 105, p. 1123-1129, 2017.

Agradecimentos e financiamento

Os autores da pesquisa agradecem ao Colégio Técnico Industrial de Santa Maria (CTISM) pelo espaço físico disponibilizado para a realização do trabalho, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

CAPÍTULO XXVI

ENGENHAR(IA): O USO DO CHATGPT NAS PUBLICAÇÕES DE ENGENHARIA

**Lyncoln Santos Jurich
Milena Martinez Albeche
Silvana Maldaner**

DOI: 10.5281/zenodo.17307672

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos dez anos, a inteligência artificial (IA) consolidou-se como uma ferramenta tecnológica capaz de otimizar processos, desde processos industriais até atividades envolvendo a educação. Na indústria, a inteligência artificial (IA) tem sido aplicada para aumentar a eficiência das linhas de produção (WANG,2019; DE OLIVEIRA,2024; PINTO e RODOLPHO,2024). Na área da saúde, algoritmos avançados revolucionaram diagnósticos e tratamentos personalizados (GOMES; MONTANINI; DA ROCHA SOBRINHO, 2024). No campo educacional, plataformas adaptativas e gestão escolar baseadas em IA passaram a fazer parte do cotidiano de quem trabalha com ensino.

Neste cenário, este trabalho propõe quantificar o uso de IA, especificamente ChatGPT, pelas engenharias. Para realizar esta pesquisa quantitativa, realizou-se uma revisão sistemática na base de dados Crossref, utilizando o método de *Web Scraping* para pesquisar os termos "Engenharia" e "ChatGPT". Assim, neste trabalho, propõe-se mensurar a produção científica indexada na Crossref, sem uma análise detalhada sobre as aplicações de IA ou subáreas da engenharia.

2. METODOLOGIA

2.1.1 Plataforma CrossRef

A plataforma de dados CrossRef serve como elo entre o pesquisador e sua área de pesquisa, permitindo o acesso a um acervo de artigos, teses, livros e outras produções científicas, todos devidamente registrados com um DOI (*Digital Object Identifier*).

O Crossref, conforme descrito em seu site oficial, é uma plataforma sem fins lucrativos que tem como objetivo principal facilitar a identificação, citação e acesso à produção científica.

Para Gildenir Carolino Santos, doutor em Biblioteconomia pela UNICAMP, a criação da Crossref foi um marco na história acadêmica. Em entrevista concedida a Tadeu Nunes, ele afirma:

“[...] tornou-se fundamental para a comunidade científica internacional a partir do momento que foi criada. Ela teve como objetivo ajudar na visibilidade e sustentação da publicação na Internet por mantê-la persistente na pesquisa, sem problemas de localização, pois o link persistente a mantinha disponível na rede. As grandes editoras e sociedades comerciais brindaram em relação a isso, e principalmente quem foi beneficiada foi a comunidade acadêmica.” (SANTOS apud NUNES, 2020)

2.1.2 DOI (*Digital Object Identifier*)

Segundo a página oficial da organização não-governamental Fundação DOI, o número DOI é um identificador digital de um objeto. DOIs resolvem um problema comum: manter inventário das coisas, que podem ser materiais, conteúdo ou atividades.

O sistema DOI foi criado para ser usado tanto por humanos quanto máquinas e permite a identificação de conteúdo de modo único e garante o acesso confiável.

2.2 Algoritmo

Para a realização deste trabalho foi desenvolvida uma rotina em Python na API (Interface de Programação de Aplicações) pública do CrossRef. O código foi desenvolvido para automatizar o processo de busca na base de dados, realizando a extração de metadados essenciais como título, nomes dos autores, ano e mês de publicação, além do link de acesso ao artigo via DOI.

A metodologia utilizada para a pesquisa foi uma revisão sistemática automatizada empregando programação em linguagem Python. O algoritmo foi estruturado e subdividido em três partes principais: a requisição dos dados, a filtragem, o tratamento das informações e o armazenamento em arquivo formato “.csv”. O procedimento busca os termos “ChatGPT” no título do texto no período de tempo do mês de janeiro de dois mil e vinte e um ao dia vinte e dois de abril de dois mil e vinte e cinco, data de publicação deste capítulo. Nesta extração de dados obteve-se um retorno de 15.070 artigos.

2.2.1 Requisição de Dados

A busca foi realizada utilizando a biblioteca *requests*, responsável por estabelecer a comunicação com a API do CrossRef. A consulta restringiu-se ao título dos artigos, utilizando a função *query.title*. Em um primeiro momento, foi pesquisado o termo “ChatGPT”. O campo *filter* foi utilizado para restringir os arquivos no período requisitado por ano de publicação – de 2021 à data de escrita deste capítulo (22 de abril de 2025).

O algoritmo funciona de forma semelhante a um usuário humano, acessando os artigos e extraíndo os dados mencionados acima de forma automatizada. Após concluir a coleta dos dados de uma página, o sistema avança automaticamente para a próxima através da demarcação do cursor. Para garantir o cumprimento dos termos e regras da plataforma, foi limitada cada chamada a processar até mil itens por página, repetindo até atingir a totalidade dos artigos encontrados.

2.2.2 Filtragem e o Tratamento das Informações

A filtragem e o tratamento de dados é responsável por receber, interpretar e separar os dados. Estas operações são executadas através do uso da biblioteca em *Python*,

Panda. No algoritmo, após a coleta dos dados ocorre uma triagem, onde o algoritmo busca eliminar duplicatas e artigos que possam causar interferência na pesquisa, eliminando arquivos que tenham títulos ausentes ou inválidos e fazendo novamente um comparativo de repetição com número do DOI.

2.2.3 Armazenamento

Os dados processados são armazenados em uma tabela no formato “csv” e salvos localmente. Adicionalmente, um segundo algoritmo em Python foi criado com a função de acessar a planilha criada anteriormente e filtrar os títulos, dando origem a uma nova tabela com o termo “Engenharia” nos idiomas considerados principais para a área; inglês, mandarim (simplificado e tradicional), espanhol, francês, russo, finlandês, italiano, árabe, coreano e búlgaro.

2.2 Análise de Dados

Os dados foram analisados com base na data de publicação e separados por ano, com a prerrogativa de analisar a evolução de artigos onde o tema central seja o ChatBot da OpenIA em todas as áreas do conhecimento. Posteriormente, analisou-se apenas na engenharia.

Para a visualização dos resultados, adotaram-se representações gráficas distintas. Para análise da evolução temporal das publicações empregou-se gráficos de barras (Figuras 1 e 2). Enquanto que os gráficos de setores (Figura 3) foram utilizados para comparação da proporção de títulos contendo o termo 'Engenharia' nos idiomas citados anteriormente.

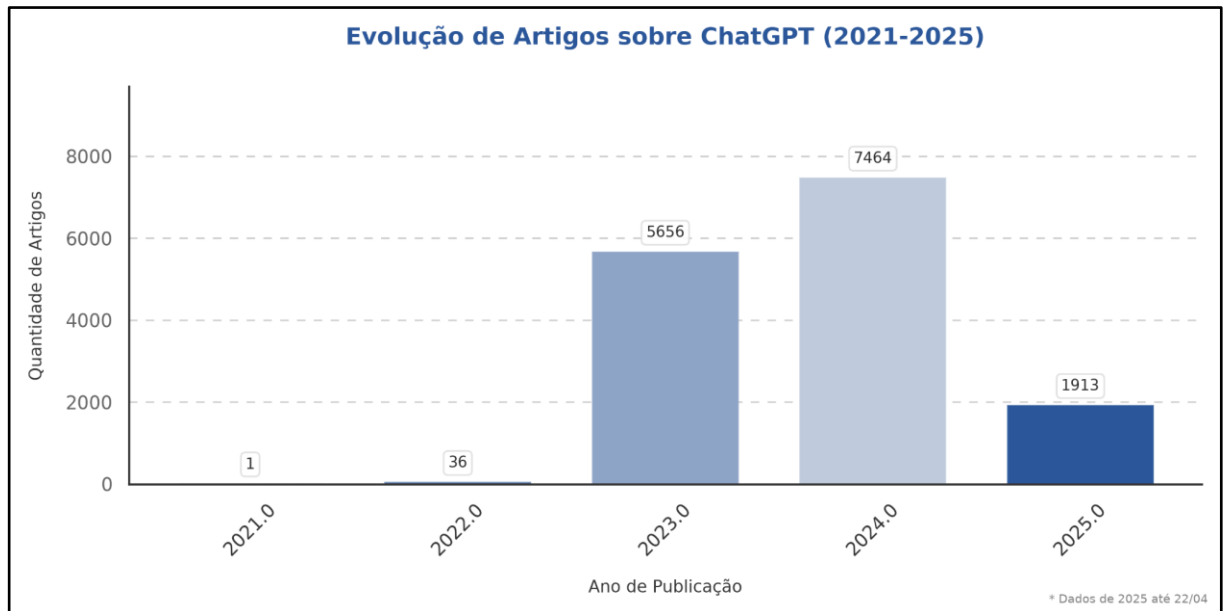
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente trabalho teve como objetivo encontrar padrões nas áreas estudadas, verificar a evolução de crescimento e apontar possíveis perspectivas futuras através de um levantamento de trabalhos acadêmicos focado na inteligência artificial ChatGPT e sua relação com a engenharia a partir de 2021.

Analisando-se as Figuras de 1 a 3, esperava-se um aumento no número de

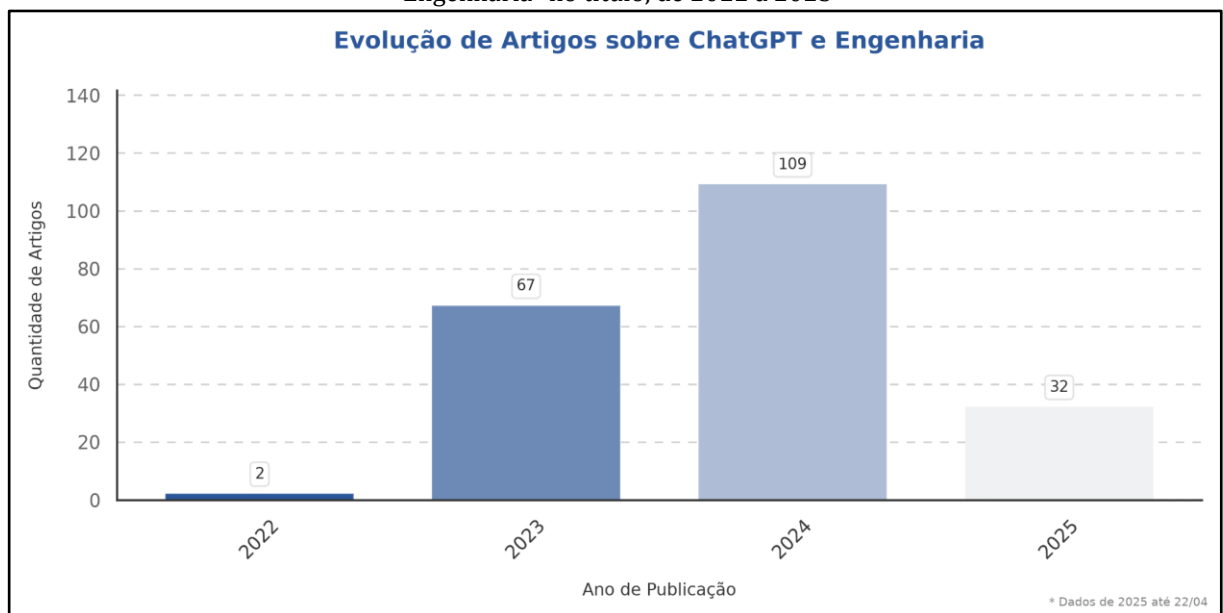
publicações envolvendo o ChatGPT com a popularização da IA, e isso foi observado. Por outro lado, constatou-se que a associação da IA com a engenharia não seguiu o mesmo padrão de crescimento.

Figura 1 - Gráfico demonstrando a quantidade de artigos com o termo “ChatGPT” no título, de 2021 a 2025



Fonte: Autores

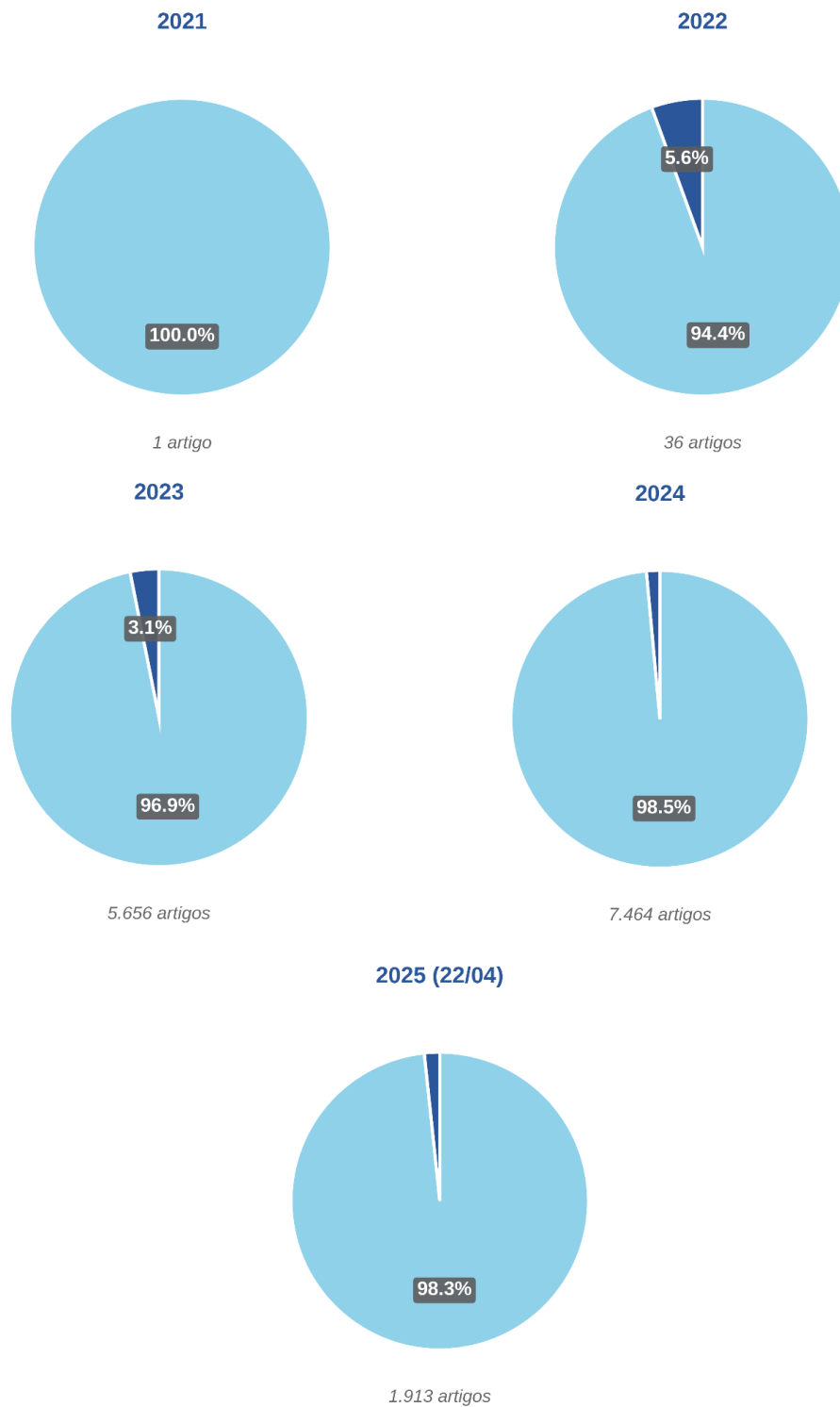
Figura 2 - Gráfico demonstrando a quantidade de artigos por ano utilizando os termos “ChatGPT” e “Engenharia” no título, de 2022 a 2025



Fonte: Autores

Figura 3 - Gráficos representando a comparação entre publicações totais utilizando o termo “ChatGPT” e publicações utilizando o mesmo termo na área da engenharia, de 2021 a 2025

Evolução da Relação ChatGPT-Engenharia (2021-2025)



Fonte: Autores

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, analisou-se o crescimento das publicações relacionadas ao ChatGPT na área da engenharia. Por meio de um script em *Python*, foi possível observar que a produção científica com o termo “ChatGPT” cresceu nos últimos anos. No entanto, quando se analisa a relação entre o termo “ChatGPT” com a engenharia, não se observa este comportamento. Os resultados indicam que, apesar da inteligência artificial estar se tornando tecnológica cotidiana, sua aplicação na engenharia ainda pode ser mais explorada. Conclui-se que o uso da inteligência artificial nas engenharias ainda é um campo a ser explorado com atenção.

REFERÊNCIAS

CROSSREF.ORG. *About.* Disponível em: <https://www.crossref.org/about/>. Acesso em: 22 abr. 2025.

DE OLIVEIRA, Paloma Viary Santana; DE FREITAS SANTOS, Laiza; FERREIRA, Moacir Porto. *Inteligência artificial na automação de processos industriais e seus impactos.* *Revista de Economia Mackenzie*, v. 21, n. 1, p. 162-182, 2024.

DOI.ORG. Disponível em: <https://www.doi.org/>. Acesso em: 25 abr. 2025.

PINTO, Vinicius Gustavo; RODOLPHO, Daniela. *IA na otimização de processos de manufatura.* *Revista Interface Tecnológica*, v. 21, n. 1, p. 884-894, 2024.

GOMES, Sophia Artiaga; MONTANINI, Júlia França; DA ROCHA SOBRINHO, Hermínio Maurício. *O uso da Inteligência Artificial na Medicina: os benefícios e desafios da parceria homem-tecnologia na saúde.* *Revista Eletrônica Acervo Saúde*, v. 24, n. 12, p. e18374-e18374, 2024. DOI: 10.25248/reas.e18374.2024. Disponível em: <https://doi.org/10.25248/reas.e18374.2024>. Acesso em: 22 abr. 2025.

SANTOS, Gildenir Carolino. *Entrevista com Gildenir Carolino Santos.* Entrevista concedida a Tadeu Nunes. *Boletim Técnico do PPEC*, Campinas, SP, v. 5, e020012, 2020. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/ppec/article/view/8661716>. Acesso em: 22 abr. 2025.

WANG, L.; MOGHADDAM, M. *Smart manufacturing and intelligent manufacturing: a comparative review.* *Procedia Manufacturing*, [S.l.], v. 38, p. 764-771, 2019. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.01.095. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.095>. Acesso em: 22 abr. 2025.

AGRADECIMENTOS E FINANCIAMENTO

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo suporte financeiro e incentivo à pesquisa, elementos fundamentais para a concretização deste trabalho.

Ao Colégio Técnico Industrial de Santa Maria (CTISM), instituição vinculada à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), pela infraestrutura, ambiente acadêmico enriquecedor e colaboração técnica, que foram decisivos para o desenvolvimento desta pesquisa.

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), pelo acesso a recursos bibliográficos, laboratoriais e pelo estímulo contínuo à produção científica de excelência.

Aos bolsistas do Laboratório de Instrumentação e Física Aplicada (LIFA), pela dedicação, troca de conhecimentos e contribuições práticas, que enriqueceram significativamente este projeto.

CAPÍTULO XXVII

ENGENHAR(IA): O USO DO CHATGPT NAS PUBLICAÇÕES DE ENGENHARIA

**Lyncoln Santos Jurich
Milena Martinez Albeche
Silvana Maldaner**

DOI: 10.5281/zenodo.17307722

1. INTRODUÇÃO

A crescente busca por alternativas sustentáveis na agricultura tem impulsionado o interesse pelo uso de biofertilizantes, termo que abrange diferentes interpretações na literatura científica, incluindo extratos de algas marinhas, compostos de resíduos urbanos, misturas de microrganismos e fertilizantes minerais enriquecidos com componentes orgânicos (BATISTA, 2018; MACIK, 2020). Esses produtos promovem a biodiversidade do solo, estimulam o crescimento das plantas e reduzem a dependência de fertilizantes sintéticos, contribuindo para a redução da poluição ambiental e a melhoria

das propriedades físico-químicas do solo (SILVA et al., 2012). No contexto brasileiro, o agronegócio representa um setor estratégico para a economia, respondendo por cerca de 21,8% do PIB previsto para 2024 (CEPEA, 2024), enquanto o país ocupa a quarta posição no consumo global de fertilizantes (BRASIL, 2022).

Diante da retração do PIB do agronegócio, a adoção de práticas inovadoras e sustentáveis, como a biotecnologia, torna-se essencial para aumentar a eficiência e a competitividade das empresas. Nesse cenário, a Origem Bio, especializada em biodefensivos agrícolas, enfrenta desafios operacionais relacionados à gestão de estoques, incluindo falhas no controle de inventário, climatização inadequada e comunicação ineficiente entre setores. Esses problemas impactam diretamente a eficiência operacional, a satisfação dos clientes e a sustentabilidade financeira da empresa.

A gestão de estoques é um fator crítico para empresas que lidam com produtos sensíveis, como os biodefensivos, exigindo processos precisos para evitar rupturas no abastecimento. Conforme destacam Corrêa (2019) e Dias (2023), sistemas de revisão periódica podem falhar quando a demanda supera as previsões, evidenciando a necessidade de métodos mais robustos para garantir a disponibilidade dos produtos. Além disso, estoques mal gerenciados podem se tornar improdutivos, conforme alerta Paoleschi (2014), afetando a lucratividade do negócio.

Desses desafios, surge a questão central desta pesquisa: como a aplicação integrada de ferramentas de gestão da qualidade — como Brainstorming, Diagrama de Ishikawa, Matriz GUT, 5W2H e Análise SWOT — pode contribuir para a identificação, priorização e solução de falhas na gestão de estoques da Origem Bio, promovendo melhorias na eficiência operacional e no desempenho competitivo?

O objetivo geral deste estudo é implementar e analisar a eficácia de ferramentas de gestão da qualidade na otimização dos processos logísticos da Origem Bio, com os seguintes objetivos específicos: identificar os principais problemas por meio de Brainstorming, mapear causas e subcausas com o Diagrama de Ishikawa, priorizar questões críticas utilizando a Matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência), elaborar planos de ação detalhados com a ferramenta 5W2H, realizar uma Análise SWOT para avaliar fatores internos e externos, e mensurar os impactos das ações implementadas na eficiência operacional e na competitividade da empresa. Ao integrar essas ferramentas, busca-se oferecer uma solução estruturada para os gargalos logísticos, alinhando práticas

sustentáveis com eficiência operacional e fortalecendo sua posição no mercado de biodefensivos agrícolas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Gestão de Estoques

A gestão de estoques desempenha um papel estratégico nas organizações, sendo essencial para equilibrar o abastecimento de produtos e evitar excessos ou faltas que possam comprometer o desempenho empresarial. Segundo Valentim e Oliveira (2020), o equilíbrio no estoque pode proporcionar uma vantagem competitiva, enquanto a escassez de produtos pode resultar em insatisfação e perda de clientes. Assim, uma gestão de estoques eficiente deve estar alinhada com as demais áreas da empresa, sendo conduzida de forma estratégica e integrada.

Silva (2020) define o estoque como a acumulação de recursos materiais armazenados dentro de um sistema de transformação. Esse conceito pode ser estendido para qualquer tipo de recurso armazenado. No contexto de empresas de biotecnologia, como a Origem Bio, a gestão de estoques apresenta desafios adicionais devido à necessidade de condições específicas de armazenamento para insumos biológicos sensíveis, exigindo controle rigoroso e monitoramento constante.

Nogueira (2018) destaca que manter grandes quantidades de estoque não é financeiramente viável, pois pode aumentar o volume de produtos parados e reduzir a eficiência do controle. Soster et al. (2018) complementam que muitas pequenas empresas gerenciam seus estoques de maneira intuitiva, o que pode gerar impactos negativos, como avarias e perdas. Para evitar esses problemas, Dias (2023) e Silveira et al. (2017) ressaltam a importância de um controle de compras alinhado com a sazonalidade e a demanda, garantindo o atendimento adequado às necessidades do mercado.

2.2 Ferramentas da Qualidade

As ferramentas da qualidade são métodos essenciais para identificar causas de problemas, avaliar sua extensão e entender a relação entre problemas e suas origens. Elas são fundamentais para a gestão de processos e para a promoção da melhoria contínua nas

organizações (NETO et al., 2017).

2.2.1 Diagrama de Ishikawa

Desenvolvido por Kaoru Ishikawa na década de 1960, o Diagrama de Ishikawa, também conhecido como diagrama de causa e efeito ou diagrama espinha de peixe, é uma ferramenta amplamente utilizada para identificar as causas de um problema (Botezatu et al., 2019). Sua aplicação facilita a participação de diferentes setores da organização na análise de problemas, permitindo a identificação das causas-raiz. Segundo Lima et al. (2023), essa ferramenta é essencial para discutir questões complexas e orientar a tomada de decisão.

2.2.2 Análise SWOT

A Análise SWOT é uma ferramenta estratégica que permite avaliar o ambiente interno e externo de uma organização. Segundo Zuñiga (2009), essa matriz integra domínios, atributos e competências, identificando riscos e oportunidades. Silva et al. (2020) reforçam que a SWOT possibilita uma análise clara das forças e fraquezas internas, bem como das oportunidades e ameaças externas, auxiliando na formulação de estratégias competitivas.

2.2.3 5W2H

De acordo com Falconi (2009), a implementação eficaz de melhorias depende da execução de planos de ação bem estruturados. A ferramenta 5W2H é amplamente utilizada para organizar e direcionar ações, sendo composta por sete perguntas essenciais (Polacinski et al., 2013):

- **What (O quê?):** Identificar o problema ou a melhoria desejada.
- **Why (Por quê?):** Justificar a necessidade de resolver o problema.
- **When (Quando?):** Definir os prazos para execução das ações.
- **Where (Onde?):** Determinar o local de aplicação das melhorias.
- **Who (Quem?):** Identificar os responsáveis pela implementação.
- **How (Como?):** Detalhar as etapas para execução das ações.
- **How much (Quanto?):** Estimar custos e recursos necessários.

A aplicação do 5W2H permite a estruturação clara e objetiva dos planos de ação, facilitando a execução das melhorias (Gomes et al., 2018).

2.3 Aplicação das Ferramentas da Qualidade na Gestão de Estoques

A integração das ferramentas da qualidade com a gestão de estoques é fundamental para identificar falhas, priorizar problemas e implementar soluções eficazes. Nogueira (2018) afirma que a manutenção de estoques deve ser financeiramente equilibrada para evitar excessos e garantir eficiência. Soster et al. (2018) destacam que a gestão intuitiva de estoques, comum em pequenas empresas, pode acarretar perdas e avarias. Nesse contexto, o uso de ferramentas como o *Brainstorming*, Diagrama de Ishikawa, Matriz GUT, 5W2H e Análise SWOT possibilita a identificação das causas de falhas, a priorização de problemas críticos e a definição de ações estratégicas para a melhoria da gestão de estoques.

3. METODOLOGIA

Este estudo configura-se como uma pesquisa aplicada, voltada à solução de problemas concretos na gestão de estoques, conforme preconizado por Gil (2022) ao destacar a importância de pesquisas que unam teoria e prática. Adota-se uma abordagem descritiva para "descrever as características de determinada população ou fenômeno" (GIL, 2022, p. 42), complementada pelo método de estudo de caso que, segundo Marconi e Lakatos (2024), permite uma investigação profunda de um fenômeno em seu contexto real. A estratégia metodológica combina técnicas de pesquisa documental direta e indireta, seguindo a recomendação de Yin (2016) sobre a importância da triangulação de métodos para garantir a validade dos resultados.

Para coleta de dados, foram empregadas abordagens qualitativas e quantitativas, incluindo: pesquisa bibliográfica em fontes acadêmicas, fundamentada na afirmação de Gil (2022) de que "a pesquisa bibliográfica é etapa fundamental em qualquer trabalho científico"; entrevistas semiestruturadas com colaboradores-chave, técnica defendida por Richardson (2017) como essencial para compreender processos organizacionais; observação direta dos processos operacionais, método recomendado por Marconi e Lakatos (2024) para estudos de caso; e análise de documentos internos, procedimento

que, segundo Yin (2016), fornece evidências cruciais para pesquisas aplicadas.

Na fase de análise, os dados qualitativos foram tratados mediante técnica de análise de conteúdo, método que, para Bardin (2016), permite "descobrir os núcleos de sentido que compõem a comunicação" (p. 105). Já os dados quantitativos foram processados através de estatística descritiva, utilizando-se de medidas de tendência central e dispersão conforme sugerido por Dancey e Reidy (2019). Como apontam Marconi e Lakatos (2024), "todo estudo de caso apresenta limitações inerentes à sua natureza" (p. 183), sendo neste caso a restrição temporal da coleta de dados, a não generalização dos resultados e a dependência da implementação das soluções pela gestão. No entanto, seguindo as recomendações metodológicas de Yin (2016), o estudo garante validade interna através do rigoroso processo de coleta e análise de dados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do *brainstorming* estruturado, foram identificados pontos críticos na gestão de estoque da empresa, incluindo desafios na previsão de demanda e na manutenção da qualidade de insumos biológicos. Embora o armazenamento físico seja organizado e climatizado, houve falhas na multiplicação de bactérias, afetando a qualidade do produto. A ruptura de estoque durante a safra, devido ao aumento de vendas avulsas, destaca a necessidade de um planejamento estratégico mais eficaz, especialmente nas áreas de compras e produção.

Para aprofundar a análise das causas desses problemas, foi aplicado o Diagrama de Ishikawa na Figura 1, direcionando a criação de um plano de ação para aprimorar a gestão de estoque.

Figura 1 - Diagrama de Ishikawa para gestão de estoque ineficiente



Fonte: Autor (2025)

A Empresa enfrenta desafios estruturais e operacionais que impactam sua eficiência produtiva e competitividade. No âmbito dos métodos, a empresa sofre com oscilações nos custos de produção e falta de estratégias de diversificação, gerando instabilidade no planejamento. Além disso, gargalos produtivos decorrentes de atrasos na entrega de insumos, ausência de cronogramas de monitoramento e falhas no controle de estoque dificultam decisões estratégicas, levando a desperdícios ou rupturas no abastecimento. Esses problemas são agravados pela mão de obra reduzida e não especializada, com funções mal definidas e dificuldade em lidar com imprevistos, além da limitação de espaço físico, que restringe a capacidade de adaptação a variações de demanda.

No que diz respeito aos materiais e infraestrutura, a empresa enfrenta dificuldades em encontrar fornecedores de qualidade e falhas na previsão de demanda, o que afeta a disponibilidade de insumos e causa atrasos na produção. A capacidade produtiva limitada, somada à dependência de manutenção especializada, aumenta o risco de paradas operacionais. Além disso, a falta de indicadores de desempenho e ferramentas de monitoramento dificulta a identificação de gargalos e a implementação de melhorias contínuas, comprometendo a gestão eficiente do estoque e dos processos logísticos.

Outro grande desafio está relacionado ao meio ambiente e infraestrutura, uma vez

que a empresa carece de condições adequadas para armazenar insumos sensíveis, como produtos biológicos, colocando em risco a qualidade dos seus biodefensivos. O espaço físico limitado também impede a expansão da produção e o armazenamento seguro de materiais. As máquinas e equipamentos, por sua vez, apresentam capacidade produtiva insuficiente, com dificuldades na reposição de peças e escassez de equipamentos laboratoriais, o que compromete a continuidade da produção e a capacidade de atender às demandas do mercado. Esses problemas exigem soluções integradas para garantir a sustentabilidade e o crescimento da empresa no setor de biotecnologia agrícola.

Esses pontos exigem ações estratégicas integradas para garantir eficiência, qualidade e competitividade. Após a identificação das causas, a matriz GUT Tabela 1 foi aplicada para priorizar as ações corretivas. A análise dos fatores críticos apresentados na tabela evidencia diversos desafios que impactam diretamente a eficiência operacional da empresa. As pontuações atribuídas aos critérios de Gravidade, Urgência e Tendência permitem identificar quais aspectos demandam intervenção imediata e quais requerem planejamento estratégico de longo prazo.

Tabela 1 - Matriz de priorização das causas

	Gravidade	Urgência	Tendência	Total
Oscilações no custo de produção	3	3	4	36
Ausência de estratégias para diversificação	4	4	5	80
Gargalos produtivos por atrasos de insumos	5	5	5	125
Inexistência de cronograma de monitoramento	4	3	4	48
Ausência de ferramentas para antecipação de gargalos produtivos	4	3	2	24
Controle ineficiente dos níveis de estoque	4	4	4	64
Equipe reduzida	4	4	3	48
Escassez de mão de obra especializada	3	3	3	27
Falta de definição adequada de funções	4	3	3	36
Equipe despreparada para lidar com imprevistos na produção	5	5	4	100

Dificuldade em encontrar fornecedores	5	4	2	40
Falta de estoque devido à previsão de demanda	5	4	3	60
Atrasos na entrega de insumos	5	3	3	45
Espaço físico limitado para alocação de recursos e materiais	3	3	3	27
Falta de áreas de expansão para aumento da capacidade produtiva	3	2	3	18
Infraestrutura inadequada para armazenamento	4	2	3	24
Capacidade produtiva limitada	3	2	2	12
Dependência de manutenção especializada	3	2	2	12
Equipamentos laboratoriais insuficientes	3	2	4	24
Dificuldade na reposição rápida de peças	2	2	1	4

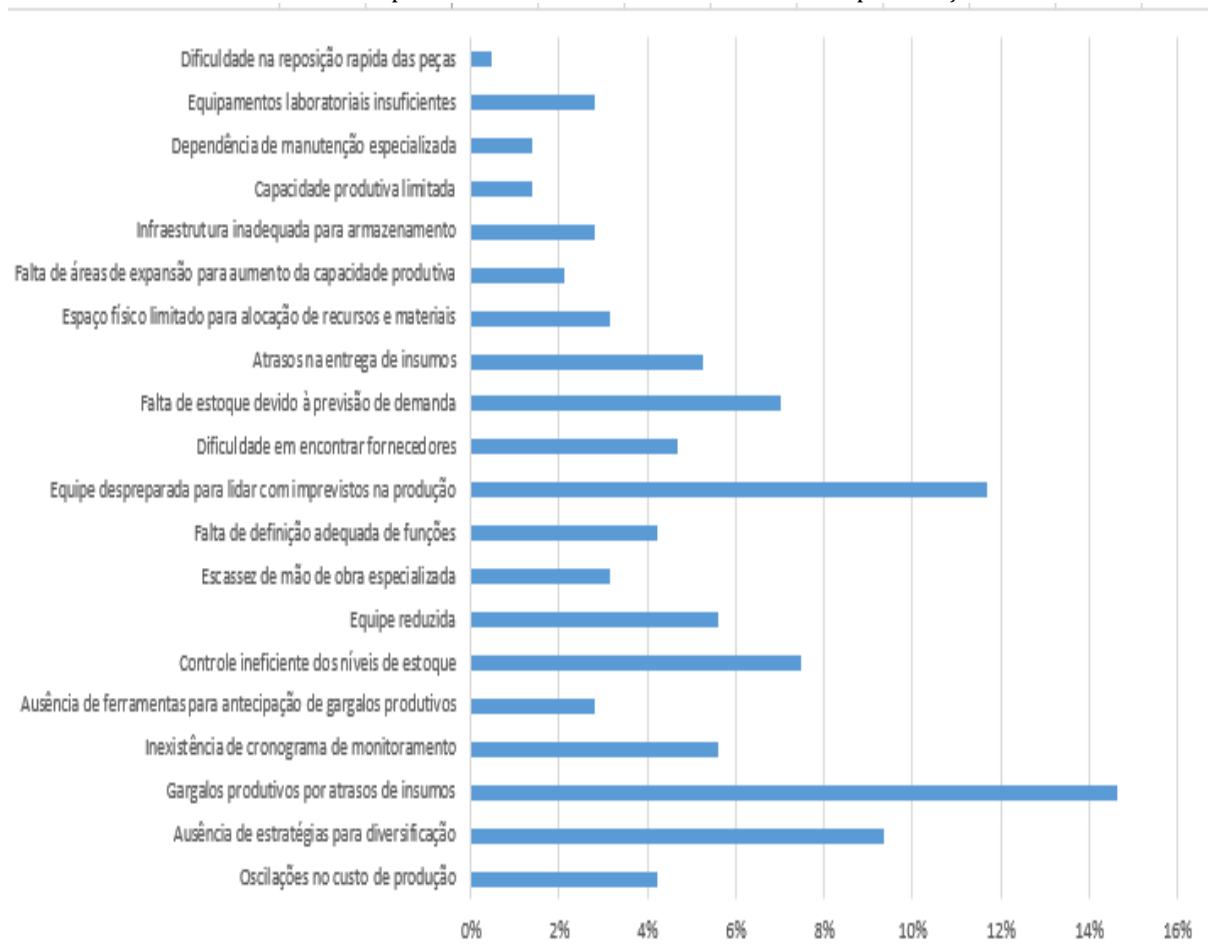
Fonte: Autor (2025)

A análise identificou que os maiores gargalos produtivos da empresa são os atrasos na entrega de insumos (125 pontos), a falta de estratégias de diversificação (80 pontos), o controle ineficiente de estoque (64 pontos) e a equipe despreparada para lidar com imprevistos (100 pontos).

Além disso, a ausência de cronograma de monitoramento (48 pontos) e de ferramentas para antecipar gargalos (24 pontos) evidenciam falhas na gestão preventiva. Embora a dependência de manutenção especializada e a capacidade produtiva limitada apresentem menor impacto imediato, exigem atenção. Assim, é essencial implementar ações estratégicas para reduzir esses riscos e garantir a competitividade da empresa.

Deste modo melhor evidenciar essas análises o gráfico 1 mostra o impacto que cada causa tem no efeito de gestão de estoque ineficiente.

Gráfico 1 - Impactos das causas de acordo com as suas priorizações



Fonte: Autor (2025)

O gráfico apresentado é de extrema importância para a visualização da análise da matriz GUT, pois mostra de forma clara as principais causas e desafios enfrentados na operação. Além disso, os problemas de menor impacto não devem ser desconsiderados, pois podem crescer e se tornar críticos com o tempo. A empresa deve implementar melhorias contínuas para garantir eficiência operacional.

Com o objetivo de mitigar os problemas identificados no processo produtivo da empresa, foi elaborado um Plano de Ação estruturado, conforme apresentado na Tabela 2. Ele foi desenvolvido a partir de uma análise minuciosa dos principais desafios enfrentados, considerando aspectos operacionais, estratégicos e de gestão. A elaboração contou com a aplicação da ferramenta 5W2H, permitindo a definição de ações específicas e direcionadas para cada uma das causas raiz identificadas.

As ações propostas visam a redução de gargalos que comprometem a fluidez da produção, a otimização dos recursos disponíveis tanto materiais quanto humanos e a consequente melhoria da eficiência operacional.

Tabela 2 - Tabela de Plano de ação 5W2H

O quê?	Por quê?	Onde?	Quando?	Quem?	Como?	Quanto?
Melhorar o processo de compras e logística para evitar atrasos de insumos.	Os atrasos de insumos comprometem a produção, gerando gargalos e aumento de custos.	Setor de compras, logística e fornecedores.	Imediato com revisão mensal todos os meses.	Gestor de compras, equipe de logística e fornecedores.	Imediato com revisão mensal todos os meses.	R\$ 15.000,00 para otimização de logística e novos contratos.
Capacitar a equipe para gerenciamento de crises e imprevistos.	Falta de preparo reduz a agilidade na solução de problemas, impactando a produção.	Setor de produção e logística.	Início imediato, com treinamentos trimestrais.	Recursos Humanos, gestores e colaboradores da produção.	Realizar treinamentos de gestão de crises. - Simular situações de imprevistos. - Implementar planos de contingência.	R\$ 5.000,00 para treinamentos e desenvolvimento de planos.
Desenvolver estratégias de diversificação de produtos e mercados.	A falta de diversificação aumenta o risco frente às oscilações de mercado.	Setores de marketing, desenvolvimento de produtos e vendas.	Planejamento em 3 meses e execução em 6 meses.	Equipe de marketing e desenvolvimento de novos produtos.	- Analisar tendências de mercado. - Desenvolver novos produtos. - Expandir para novos mercados.	R\$ 25.000,00 para pesquisas de mercado e desenvolvimento.
Melhorar o controle de estoque com sistemas automatizados.	Estoques desorganizados geram rupturas ou excesso de materiais.	Almoxarifado e setor de compras.	Implementação em até 3 meses.	Gestor de estoque e equipe de TI.	- Adotar software de gestão de estoque. - Definir estoques mínimos e máximos. - Realizar inventários periódicos.	R\$ 20.000,00 para aquisição de software e treinamentos.
Implementar métodos de previsão de demanda.	Previsões incorretas geram rupturas e impactam a produção	Setores de planejamento e compras.	Em até 2 meses.	Gestor de planejamento e equipe de compras.	- Utilizar softwares de previsão de demanda. - Analisar dados históricos de vendas. - Acompanhar tendências de mercado.	R\$ 10.000,00 para aquisição de software e treinamentos.
O quê?	Por quê?	Onde?	Quando?	Quem?	Como?	Quanto?

Criar e implementar um cronograma de monitoramento da produção.	A falta de acompanhamento impede o controle eficaz do processo produtivo.	Setor de produção.	Imediato.	Gestor de produção.	- Desenvolver cronogramas claros e objetivos. - Estabelecer indicadores de desempenho. - Realizar reuniões periódicas de acompanhamento.	R\$ 3.000,00 para desenvolvimento e aplicação de cronogramas.
Ampliar a base de fornecedores e criar parcerias estratégicas.	A dependência de poucos fornecedores aumenta os riscos de atraso e custos elevados.	Setor de compras e logística.	Início imediato com revisão a cada 3 meses.	Equipe de compras e gestores.	- Mapear novos fornecedores. - Participar de feiras e eventos do setor. - Firmar contratos com condições favoráveis.	R\$ 7.000,00 para pesquisa de mercado e viagens de prospecção.
Definir claramente as funções e responsabilidades de cada colaborador.	A falta de clareza nas funções pode gerar conflitos, retrabalho e baixa produtividade.	Todos os setores da empresa.	Concluir em até 2 meses.	Recursos Humanos e gestores de área.	- Revisar organograma. - Definir e divulgar descrições de cargos. - Realizar reuniões de alinhamento.	R\$ 4.000,00 para consultoria organizacional.
Ampliar o quadro de funcionários.	A sobrecarga de trabalho reduz a eficiência e aumenta o risco de erros.	Áreas de produção e logística.	Em até 3 meses.	RH e gestores das áreas afetadas.	- Realizar novas contratações. - Reorganizar turnos e escalas de trabalho.	R\$ 18.000,00 para contratações e integração.
Treinar a equipe interna para manutenção preventiva.	Reduzir a dependência de serviços externos e evitar paradas de produção.	Setor de manutenção e produção.	Em até 4 meses.	Equipe de manutenção e RH.	- Implementar manutenção preventiva. - Capacitar colaboradores para manutenção básica.	R\$ 10.000,00 para treinamentos e aquisição de ferramentas.
O quê?	Por quê?	Onde?	Quando?	Quem?	Como?	Quanto?
Adotar práticas de controle de custos e negociação de preços.	Oscilações de custos impactam a lucratividade e o planejamento financeiro.	Financeiro, compras e produção.	Revisão contínua, com metas semestrais.	Financeiro, gestores de compras e produção.	- Negociar contratos de longo prazo com fornecedores. - Implementar controle de custos e indicadores financeiros.	R\$ 6.000,00 para consultoria e melhorias de gestão. Desenvolver um plano de expansão da planta produtiva.

Desenvolver um plano de expansão da planta produtiva.	A falta de espaço limita o crescimento da produção e impede o atendimento da demanda crescente.	Setor de produção e planejamento estratégico.	Planejamento em 6 meses, execução em até 2 anos.	Diretoria, setor de engenharia e infraestrutura.	- Realizar estudo de viabilidade para expansão. - Buscar novas áreas ou adaptar espaços existentes. - Investir em equipamentos compactos e modernos.	R\$ 200.000,00 para estudos, projetos e início de obras.
Reorganizar o layout e otimizar o uso do espaço existente.	O uso ineficiente do espaço gera desorganização e dificulta o fluxo de materiais.	Setor de armazenamento e produção.	Implementação em até 3 meses.	Gestor de logística e equipe de infraestrutura.	- Reorganizar o layout de armazenamento. - Implementar sistemas de estocagem vertical. - Avaliar a possibilidade de uso de espaços ociosos.	R\$ 15.000,00 para reorganização e compra de estruturas.
Criar um sistema eficiente de reposição de peças críticas.	Evitar paradas de produção por falta de peças.	Manutenção e almoxarifado.	Em até 2 meses.	Setor de manutenção e logística.	- Manter estoque mínimo de peças essenciais. - Firmar parcerias com fornecedores locais. - Implementar manutenção preditiva.	R\$ 8.000,00 para compra de peças e sistemas de controle.

Fonte: Autor (2025)

Todas as causas levantadas refletem a ausência de um planejamento estratégico robusto. A falta de integração entre áreas, ausência de previsibilidade de demanda, falhas na gestão de fornecedores e limitação na alocação de recursos são sintomas claros de uma gestão estratégica deficiente.

Deste modo para complementar esse plano estratégico, foi realizada uma Análise SWOT detalhada, essencial para compreender o ambiente interno e externo da organização. Essa ferramenta permitiu identificar as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças, proporcionando uma base sólida para decisões estratégicas mais assertivas.

4.1 Análise Cruzada da Matriz SWOT

Estratégias (Forças + Oportunidades): A empresa disponibiliza um serviço único na região e possui uma estrutura completa, com parcerias estratégicas e uma profunda experiência na área. A estratégia de acordo com este cenário é realizar ações de marketing e produção voltadas para expandir o uso do produto por toda a região. Isso pode ser feito destacando a vantagem de reduzir o uso de defensivos químicos, enquanto se garante os benefícios financeiros e produtivos. A comunicação eficaz dessas vantagens pode aumentar a adoção do produto, aproveitando a crescente demanda por soluções ecológicas e sustentáveis.

Estratégias (Forças + Ameaças): Uma das principais ameaças para a empresa é que seu produto é atrativo apenas para proprietários de grandes propriedades. No entanto, aproveitando a experiência, as instalações e a qualidade do produto, a empresa poderia desenvolver uma estratégia de produção que permita fabricar pequenas quantidades. Isso viabilizaria a venda para produtores menores, ampliando a base de clientes e promovendo a expansão das vendas.

Além disso, embora a empresa opere com um modelo de produção puxada, o que pode gerar incertezas em relação a possíveis gargalos, especialmente devido às flutuações do mercado de commodities, ela pode mitigar esse risco. A implementação de um monitoramento contínuo das principais matérias-primas permitiria à empresa manter um estoque adequado, evitando aumentos de custos causados pela volatilidade do dólar ou pela escassez de oferta desses insumos.

Estratégias (Fraquezas + Oportunidades): A Origem Biotecnologia apresenta

fraquezas como seu pequeno porte, que limita a capacidade de atender grandes demandas, divulgação restrita nas redes sociais, falta de variedade de produtos, foco em grandes propriedades e vulnerabilidade a gargalos produtivos por falta de insumos. No entanto, sua vantagem competitiva está em ser a única empresa do ramo na região, podendo explorar o crescente interesse por soluções sustentáveis. Uma estratégia de marketing que destaque os benefícios financeiros e produtivos de seus produtos biológicos pode atrair novos clientes. Além disso, adotar um modelo de produção com base única e adições específicas no final do processo tornaria a produção mais ágil e flexível, facilitando o atendimento a pequenas e médias propriedades e reduzindo a dependência de insumos.

Estratégias (Fraquezas + Ameaças): Para enfrentar ameaças como flutuações cambiais, escassez de matérias-primas, preço elevado e limitações de espaço, a empresa deve adotar estratégias específicas. Implementar um controle de estoque baseado na média geométrica do consumo de insumos permitirá manter quantidades mínimas de matérias-primas críticas, equilibrando o estoque. Para ampliar o mercado, a criação de uma linha de produtos padronizados, adaptados a pequenas e médias propriedades, pode aumentar o alcance sem comprometer a qualidade. A otimização ou expansão do espaço de armazenamento ajudará a evitar gargalos produtivos. Além disso, fortalecer a presença digital com campanhas focadas em sustentabilidade pode atrair novos clientes e melhorar o engajamento nas redes sociais.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que a gestão eficiente de estoques é fundamental para o desempenho operacional e a competitividade. A partir da análise detalhada dos gargalos produtivos identificados, foi possível propor um plano de ação estruturado com base na ferramenta 5W2H, abrangendo melhorias no controle de estoque, capacitação da equipe, revisão dos processos logísticos, diversificação de fornecedores e investimentos em infraestrutura. Essas ações integradas visam otimizar os processos produtivos, reduzir custos operacionais, aumentar a produtividade e fortalecer a posição da empresa no mercado de bio defensivos.

Espera-se que a implementação das ações propostas resulte em melhorias significativas nos indicadores de desempenho, com a mitigação de riscos, a redução de

falhas operacionais e o aumento da flexibilidade diante das demandas do mercado. Além disso, o monitoramento constante dos problemas com menor grau de prioridade e a gestão integrada de questões interdependentes são essenciais para evitar a recorrência de falhas e garantir a continuidade das melhorias.

REFERÊNCIAS:

BARDIN, L. *Análise de conteúdo*. São Paulo: Edições 70, 2016.

BATISTA, M. A. et al. *Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral*. [S.l.: s.n.], 2018.

BOTEZATU, C. et al. Use of the Ishikawa diagram in the investigation of some industrial processes. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, v. 682, n. 1, p. 012012, 2019. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/682/1/012012>

BRASIL. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. *Plano Nacional de Fertilizantes 2050: uma estratégia para os fertilizantes no Brasil*. Brasília: SAE, 2022. Disponível em: www.gov.br. Acesso em: 12 dez. 2024.

CEPEA. *PIB do agronegócio brasileiro*. Piracicaba: Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada, 2024. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em: 5 jan. 2025.

CORRÊA, H. L. *Administração de cadeias de suprimentos e logística: integração na era da indústria 4.0*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

DANCEY, C. P.; REIDY, J. *Estatística sem matemática para psicologia*. 7. ed. Porto Alegre: Penso, 2019.

DIAS, A. M. *Administração de materiais: princípios, conceitos e gestão*. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2023.

FALCONI, V. *Gerenciamento pelas Diretrizes*. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços, 2004.

FERRÃO, M. E.; COUTO, A. P. *The use of a school value-added model for educational*

improvement: A case study from the Portuguese primary education system. *School Effectiveness and School Improvement*, v. 25, n. 1, p. 174-190, 2014. <http://doi.org/10.1080/09243453.2013.785436>

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2022.

IFA - International Fertilizer Association. [S.l.], 2012. Disponível em: <http://rootsforgrowth.com/food-nutrition-security/>. Acesso em: 18 out. 2024.

LIMA, J. C. et al. Quality tools for improvements of the production process in microenterprise: The implementation of improvements in the production process through the quality tool: Case study in a regional flour packer in Manaus. Seven Editora, 2023. Disponível em: <https://sevenpublicacoes.com.br/index.php/editora/article/view/1700>. Acesso em: [data de acesso não informada].

MACIK, M. et al. Biofertilizers in agriculture: An overview on concepts, strategies and effects on soil microorganisms. *Advances in Agronomy*, v. 162, p. 31-87, 2020.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. Metodologia científica. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2024.

NETO, R. M. S. et al. Aplicação das sete ferramentas da qualidade em uma fábrica de blocos standard de gesso. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 35., 2017. Anais... [S.l.: s.n.], 2017.

PIGOZZO, L. Série eixos - Transporte e distribuição: operação e gerenciamento. 2. ed. São Paulo: Érica, 2021.

POLACINSKI, E. et al. Gestão da Qualidade: Aplicação da ferramenta 5W2H como plano de ação para projeto de abertura de uma empresa. [S.l.: s.n.], 2013. Disponível em: [link não informado]. Acesso em: 16 out. 2024.

RICHARDSON, R. J. Pesquisa social: métodos e técnicas. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

SILVA, A. A. et al. A Utilização da Matriz Swot como Ferramenta Estratégica - um Estudo de Caso em uma Escola de Idioma de São Paulo. [S.l.: s.n.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos11/26714255.pdf>. Acesso em: 17 nov.

2024.

SILVA, J. B. G. et al. Avaliação da condutividade elétrica e pH da solução do solo em uma área fertirrigada com água residuária de bovinocultura de leite. *Irriga*, v. 1, n. 1, p. 250, 2012. <https://doi.org/10.15809/irriga.2012v1n01p250>

YIN, R. K. *Pesquisa qualitativa do início ao fim*. Porto Alegre: Penso, 2016.

ZUÑIGA, A. *Planejamento Estratégico: Caso Consulting*. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão Empresarial) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

CAPÍTULO XXVIII

DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA POR DETECÇÃO TÁTIL PARA PRÓTESES DE MÃO ROBÓTICA ACIONADA POR CONTROLE ELETROACÚSTICO

**Rita de Cassia Cardoso Lima
Segundo Nilo Mestanza Muñoz**

DOI: 10.5281/zenodo.17307732

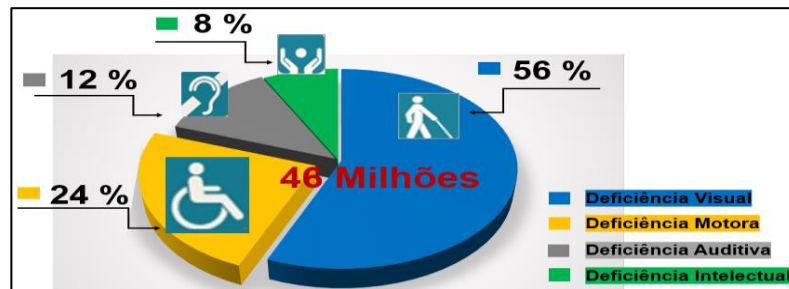
1. INTRODUÇÃO

1.1 Estatísticas do Censo Demográfico – IBGE

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, segundo apresentado no Censo Demográfico, existem no Brasil 46 milhões de pessoas com pelo menos uma das deficiências investigadas, conforme é mostrado na figura 1. Autodeclararam-se como deficientes visuais 20,5 milhões de pessoas, 13,2 milhões com

deficiência motora, 9,7 milhões com deficiência auditiva, e 2,6 milhões com deficiência intelectual. [1]

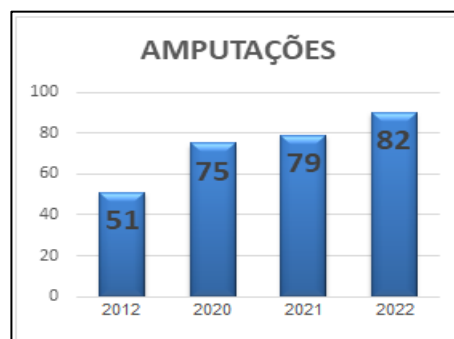
Figura 4 - Estatísticas da pesquisa do Censo Demográfico – IBGE



Fonte: Estatísticas do Censo Demográfico (2016) – IBGE

Estudos recentes apontam um aumento significativo pós pandemia nos números de amputações no Brasil, conforme é mostrado na figura 2. Segundo a Sociedade Brasileira de Angiologia e Cirurgia Vascular [2], em 2012 eram realizados em média 51 procedimentos desse tipo por dia. Entretanto, durante a pandemia da covid-19, essa média teve um salto significativo, subindo para 75 amputações diárias em 2020, 79 em 2021 e janeiro a março de 2022 chegando a 82 amputações por dia.

Figura 5 – Estatística Sociedade Brasileira de Angiologia e Cirurgia Vascular - Data/SUS



Fonte: Sociedade Brasileira de Angiologia e Cirurgia Vascular - Data/SUS

Para esse cenário, a área de Tecnologia Assistiva (TA), é um sistema de recursos para beneficiar pessoas com deficiência, a fim de proporcionar maior independência, bem-estar e inclusão social, engloba vários ramos da ciência e por isso é um campo bem vasto para pesquisa e desenvolvimento de projetos [3]. Essa área trabalha de forma a ampliar a acessibilidade, a mobilidade, a comunicação e a educação para as pessoas com

deficiência, pois, apesar de ser direito de todo cidadão, às vezes, essas pessoas são restringidas por causa de suas limitações físicas.

Este projeto apresenta uma revisão dos avanços recentes na detecção de toque sensorial robótico, uma vez que artigos de anteriores tiveram como foco o *hardware* com novas tendências de tecnologias[4] [5] [6] [7]. Para este estudo, a abordagem será baseada na análise de dados dos sensores táteis piezoresistivos - *Force Sensing Resistor* (FSR)[8], que forneceram uma correlação entre variação da resistência e tensão elétrica, com a capacidade de controlar a força de preensão aplicada nos dedos da mão robótica e o *feedback* do controle eletroeletrônico com o sensor tátil em tempo real, assim, abrangendo resultados mais quantitativos. O sensor tátil FSR pode melhorar a interação, a segurança, a personalização e a reabilitação de uma experiência mais natural e satisfatória para os usuários de próteses de mão, oferecendo um maior nível de funcionalidade e autonomia.

O circuito eletrônico será integrado à prótese de mão impressa em 3D por comando eletroacústico, conectado ao controle de sistema embarcado *DOIT ESP32 (IoT)*, com comunicação 2.4GHz popular habilitada para *WiFi* e *Bluetooth*, atuando diretamente nos servomotores conectados aos dedos da mão.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é realizar a compilação de dados referentes ao movimento e à força de preensão exercida pela mão e dedos de uma prótese robótica. O desenvolvimento se realiza por métodos de amostragem, técnicas que auxiliem no monitoramento das medidas dadas por meio de sensores piezoresistivos - *Force Sensing Resistor* (FSR), que fornecerão uma correlação entre variação da resistência e tensão elétrica, com a capacidade de controlar a força de preensão aplicada a um sistema de *feedback* sensorial tátil acionado por circuitos eletroacústicos, e interação ao sistema embarcado DOIT ESP32.

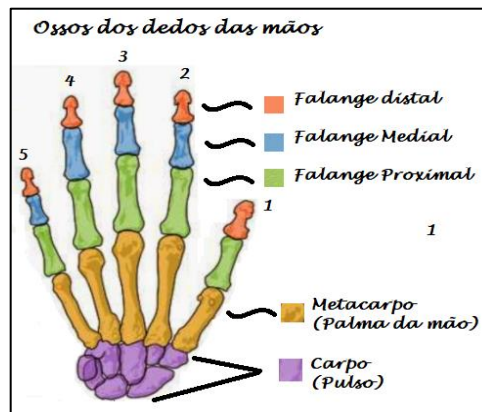
1.3 Estudo da Anatomia Humana

Os seres humanos interagem e exploram o ambiente por meio de cinco principais modalidades de sentido: tato, visão, audição, olfato e paladar. A perda de qualquer uma dessas modalidades resultará nas informações incompletas.

Considerado o órgão motor mais importante do corpo humano, a mão é responsável pela execução de tarefas complexas e, por intermédio do tato, pelo mapeamento das características do ambiente.

A notável adaptabilidade da mão a distintos objetos mantendo sua funcionalidade, resulta da presença de 27 ossos, 17 articulações e 19 músculos conforme a figura 3. Esta estrutura oferece a mão um total de 23 graus de liberdade. [9][10].

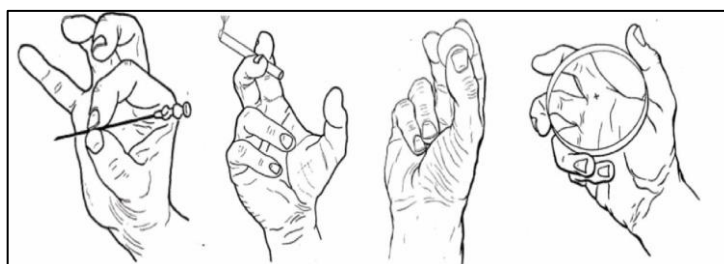
Figura 3 - Articulações da mão humana



Fonte: TORTORA

O polegar desenvolve papel fundamental na mão, na qual sua arquitetura desempenha uma função à parte, formando pinças digitais com todos os dedos e principalmente com o dedo indicador, papel importante na formação de preensão de força juntamente com os outros quatro dedos, conforme ilustrado na figura 4. Ou seja, sem o polegar, a mão perde significativamente a sua funcionalidade [11].

Figura 4 - Representações das preensões digitais



Fonte: KAPANDJI (2002)

1.4 Tipos de Próteses

Ao passar dos anos, surgiu a necessidade de construir próteses mais funcionais, o que impactou a maior parte de tipos e modelos existentes até então, embora nem todas sejam completamente funcionais e antropomórficas [12]. Dessa forma, foi preciso classificar as próteses para membros superiores, ligadas a alguns tipos de fonte de energia (alimentação). A principal classificação de uma prótese realiza-se de acordo com o nível de amputação [13]. Essa relação é importante, pois essas condições levarão à adaptação e à ativação da prótese.

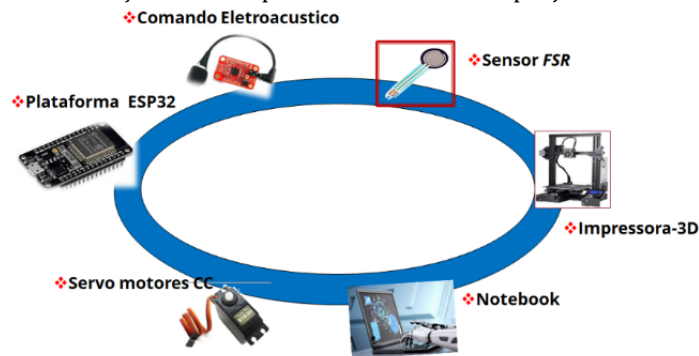
As próteses são classificadas em dois grupos com alguns modelos; Passiva podem ser estética ou mecânica. Ativas podem ser mioelétricas, as híbridas e as elétricas com impressão 3D.

2. METODOLOGIA

Algumas revisões bibliográficas foram conduzidas e baseada nos estudos de DiDomenico A [5][14]. O diferencial deste projeto inclui não apenas a biblioteca de banco de dados para a análise do comportamento do sensor (FSR) com diferentes tipos de materiais, mas também o desenvolvimento de um comando eletroacústico integrado com comunicação IoT na plataforma ESP32, bem como um teste prático para a análise de aquisição de dados com a mão robótica acoplada ao sensor (FSR). Na figura 5 são os componentes que compõem o projeto:

- ✓ Plataforma ESP32
- ✓ Sensores Tátil FSR400 (*Force Resisting Sensor*)
- ✓ Módulo de reconhecimento de voz ELECHOUSE V3
- ✓ Servomotores DC - MG995R
- ✓ Prótese Braço Robótico em impressão 3D (InMoov)

Figura 5 – Ilustração dos componentes utilizado no projeto



Fonte: A autora

Todo desenvolvimento do projeto pode ser visualizado nas figuras 6 e 9. Essas apresentam diagramas que resumem as duas fases principais do estudo: a fase de planejamento, onde foram definidos os objetivos, a metodologia e os recursos necessários; e a fase de execução, que incluiu a construção do protótipo, os testes e a análise dos resultados. Os dados obtidos foram então comparados com os dados provenientes da mão humana. Cada etapa do desenvolvimento está representada nesses diagramas, permitindo uma compreensão clara do processo como um todo.

- ❖ **PRIMEIRA FASE:** definida por três etapas: 1ª Etapa Montagem Mecânica(3D), 2ª Etapa Análise do Sensor Tátil (FSR) e 3ª Etapa Integração Hardware/Software.

Figura 6 - Diagrama da primeira fase do desenvolvimento do projeto.

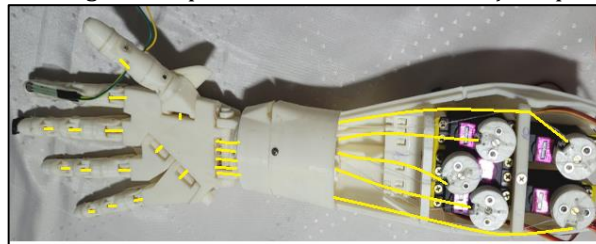


Fonte: A autora

2.1 PRIMEIRA FASE:

Primeira etapa – Mecânica: Nesta etapa do projeto, adotou-se o modelo de prótese em impressão 3D (InMoov) de código aberto no formato "stl"[15][16]. Para transmitir o movimento dos servomotores às articulações dos dedos, foram empregados fios de nylon de alta resistência. Visualizados em amarelo na fotografia da Figura 7, esses fios atuam de forma análoga aos tendões da mão humana, sendo responsáveis pela flexão e extensão dos dedos. As polias acopladas aos eixos dos servomotores transmitem o movimento rotacional dos motores para os fios, permitindo a abertura e o fechamento dos dedos. Etapa concluída.

Figura 7 – Montagem completas da mão e do antebraço impressos em 3D



Fonte: Inmoov 3D e A autora

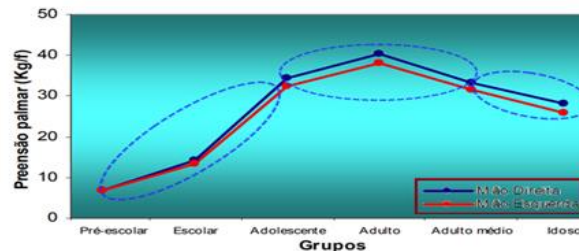
Segunda etapa – Sensor Tátil FSR: Para esse estudo, foi adotado o sensor piezoresistivo tátil FSR (*Force Sensing Resistor*) modelo FSR400[8]. Portanto, aquisição de dados e análise técnica do sensor piezoresistivo (FSR), com integração ao sistema de *hardware* (Arduino), e desenvolvimento de estratégias para determinar uma faixa de intervalo de valores relacionados à variação da resistência do sensor versus tensão relacionada à biblioteca de dados para o controle do movimento da mão robótica e monitoramento do circuito.

No estudo de caso a autora da tese "*Finger force capability: measurement and prediction using anthropometric and myoelectric measures*", DiDomenico,A [5], desenvolveu protocolos de medição para adquirir dados consistentes e aplicáveis, com a finalidade de determinar a viabilidade da correlação entre a força de preensão dos dedos da mão humana e as aplicações em próteses robóticas.

Outra tese de referência é a "Estudo da força de preensão palmar em diferentes faixas etárias do desenvolvimento humano", MOURA, Patrícia M. de Lima [17], em que os estudos são grupos separados por faixa etária: pré-escola, escola, adolescente, adulto, adulto médio e idoso. Observados os resultados em questão, foram adotadas como

referência para medir a intensidade da força aplicada as seguintes categorias: Força Fraca entre (Pré-escolar e Idoso), Força Média (Adolescente e Adulto médio) e Força Forte (Adolescente e Adulto). Conforme mostra a figura 8.

Figura 8 - Media força de preensão palmar nos diferentes grupos.

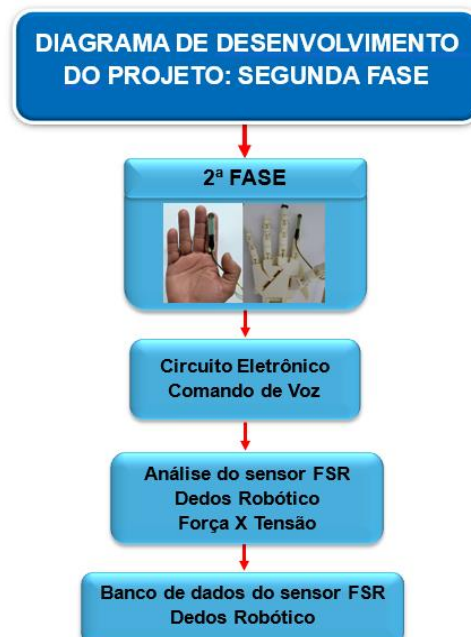


Fonte: Patrícia Martins de Lima Moura, Tese Mestrado UnB-2008

Terceira Etapa – Integração Hardware/Software: montagem e integração dos hardwares de controle com a plataforma eletrônica ESP32, integração da prótese mecânica/elétrica, dos sensores táteis (FSR) e integração com sistemas de comando/controle eletroacústico.

2.2 SEGUNDA FASE: Uma única etapa: análise de aquisição de dados obtidos com a mão robótica acoplada ao sensor (FSR) e comparados com os dados da mão humana. Conforme a figura 9. A dissertação desta fase por ser tratar de resultados obtidos, ocorrerá apenas no próximo capítulo 4, no item 4.4.

Figura 9 - Diagrama da segunda fase do desenvolvimento do projeto.



Fonte: A autora

3. ESTUDO E ANÁLISE EM LABORATÓRIO

3.1 Segunda Etapa - Sensor Tátil FSR

Para esse estudo, foi adotado o sensor piezoresistivo tátil FSR400. Foram realizados ensaios práticos realizados no laboratório conforme a figura 10, aplicando diferentes cargas a sensores FSR, com diversos materiais fixados em suas superfícies e visando otimizar a interface com os materiais.

Os resultados obtidos demonstram uma relação inversamente proporcional entre a força aplicada e a resistência elétrica dos sensores FSR. Ou seja, à medida que a carga aumenta, a resistência diminui. Essa característica é típica desse tipo de sensor.

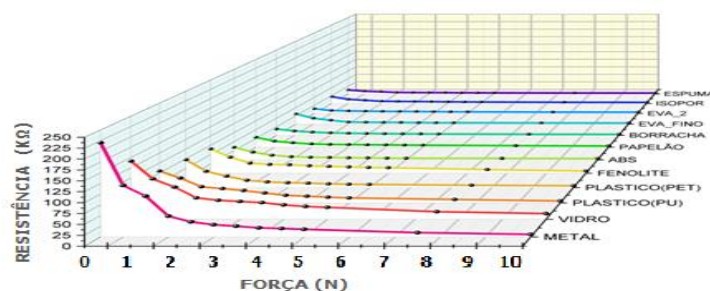
Figura 10 - Diagrama da segunda fase do desenvolvimento do projeto.



Fonte: A autora

Com o intuito de identificar a combinação que proporcionasse a maior durabilidade e precisão. Observa-se que os materiais mais rígidos como: metal e o vidro apresentaram maior variação de resistência elétrica inicial alta em relação aos materiais flexíveis. Conforme ilustrado na figura 11.

Figura 11 - Gráficos de variação da resistência dos ensaios de materiais

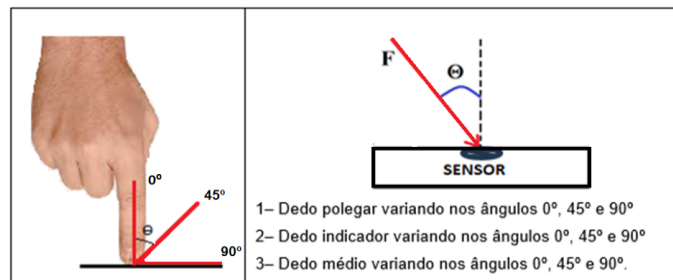


Fonte: A autora

3.2 Análise do sensor (FSR): Resistência ($K\Omega$) x Força (N)

Nesse procedimento, também houve a variação da força de preensão com os dedos polegar, indicador e médio em diferentes ângulos (0° , 45° e 90° graus). Figura 12

Figura 126 - Demonstrativa da Força aplicada no sensor com os dedos em cada ângulo

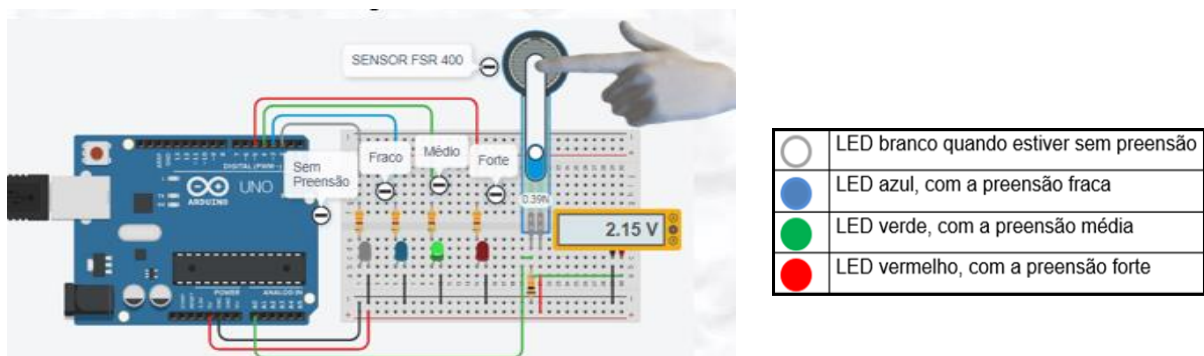


Fonte: A autora

Para auxiliar nas aquisições dos dados com os sensores táteis, foi desenvolvido um programa na plataforma Arduino utilizando indicação luminosa de LEDs, com base em referências derivadas da relação entre a variação da resistência e a força.

Esse sistema de indicação luminosa montado com LEDs, permite uma representação visual imediata dos níveis de resistência associados a diferentes forças aplicadas no sensor, pré-definida como: sem preensão do sensor, força fraca, força média e força forte. Conforme mostra a figura 13, o funcionamento desse indicador foi elaborado de forma simples e intuitiva:

Figura 137 - Circuito de análise para o sensor tátil

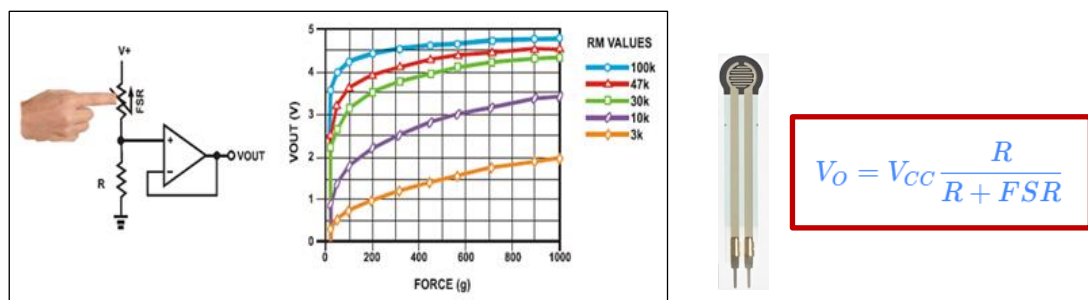


Fonte: A autora

3.3 Análise gráfica do sensor (FSR): Força (N) x Tensão (V)

O objetivo desta etapa é investigar como a resistência do sensor (FSR) varia quando a força de preensão é aplicada com os dedos da mão em diferentes ângulos 0°, 45° e 90° em relação à superfície do sensor tátil (FSR). Conforme as especificações técnicas do fabricante, a equação do divisor de tensão pode ser usada em conjunto com a curva de calibração para relacionar a tensão (V) versus força (N). Conforme mostra a figura 14.

Figura 148 - Controle de sensibilidade do FSR Ensaios realizados no Laboratório Tensão x Força



Fonte: A autora

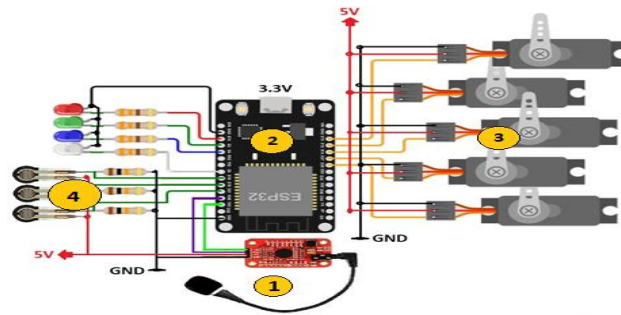
Esses resultados proporcionam uma compreensão mais aprofundada do comportamento do sensor tátil (FSR), destacando sua robustez e previsibilidade em relação à tensão, força e diferentes ângulos.

- ✓ Comportamento em relação tensão e força: medido para os três dedos e os ângulo: logaritmo. Comportamento não muda com a variação dos ângulos
- ✓ Tende a saturar com tensão aproximadamente ente 3,5V a 4V.

3.4 Terceira etapa - Integração do *Hardware* e o *Software* do projeto.

A terceira etapa do projeto, detalha a integração do completa do sistema protético figura 15. A mão robótica montada, é acionada por um sistema eletrônico embarcado baseado no microcontrolador *DOIT ESP32 (IoT)*, habilitado para *WiFi/Bluetooth* garantindo baixo consumo de energia e alta taxa de transmissão de dados, que controla servomotores, os *LEDs* indicadores de força, os sensores táteis FSR fornecem *feedback* em tempo real sobre a força de preensão exercida pelos dedos da mão e permitindo ajustes precisos.[18].

Figura 159 - Microcontrolador ESP32 integrados com os sensores e atuadores.

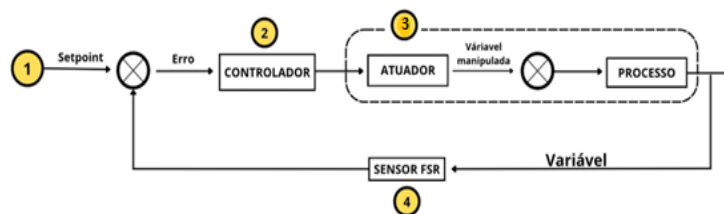


Fonte: A autora

No diagrama de blocos abaixo está representado um sistema de malha fechada na figura 16. Com base nesse diagrama, são feitas as seguintes afirmações:

- 1 – Sinal de entrada eletroacústico: Comando de Voz
- 2 – Processamento do bando de dados: Microcontrolador - ESP32
- 3 – Acionamento dos atuadores: Servomotores
- 4 – Sistema *feedback*: Sensor Tátil FSR

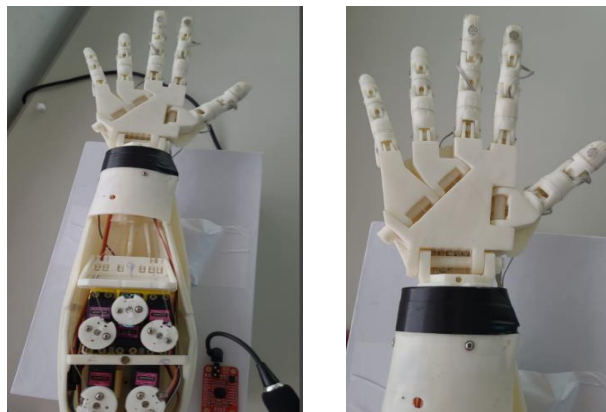
Figura 16 - Funcionamento do Servo Modificado para Feedback



Fonte: A autora

A fotografia 17, mostra a montagem e integração completa do projeto: mecânica, hardware, software, sensores FRS e sistema por comando de voz.

Figura 17 - Funcionamento do Servo Modificado para Feedback



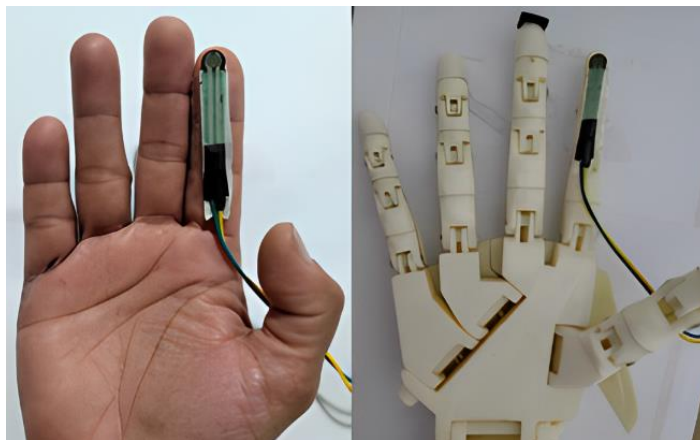
Fonte: A autora

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 SEGUNDA FASE

Como demonstrado anteriormente, a Figura 9 apresenta o diagrama de desenvolvimento do projeto nesta segunda fase. Esses resultados demonstram a importância de uma caracterização detalhada da interação entre a mão humana versus mão robótica, fornecendo dados essenciais para a calibração do sistema de controle da mão robótica de próteses mais intuitivas e eficientes acoplada ao sensor FSR, conforme mostra a fotografia da figura 18.

Figura 18 - Ensaios com o dedo humano x dedo robótico

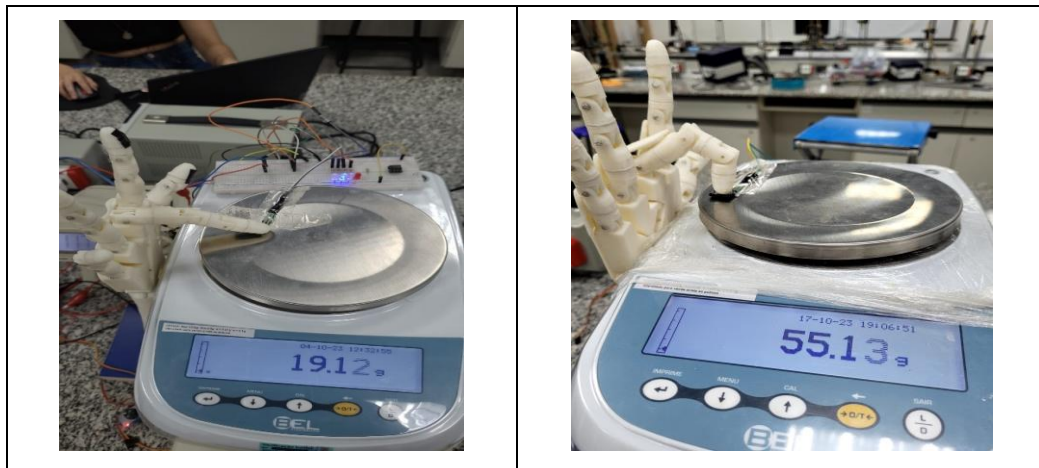


Fonte: A autora

4.2 Análise gráfica dos ensaios com a mão humana e mão robótica:

Considerando a configuração dos materiais ilustrada na Figura 19, os ensaios com a mão robótica foram realizados com a interface do terceiro material Plástico (PU) e análise dos resultados obtidos:

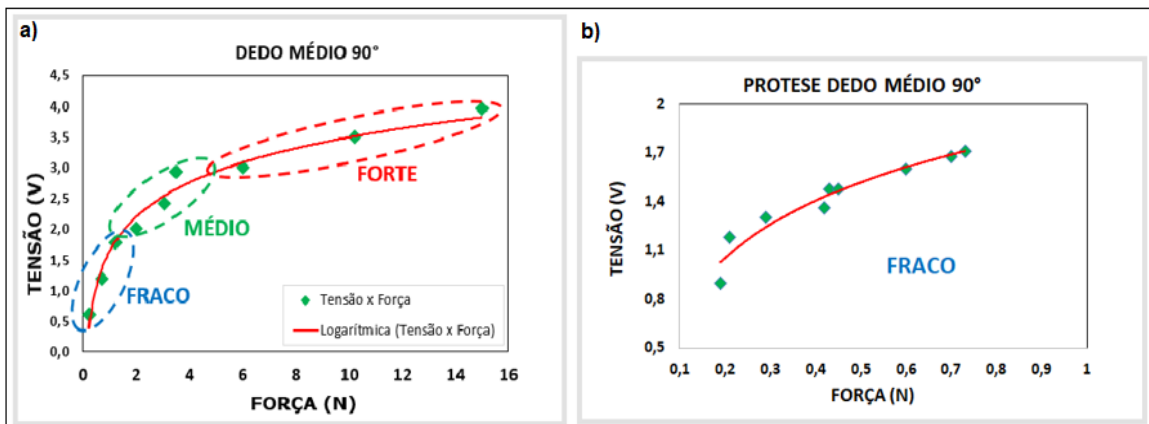
Figura 19 - Análise da curva de Tensão(V) x Força(N) do dedo médio mão robótica.



Fonte: A autora

O gráfico da figura 20 representado com a letra “a)” corresponde ao intervalo de intensidade do dedo da mão humana, enquanto o gráfico representado com a letra “b)” corresponde aos valores de intervalo de intensidade dos dedos da prótese robótica, correlacionados com Força (N) x Tensão (V).

Figura 20 - Análise da amostragem a) dedo humana 90° e b) dedo médio da mão robótica em 90°



Fonte: A autora

Foram realizados estudos com o intuito de verificar o comportamento do sensor na curva gráfica dos dedos da mão humana com os dedos da prótese de mão robótica. Avalia-se que a região apresentou mais similaridade na linearidade de controle, que são as regiões predeterminadas como “Fraco”.

Com base na análise dos dados coletados e na comparação entre as leituras do sensor (FSR) obtidas ao serem pressionadas pela mão humana e pela mão robótica:

- ✓ A força do dedo robótico se manteve no “Fraco”;
- ✓ Provavelmente por ser único ponto de área de contato;
- ✓ Falta de aderência durante os ensaios;
- ✓ Comportamento não muda com a variação dos ângulos.

5. CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este projeto contribuiu com um novo conceito, utilizando tecnologias mais avançadas com dispositivos inteligentes, permitindo a adaptação da prótese em qualquer pessoa, abrangendo um público maior, por ser acionada com o comando eletroacústico (voz) V3, DPOIT ESP32 e controlada por sensores táteis. É relevante ressaltar o controle da força de preensão por meio do sensor tátil (FSR), já que o componente principal em estudo. Destaca-se, ademais, que é viável ajustar o controle de torque na preensão de objetos mediante modificações no programa desenvolvido.

A análise e a elaboração de um banco de dados coletados para ambas as condições (mão humana e mão robótica) demonstram uma pequena proximidade em seus valores determinados como “Fraco”. Isso demonstra que o sensor (FSR) mantém uma pequena estabilidade em relação à maior resistência representada pela mão humana e pela mão robótica. Portanto, os resultados desta análise indicam que o sensor (FSR) é capaz de fornecer medições consistentes.

Porém, os resultados obtidos nos testes com a mão robótica, apresentou força de preensão insuficiente, ou seja, apresentou dificuldades em manipular objetos com superfícies lisas. Portanto, torna-se evidente a necessidade de revisar o sistema de aderência da prótese, visando otimizar a força de preensão, a adaptabilidade a diferentes superfícies e a estabilidade da pegada, aproximando essas características de uma mão humana.

Estudos futuros: aprimorar do movimento e sensibilidade da mão robótica com mais sensores táteis ou com sensores de metal líquido.

REFERÊNCIAS

[1] CENSO, I.B.G.E. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/>>. Consultado em

26 de agosto de 2017, v. 12, 20.

[2] Cirurgia Vascular [recurso eletrônico] / Ministério da Saúde, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Brasília: Ministério da Saúde, 2022. 17 p.: il. (Protocolos de encaminhamento da atenção primária para à atenção especializada; v.15)
http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/protocolo_atencao_especializada_v15_cirurgia_vascular.pdf ISBN.

[3] KUNKEL, Maria Elizete & S. N. M. Mestanza, Pesquisa ABC 10, 6-8, abril 2014.
<https://mao3d.wordpress.com/2016/07/27/mao3d-programa-social-e-colaborativo-da-unifesp/>> Acesso em 21 abr. 2017. Disponível em:
<https://mao3d.wordpress.com/2016/07/30/mao3d-nem-sempre-e-possivel-fazer-a-protetizacao-infantil/>>. Acesso em 21 abr. 2017.

[4] Gomes Zucatelli, Fernando Henrique MODELAGEM CINEMATICA E DINAMICA DE UMA MAO ROBOTICA PARA APLICAÇÕES PRÁTICAS DE TELEOPERAÇÃO, Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecatrônica, Universidade do Federal do ABC, p202. 2017.

[5] DiDomenico, A, Finger force capability: measurement and prediction using anthropometric and myoelectric measures Industrial and Systems Engineering (1999). (2014)

[6] Xavier, R. T. *et al.* Desenvolvimento de uma Mão Biônica e de um Sistema Eletrônico para Estudo dos Movimentos da Mão. VIII Congresso Iberoamericano de Tecnologias de Apoyo a la Discapacidad, Punta Arenas, p. 211;214, novembro 2015. ISSN 978-956-9763-00-7.

[7] MENESES, Seidler Luiz Henrique. PRÓTESE MECÂNICA DE BAIXO CUSTO CONTROLADA PELO MÉTODO DE ELETROMIOGRAFIA E INTERNET DAS COISAS. 2021. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecatrônica, Universidade do Federal de Santa Catarina, p47. 2021.

[8] FSR Integration Guide and Evaluation Parts Catalog with Suggested Electrical Interfaces. p 25 (2018)

[9] TORTORA, G. J. Princípios de anatomia humana. 12^a. edição. Guanabara Koogan. Rio de Janeiro, 2013.

[10] CARVALHO, G. L. de. Proposta de um método de projeto de próteses de membros superiores com a utilização da engenharia e análise do valor. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

[11] KAPANDJI, A. I. *Fisiologia articular*. 5. ed. São Paulo: Panamericana, 2007.

[12] PILLET, J.; DIDIERJEAN-PILLET, A. Aesthetic hand prosthesis: gadget or therapy? Presentation of a new classification. Journal of Hand Surgery (British and European Volume), v. 26, n. 6, p. 523-528, 2001.

[13] CAMARGO, D.R; Desenvolvimento de protótipo de uma prótese antropomórfica para

membros superiores. 2008. Tese de mestrado – Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

[14] Zhanat Kappassov, Juan Antonio Corrales Ramon, Véronique Perdereau. Tactile sensing in dexterous robot hands - Review. *Robotics and Autonomous Systems*, Elsevier, 2015, 74, Part A, pp.195-220.

[15] GAEL LANGEVIN. INMOOV, Open-source 3D printed life size robot. 2014. <http://www.inmoov.fr/>

[16] MESTANZA, SEGUNDO NILO, 3D em carne e osso, *Revista em Plástico*, Porto Alegre, Ed. 609, p.58 nov. 2014 Disponível em: <https://plasticoemrevista.com.br/edição-609-novembro-2014/> Acesso em 26 jan.2014

[17] MOURA, Patrícia Martins de Lima e Silva. Estudo da força de preensão palmar em diferentes faixas etárias do desenvolvimento humano. 2008. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Saúde).

[18] STRAUB, Matheus Gebert. Módulo De Reconhecimento De Voz E Comando Para Arduino. 04 Dez. 2015. Disponível em:<<http://blog.usinainfo.com.br/modulo-de-reconhecimento-de-voz-para-arduino/>> Acessado em 24 fev. 2018. 71.

CAPÍTULO XXIX

FERRAMENTAS DA QUALIDADE NA OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS UMA EMPRESA DE LAVAGEM AUTOMOTIVA

**Maria Eduarda Perez de Melo Brizola
Ana Paula Gatto da Conceição
Henrique Costa Gomes
Rita de Cássia Moreschi Dória**

DOI: 10.5281/zenodo.17307741

1. INTRODUÇÃO

O controle eficiente dos custos operacionais é um fator determinante para a sobrevivência e competitividade de pequenas empresas do setor de serviços automotivos, nas cidades do interior do Paraná. Essas empresas enfrentam desafios que impactam sua lucratividade e sustentabilidade no mercado, tais como a competitividade local ou os desperdícios de recursos. Nesse contexto, as ferramentas da qualidade têm se mostrado essenciais para identificar problemas operacionais e propor soluções sistemáticas que aprimorem a eficiência dos processos (JUNIOR *et. al*, 2021).

Segundo Silva (2017), a crescente exigência dos clientes por produtos e serviços inovadores e de alta qualidade tem levado as organizações empresariais a investir na

implementação de ferramentas da qualidade. O objetivo dessas ferramentas é proporcionar uma maior eficiência organizacional por meio da aplicação de métodos consolidados e estruturados. Dessa forma, a adoção dessas técnicas permite uma gestão mais eficaz, reduzindo desperdícios e melhorando a satisfação do cliente.

As ferramentas da qualidade possuem um foco central na satisfação dos clientes e na melhoria contínua dos processos internos. Para isso, utilizam-se técnicas e metodologias que auxiliam no controle eficaz das operações e na detecção de problemas dentro da organização. Tais ferramentas permitem que gestores e colaboradores identifiquem pontos de melhoria nos processos produtivos, contribuindo para a otimização das atividades e a redução de custos desnecessários (SILVA, 2017).

Neste artigo, aplicou-se cinco ferramentas da qualidade, uma organização familiar que oferece serviços de lavagem automotiva. A análise concentrou-se em como essas ferramentas podem ser empregadas para otimizar os processos internos e reduzir os custos operacionais do negócio. A escolha dessa empresa específica deu-se pela necessidade de aprimorar sua eficiência e lucratividade, aplicando conhecimentos adquiridos ao longo do ano letivo.

A seleção de uma empresa do interior para este estudo foi motivada pelo desejo de melhorar a eficiência operacional e a sustentabilidade financeira de um empreendimento familiar, utilizando as ferramentas da qualidade como meio de aprimoramento contínuo. Além disso, as pequenas empresas de lavagem automotiva enfrentam desafios significativos para manterem-se competitivas no mercado. Isto ocorre por limitação de recursos financeiros, a dependência de mão de obra qualificada e a necessidade de diferenciar-se da concorrência local.

Um dos principais problemas identificados na empresa analisada é o desperdício hídrico, visto que o processo de lavagem de automóveis consome uma quantidade excessiva de água. Esse problema não só impacta os custos operacionais, mas também gera preocupações ambientais relacionadas à sustentabilidade do negócio. Além disso, o consumo elevado de recursos elétricos, como energia elétrica para equipamentos de alta potência, representa outro fator crítico que afeta diretamente a lucratividade da empresa.

Outro aspecto relevante a ser considerado é o impacto do comércio local na competitividade da empresa. O mercado regional apresenta uma concorrência intensa, o que resulta na redução dos preços praticados e, conseqüentemente, na diminuição das margens de lucro. Dessa forma, torna-se imprescindível adotar estratégias que garantam

a diferenciação dos serviços oferecidos, bem como a eficiência na gestão dos custos operacionais.

Para superar esses desafios, a implementação de ferramentas da qualidade representa uma alternativa viável e eficaz. A adoção dessas técnicas possibilita a melhoria contínua dos processos internos, permitindo a redução de desperdícios e o aumento da produtividade. Além disso, a aplicação dessas ferramentas proporciona uma gestão mais eficiente, facilitando a tomada de decisões estratégicas e promovendo a sustentabilidade do negócio a longo prazo.

No presente estudo, foram aplicadas cinco ferramentas da qualidade. A primeira foi a Folha de verificação, em que foi utilizada para registrar e analisar a frequência de eventos ou problemas recorrentes na empresa. Na lavagem automotiva, foi empregada para monitorar desperdícios, defeitos nos equipamentos ou reclamações dos clientes, permitindo a identificação de padrões e pontos críticos a serem melhorados (INÁCIO *et. al*, 2023).

Em seguida, aplicou-se o Diagrama de Ishikawa, também conhecido como Espinha de Peixe, para auxiliar na identificação das causas raízes dos problemas, organizando-as em cinco categorias como:

- **Máquina:** Defeitos nos equipamentos de lavagem;
- **Mão de obra:** Falta de capacitação dos funcionários;
- **Materiais:** Uso inadequado de produtos de limpeza;
- **Métodos:** Falta de padronização nos processos;
- **Meio ambiente:** Condições climáticas interferindo na demanda.

Com essa análise, foi possível determinar quais fatores impactam negativamente a operação e buscar soluções assertivas (INÁCIO *et. al*, 2023).

Em terceiro, aplicou-se a Matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência), que auxiliou na priorização dos problemas identificados. Cada problema recebeu uma pontuação com base na sua gravidade, na urgência de sua solução e na tendência de piora ao longo do tempo, variando da nota 1 até 5. Assim, definiu-se quais problemas devem ser resolvidos primeiro, otimizando a tomada de decisão (MARTINS, 2018).

Por fim, a ferramenta de qualidade 5W2H é uma ferramenta prática para elaborar planos de ação com base nas seguintes perguntas:

- **What (O quê?):** Qual o problema a ser resolvido?
- **Why (Por quê?):** Qual a justificativa para a solução?
- **Where (Onde?):** Onde será aplicada a solução?
- **When (Quando?):** Qual o prazo para implementação?
- **Who (Quem?):** Quem será responsável?
- **How (Como?):** Como será implementada a solução?
- **How much (Quanto custa?):** Qual será o custo da solução?

Essa ferramenta permitiu estruturar e acompanhar ações corretivas e preventivas de forma eficaz (JUNIOR *et. al*, 2021).

As ferramentas de qualidade supracitadas foram escolhidas para este estudo porque oferecem uma abordagem sistemática e eficaz na identificação e resolução de problemas operacionais, contribuindo para a melhoria contínua dos processos da empresa. A Folha de Verificação foi utilizada para coletar e organizar dados sobre desperdícios e falhas nos equipamentos, permitindo a identificação de padrões críticos. O Diagrama de Ishikawa, por sua vez, ajudou a estruturar as causas dos problemas, classificando-as em categorias como máquina, mão de obra, materiais, métodos e meio ambiente, facilitando a compreensão das origens das ineficiências no processo de lavagem automotiva.

Além disso, a Matriz GUT foi aplicada para priorizar os problemas mais impactantes, atribuindo notas com base na gravidade, urgência e tendência de piora, o que auxiliou na tomada de decisões estratégicas. Já a ferramenta 5W2H possibilitou a criação de planos de ação estruturados, definindo o que deveria ser feito, por que, onde, quando, por quem, como e com qual custo, garantindo a implementação eficiente das soluções. Dessa forma, a escolha dessas ferramentas foi fundamental para reduzir desperdícios, otimizar os processos e tornar a empresa mais competitiva no mercado, promovendo maior eficiência operacional e sustentabilidade financeira.

2. METODOLOGIA

Este trabalho possui um caráter exploratório, adotando tanto uma abordagem qualitativa quanto quantitativa e utiliza o estudo de caso como método de investigação. Segundo Martins (2018), a pesquisa exploratória tem como objetivo conhecer, identificar e analisar o problema em sua totalidade. Esse tipo de pesquisa conta com um

planejamento flexível, permitindo a consideração de diversos aspectos do processo de forma abrangente.

A coleta de dados envolveu fontes primárias e secundárias. As fontes primárias consistiram em informações obtidas diretamente por meio de entrevistas com os sócios, possibilitando a obtenção de dados qualitativos. Já os dados secundários foram obtidos por meio da coleta e análise de amostras, sendo esses quantitativos.

De acordo com Martins (2018), o estudo de caso é uma investigação empírica que analisa fenômenos dentro de seu contexto real, sem que o pesquisador tenha controle sobre as variáveis e eventos. O objetivo desse método é compreender a situação de forma ampla e criativa, descrevendo e interpretando sua complexidade.

3 EMPRESA

A empresa está localizada em Goioerê, uma cidade do interior do Paraná com uma população de 28.437 habitantes, de acordo com dados do IBGE de 2022. Fundada em 2020, a empresa é de caráter familiar e conta com dois sócios que atuam diretamente na prestação dos serviços, além de um funcionário contratado. Especializada em estética automotiva, a empresa oferece diversos serviços, incluindo lavagem convencional, enceramento, polimento, lavagem de motor e higienização de bancos. No entanto, para este estudo, a análise concentrou-se especificamente no serviço de lavagem de carros, que representa a principal demanda do estabelecimento.

Neste contexto, O objetivo central foi obter e analisar os custos operacionais e fixos da empresa, utilizando cinco ferramentas da qualidade como base metodológica. A intenção foi aprimorar a eficiência operacional, reduzir custos, evitar desperdícios e aumentar a lucratividade.

A coleta de dados foi conduzida por meio de entrevistas estruturadas com os dois sócios, observação direta do ambiente de trabalho e análise detalhada dos registros financeiros. As entrevistas tiveram duração média de 15 minutos para a explicação de cada pergunta, que abordaram questões relacionadas aos principais custos fixos e variáveis, sendo que as principais perguntas foram:

- Quantos carros são lavados por mês?
- Qual a quantidade média de produtos utilizados para cada 150 lavagens?

- Quais são os principais equipamentos utilizados e qual seu consumo médio de energia?
- Qual é o custo médio mensal com água e energia elétrica?
- Quais são os custos fixos mensais da empresa?
- Qual a periodicidade da manutenção dos equipamentos e seus custos?
- Existem variações sazonais no número de veículos atendidos?
- Como os sócios calculam os custos e despesas da empresa?
- Existem desperdícios que podem ser minimizados?

A análise documental (fontes secundárias) permitiu identificar os problemas mais recorrentes na empresa estudada. Além disso, a observação direta possibilitou a obtenção de informações complementares por meio de visitas ao local, contribuindo para uma compreensão mais aprofundada das dinâmicas internas da empresa.

A classificação dos custos foi dividida em três categorias principais, considerando a relação entre os gastos, o volume de carros atendidos e a periodicidade dos custos. A escolha do intervalo de 150 carros como parâmetro para a análise dos custos foi baseada no critério adotado pelos sócios, que calculam seus custos e despesas com base nessa quantidade de veículos atendidos.

A metodologia utilizada combinou abordagens qualitativas e quantitativas, garantindo uma análise abrangente e embasada. A integração dessas estratégias reforçou a eficácia das ferramentas da qualidade na identificação e solução de problemas, contribuindo para a melhoria contínua e a competitividade do negócio.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dados coletados

Com base nas informações fornecidas pelos sócios da empresa "*Clebinho Lavar Car*", que abrangeu tanto os custos operacionais quanto os fixos relacionados à sua operação, foi possível obter uma análise detalhada dos custos operacionais do negócio de lavagem automotiva para entender melhor como funcionam os custos e as despesas. Para melhor compreensão dos custos, os dados obtidos foram convertidos na tabela 1.

Tabela 1 - Dados de custo a cada 150 carros

Recursos Operacionais	Quantidade	Custo (R\$)
Sabão	100 L	290,00
Água	-	-
Energia	-	500,00
Pano para limpeza	1	20
Cera automotiva	0,5 L	70
Pretinho	5 L	40
Total	-	920,00

Fonte: (Autoria própria, 2025)

Como pode ser observado na tabela 1, os custos de insumos para atender 150 carros estão razoavelmente controlados, especialmente, devido ao uso de água proveniente de um poço, o que elimina um custo potencialmente significativo. Contudo, a energia elétrica representou um dos maiores custos variáveis, sugerindo que a adoção de práticas de eficiência energética pode reduzir despesas.

Além dos custos operacionais, analisou-se os custos mensais fixos da empresa. Para melhor interpretação, os dados foram convertidos na tabela 2.

Tabela 2 - Dados custos mensais fixos da empresa

Custos Operacionais	Custo (R\$)
MEI	80,00
Salário funcionário	1.800,00
Salário sócio	5.000,00
Energia	500,00
Local	2.500,00
Total	9.880,00

Fonte: (Autoria própria, 2025)

Como pode ser analisado na tabela 2, os maiores custos fixos estão relacionados aos salários dos sócios e ao aluguel do local. Esses valores reforçam a importância de garantir um fluxo constante de clientes para cobrir os custos e gerar lucro. O custo mensal total é de R\$9.880,00, exigindo uma gestão eficaz e estratégias de marketing para fidelizar clientes.

4.2 Ferramentas de Qualidade Aplicadas

Neste estudo, a primeira ferramenta de qualidade aplicada foi a folha de verificação com o objetivo de identificar o maior custo operacional da empresa, a fim de direcionar a aplicação das demais ferramentas da qualidade para solucionar o problema identificado. A tabela 3 apresenta os dados coletados.

Tabela 3 - Folha de verificação

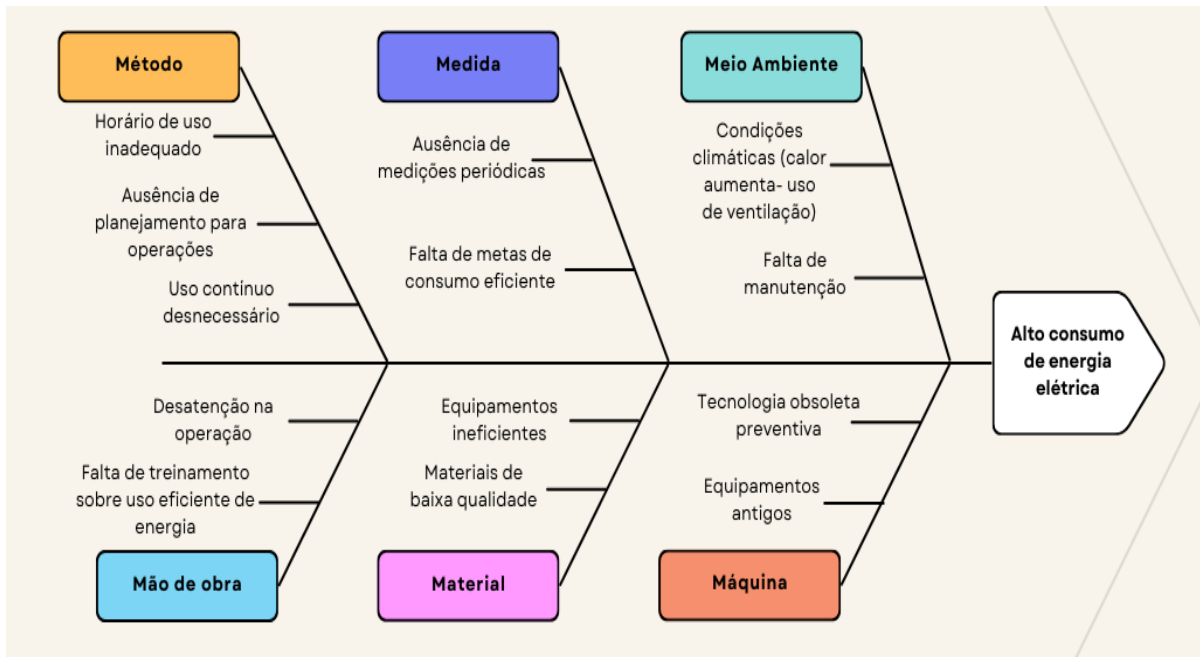
Item	Quantidade	Ocorrências	Custo Total (R\$)
Sabão	100 L	1	290,00
Água	-	-	-
Energia	-	1	500,00
Pano para limpeza	1	1	20
Cera automotiva	0,5 L	1	70
Pretinho	5 L	1	40
Total	-	-	920,00

Fonte: (Autoria própria, 2025)

Conforme evidenciado na tabela 3, o item que representa o maior custo operacional é a energia, com um gasto de R\$500,00, correspondendo a mais de 50% do custo total. Diante desse resultado, o consumo de energia elétrica foi definido como o principal problema a ser investigado e solucionado, uma vez que seu impacto financeiro é significativo para a operação da empresa.

Após a identificação do maior custo operacional, juntamente com os sócios, aplicou-se o diagrama de Ishikawa para identificar quais são as causas desse problema. A figura 1 apresenta o digrama de causa e efeito:

Figura 1 - Diagrama de Ishikawa



Fonte: (Autoria própria, 2025)

Como pode ser observado na figura 1, o alto consumo de energia elétrica pode ser atribuído a uma combinação de fatores relacionados a diferentes aspectos operacionais e organizacionais. Em relação ao método, observa-se a ausência de planejamento para operações, o que leva ao uso contínuo e desnecessário dos equipamentos, bem como à falta de metas de consumo eficiente. Essas lacunas resultam em desperdício de energia, já que não há diretrizes claras para otimizar o uso dos recursos.

No que diz respeito à mão de obra, a desatenção na operação e a falta de treinamento sobre uso eficiente de energia são pontos críticos. Os colaboradores podem não estar cientes das melhores práticas para reduzir o consumo, o que reforça a necessidade de capacitação e conscientização sobre o tema.

Quanto às medidas, a ausência de medições periódicas impede a identificação de padrões de consumo e a detecção de anomalias. Sem dados precisos, torna-se difícil implementar ações corretivas ou preventivas para melhorar a eficiência energética.

No aspecto de materiais, o uso de equipamentos ineficientes e materiais de baixa qualidade contribui para o aumento do consumo de energia. Equipamentos que não são projetados para operar com eficiência energética tendem a demandar mais energia para desempenhar suas funções, gerando custos elevados.

O meio ambiente também exerce influência, uma vez que condições climáticas adversas, como o calor excessivo, podem aumentar a demanda por sistemas de ventilação

e refrigeração. Esse cenário agrava o consumo de energia, especialmente se não houver estratégias para mitigar esses efeitos.

Por fim, em relação às máquinas, a falta de manutenção preventiva, o uso de tecnologia obsoleta e equipamentos antigos são fatores que impactam diretamente o consumo energético. Equipamentos desatualizados ou mal conservados tendem a operar com menor eficiência, consumindo mais energia. Além disso, o horário de uso inadequado pode sobrecarregar a rede elétrica, especialmente em períodos de pico, aumentando ainda mais os custos.

Conhecendo as causas do alto consumo de energia da empresa, aplicou-se a matriz GUT para identificar quais causas são prioritárias e necessitam de atenção e solução urgentemente. A Matriz GUT foi aplicada considerando três critérios: Gravidade (G), que mede o impacto do problema, Urgência (U), que avalia a necessidade de ação imediata, e Tendência (T), que indica a probabilidade de o problema se agravar ao longo do tempo. A multiplicação desses três fatores ($G \times U \times T$) resulta em uma pontuação que permite classificar os problemas em ordem de prioridade. Os resultados obtidos encontram-se na tabela 4, a seguir:

Tabela 4 - Matriz GUT (Alto consumo de energia elétrica)

Alto consumo de energia elétrica					
Problema	G	U	T	$G*U*T$	Classificação
Falta de metas de consumo eficiente	5	5	5	125	1°
Falta de manutenção	5	5	5	125	2°
Equipamentos antigos	5	5	5	125	3°
Uso contínuo desnecessário	5	5	4	100	4°
Ausência de planejamento para operações	5	5	4	100	5°

Tecnologia obsoleta preventiva	4	4	4	64	6°
Equipamentos ineficientes	4	4	4	64	7°
Falta de treinamento sobre uso eficiente de energia	4	4	4	64	8°
Materiais de baixa qualidade	3	3	3	27	9°
Condições climáticas (calor aumentado uso de ventilação)	3	3	2	18	10°
Horário de uso inadequado	3	3	1	9	11°
Desatenção na operação	1	1	1	1	12°
Ausência de medições periódicas	1	1	1	1	13°

Fonte: (Autoria própria, 2025)

Dentre os problemas analisados, os mais críticos são a falta de metas de consumo eficiente, a falta de manutenção e o uso de equipamentos antigos, todos com *score* máximo de 125. A ausência de metas claras para o consumo de energia é o problema mais grave, pois sem diretrizes bem definidas, não há como orientar esforços para reduzir o desperdício. Isso resulta em um consumo descontrolado e contínuo, exigindo ações imediatas, como a definição de indicadores e objetivos mensuráveis.

A falta de manutenção também se destaca como um problema prioritário, já que equipamentos mal conservados operam com menor eficiência, consumindo mais energia

e aumentando o risco de falhas. A implementação de um programa de manutenção preventiva é essencial para mitigar esse cenário. Além disso, os equipamentos antigos, que tendem a ser menos eficientes energeticamente, também demandam atenção urgente, com a modernização do parque de máquinas e a substituição por tecnologias mais recentes e econômicas.

Em seguida, aparecem problemas como o uso contínuo desnecessário e a ausência de planejamento para operações, ambos com *score* de 100. O uso contínuo de equipamentos sem necessidade é um problema grave e urgente, mas com tendência ligeiramente menor em comparação aos três primeiros. A implementação de políticas para desligar equipamentos ociosos e otimizar horários de operação pode reduzir significativamente o consumo. Já a falta de planejamento leva a operações ineficientes e ao desperdício de energia, sendo fundamental a criação de um plano operacional que inclua diretrizes para o uso eficiente de energia.

Entre os problemas de média prioridade, com *scores* entre 27 e 64, destacam-se a tecnologia obsoleta, os equipamentos ineficientes, a falta de treinamento sobre uso eficiente de energia e os materiais de baixa qualidade. A utilização de tecnologias ultrapassadas e equipamentos que não são projetados para eficiência energética contribui para o alto consumo, sendo necessária a substituição por modelos mais eficientes, especialmente para os equipamentos mais críticos.

A falta de capacitação dos colaboradores também é um problema relevante, pois afeta a eficiência energética. Programas de treinamento podem melhorar a conscientização e promover práticas mais sustentáveis. Já os materiais de baixa qualidade, embora tenham um impacto menor, também devem ser substituídos por alternativas de melhor qualidade como parte de uma estratégia de melhoria contínua.

Por fim, entre os problemas de baixa prioridade, com *scores* abaixo de 27, estão as condições climáticas, o horário de uso inadequado, a desatenção na operação e a ausência de medições periódicas. O calor excessivo, por exemplo, aumenta o uso de sistemas de ventilação e refrigeração, mas é um fator externo de menor controle. Soluções como isolamento térmico e uso de equipamentos mais eficientes podem mitigar esse impacto. O uso de equipamentos em horários de pico, embora aumente os custos, têm menor gravidade e urgência, podendo ser resolvido com ajustes nos horários de operação. A desatenção dos operadores e a falta de medições foram consideradas de baixa prioridade, mas é importante ressaltar que a coleta de dados é essencial para monitorar e controlar o

consumo de energia ao longo do tempo.

A aplicação da ferramenta 5W2H após a priorização das causas do problema de alto consumo de energia elétrica permitiu a elaboração de um plano de ação detalhado e estruturado. O 5W2H é uma metodologia que responde a sete perguntas-chave: What? (O que?), Why? (Por quê?), Where? (Onde?), When? (Quando?), Who? (Quem?), How? (Como?) e How much? (Quanto?). Essa abordagem garante que todas as ações sejam planejadas de forma clara, com responsáveis definidos, prazos estabelecidos e custos estimados. A tabela 5, apresenta a análise detalhada de cada ação proposta:

Tabela 5 - Ferramenta 5W2H

What?	Why?	Where?	When?	Who?	How?	How much?
O que?	Por que?	Onde?	Quando?	Quem?	Como?	Quanto?
Falta de metas de consumo eficiente	Cosumo desenfreado da energia pelos funcionários	Na empresa	10/02/2025	Gabriela	Estipular um tempo mínimo e máximo para utilizar o aspirador, luzes ou tudo que depende de energia elétrica	R\$0,00
Falta de manutenção	Os sócios somente realizam as manutenções quando algum equipamento quebrava	Na empresa	11/02/2025	Cleber	Realizar manutenções preventivas em cada equipamento todos os dias antes de iniciar a jornada de trabalho	R\$0,00
Equipamento s antigos	Por se tratar de uma empresa que utiliza um maquinário antigo, o consumo de energia desses equipamentos é maior do que os modernos	Na empresa	13/02/2025	Gabriela	Realizar a troca de pelo menos um equipamento para otimizar um pouco o consumo	R\$1.500,00

Ausência de planejamento para operações	Realizar a limpeza de forma desorganizada e despadronizada	Na empresa	14/02/2025	Cleber	Desenvolver um padrão de limpeza para os carros	R\$0,00
Falta de treinamento sobre uso eficiente de energia	Falta de informação de como otimizar o consumo de energia	Na empresa	15/02/2025	Gabriela	Contratar um treinamento sobre como utilizar a energia de forma eficiente	R\$500,00
Materiais de baixa qualidade	Falta de qualidade dos materiais dos equipamentos ou até mesmo da fiação empresa	Na empresa	16/02/2025	Cleber	Contatar um eletricitista para verificar os equipamentos e fiação	R\$600,00
Desatenção na operação	Falta de interesse pelo operador	Na empresa	17/02/2025	Gabriela	Conversar com os funcionários para redobrem a atenção durante a manipulação dos equipamentos	R\$0,00

Fonte: (Autoria própria, 2025)

Como pode ser observado na tabela 5, em primeiro lugar observa-se a falta de metas de consumo eficiente, o que leva a um consumo desenfreado de energia pelos funcionários. Esse problema ocorreu na empresa e foi identificado para ser resolvido até 10/02/2025, sob a responsabilidade de Gabriela. A solução proposta é estipular um tempo mínimo e máximo para o uso de equipamentos elétricos, como aspiradores e luzes, sem custo adicional. Essa medida pode promover uma cultura de consumo consciente, mas depende da adesão e fiscalização dos colaboradores.

Outro ponto crítico foi a falta de manutenção preventiva, onde os sócios apenas realizam reparos quando os equipamentos quebram. Cleber, responsável por realizar essa questão, deve realizar manutenções preventivas diárias antes do início das atividades, também sem custo. Essa prática pode reduzir falhas e prolongar a vida útil dos equipamentos, evitando gastos maiores no futuro.

O uso de equipamentos antigos também é um problema, já que consomem mais energia do que os modelos modernos. Gabriela, ficou responsável por essa ação e propôs a troca de pelo menos um equipamento para otimizar o consumo, com um custo estimado de R\$1.500,00. Embora seja uma solução eficaz, o investimento inicial pode ser um obstáculo, dependendo da situação financeira da empresa.

A ausência de planejamento para operações resultou em uma limpeza desorganizada e desperdiçadora de recursos. Foi proposto desenvolver um padrão de limpeza para os carros, que ficou responsável é o Cleber e sem custo adicional. Essa medida pode melhorar a eficiência operacional e reduzir o desperdício de energia e materiais.

A falta de treinamento sobre o uso eficiente de energia é outro desafio, levando a um consumo inadequado. Sugeriu-se contratar um treinamento para orientar os funcionários, com um custo de R\$500,00, a responsável foi a Gabriela. Essa iniciativa pode aumentar a conscientização e promover práticas sustentáveis, mas depende da qualidade do treinamento e do engajamento da equipe.

Por fim, os materiais de baixa qualidade dos equipamentos e da fiação elétrica representaram um risco. Foi proposto contratar um eletricista para avaliar e corrigir possíveis problemas, com um custo de R\$600,00. Essa ação é essencial para garantir a segurança e a eficiência energética, mas pode exigir investimentos adicionais dependendo das correções necessárias.

Em suma, a empresa enfrenta desafios significativos relacionados ao consumo de energia e à gestão de recursos, que variam desde a falta de planejamento e manutenção até o uso de equipamentos obsoletos. As soluções propostas são viáveis e podem trazer benefícios a médio e longo prazo, mas dependem de investimentos iniciais, mudanças culturais e comprometimento da equipe. A implementação dessas medidas pode resultar em uma operação mais eficiente, sustentável e econômica.

5. CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de ferramentas da qualidade demonstrou ser uma estratégia eficaz para otimizar custos operacionais em pequenas empresas de serviços automotivos. O estudo destacou a importância de treinamentos, eficiência energética e monitoramento contínuo para garantir a sustentabilidade financeira e a competitividade.

A análise detalhada dos custos operacionais e fixos da empresa "Clebinho Lavar Car" revelou que o consumo de energia elétrica representa um dos principais desafios

financeiros do negócio. A aplicação de ferramentas de qualidade, como a folha de verificação, o diagrama de Ishikawa, a matriz GUT e a metodologia 5W2H, permitiu a identificação das causas-raiz do problema e a definição de soluções estruturadas para otimizar a eficiência operacional e reduzir custos.

Os resultados mostraram que a ausência de metas de consumo eficiente, a falta de manutenção preventiva e o uso de equipamentos antigos são os fatores mais críticos para o alto consumo de energia. A implementação de soluções como a definição de diretrizes para o uso racional de energia, a realização de manutenções periódicas e a substituição gradual dos equipamentos antigos por modelos mais eficientes são estratégias essenciais para mitigar esses impactos.

Diante desses achados, é possível recomendar algumas boas práticas para empresas do mesmo setor que desejam aplicar ferramentas de qualidade para otimizar seus processos e reduzir custos:

- **Monitoramento Contínuo dos Custos Operacionais:** Manter registros detalhados dos insumos utilizados e dos gastos fixos permite uma gestão mais eficiente e identificação de oportunidades de economia.
- **Definição de Metas de Eficiência Energética:** Estabelecer indicadores e metas claras para reduzir o desperdício de energia, com acompanhamento periódico do consumo.
- **Manutenção Preventiva dos Equipamentos:** Realizar inspeções regulares e manutenção preventiva evita falhas inesperadas e melhora a eficiência energética.
- **Investimento em Equipamentos Mais Eficientes:** Avaliar a substituição gradual de máquinas antigas por versões mais modernas e econômicas pode reduzir significativamente os custos a longo prazo.
- **Capacitação dos Funcionários:** Treinar a equipe sobre boas práticas de consumo eficiente de energia contribui para a redução de desperdícios e aumenta a conscientização organizacional.
- **Planejamento das Operações:** Desenvolver padrões operacionais e otimizar os horários de funcionamento dos equipamentos minimiza desperdícios e melhora a produtividade.
- **Uso de Materiais de Melhor Qualidade:** A aquisição de insumos e materiais mais duráveis pode evitar desperdícios e reduzir custos indiretos.

A implementação dessas práticas, aliada às ferramentas de qualidade utilizadas neste estudo, pode auxiliar empresas do segmento de lavagem automotiva a alcançar maior eficiência operacional, reduzir custos e melhorar sua sustentabilidade financeira. A adoção dessas estratégias não apenas impacta positivamente a lucratividade, mas também fortalece a competitividade no mercado ao garantir serviços de maior qualidade e menor impacto ambiental.

Com isso, fica evidente que a gestão eficiente dos recursos energéticos e a utilização de ferramentas da qualidade podem proporcionar uma redução significativa nos custos operacionais, garantindo maior sustentabilidade ao empreendimento e melhor satisfação dos clientes.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a exploração de outras ferramentas da qualidade e a avaliação de seu impacto em diferentes setores, bem como a análise de custos indiretos relacionados às operações empresariais.

REFERÊNCIAS

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Estimativas da população residente para os municípios e para as Unidades da Federação*. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 mar. 2025.

INÁCIO, J. M.; OLIVEIRA, T. C.; PEREIRA, A. L. **Diagrama de Ishikawa na Identificação de Causas-Raiz**. Curitiba: Editora UFPR, 2023.

JUNIOR, C. A.; MARTINS, P. R.; SOUZA, M. F. **Ferramentas da Qualidade para Pequenas Empresas**. Maringá: Eduem, 2021.

MARTINS, R. S. **Gestão da Qualidade: Ferramentas e Métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.

SILVA, A. B. **Qualidade Total: Estratégias para a Excelência**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2017.

CAPÍTULO XXX

INSTABILIDADE LOCAL EM ESTRUTURAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO

**M'mylla Roberta Silva Sarmento
Rafael Wandson Sena Rocha
Thiarly Feitosa Afonso de Lavôr
John Willams Ferreira de Souza**

DOI: 10.5281/zenodo.17307747

1. INTRODUÇÃO

A imposição do ser humano em desenvolver diferentes meios na construção é um reflexo da constante e incansável busca por soluções que sejam mais eficientes, econômicas e suscetíveis à redução de tempo para atender às crescentes demandas da sociedade moderna. A necessidade de utilizar estruturas mistas de aço concreto é uma reflexão crucial na engenharia civil contemporânea.

Ao escolher entre diferentes tipos de estruturas na construção civil, a decisão é fortemente influenciada pelas propriedades mecânicas de cada material (Cortez *et al.*, 2017). O concreto é notável por sua robustez e capacidade de suportar cargas de

compressão, devido à sua natureza densa e resistente. No entanto, sua capacidade de resistir à tração é inferior em comparação com o aço. Este último se destaca por sua resistência à tração, tornando-o ideal para aplicações onde essa tensão é predominante. Por outro lado, apesar de sua resistência à tração, estruturas de aço tendem a ser muito esbeltas, o que pode ser prejudicial em alguns casos, influenciando diretamente a possibilidade de deformação por flambagem (Bastos, 2024).

Ao abordar a união desses dois materiais sob uma ótica estritamente normativa e metodológica, é possível notar que sua combinação proporciona a síntese das características positivas de cada um para a concepção de estruturas mais eficientes e versáteis (Cabral; Martins; Braga, 2016). Em outras palavras, a combinação de aço e concreto, conforme discutido anteriormente, permite aproveitar as vantagens de ambos os materiais de forma integrada. Onde o concreto tem deficiência na resistência à tração, o aço complementa com sua capacidade de suprimir esse esforço. Da mesma forma, onde o aço é menos eficiente, como em cargas de compressão, o concreto compensa essa deficiência. Assim, ao unir esses materiais, é possível criar uma estrutura otimizada em termos de resistência, durabilidade, economia e desempenho global, onde as desvantagens individuais são integralmente supridas.

Através dessa abordagem, ao discutir o termo “elementos mistos”, uma série diversificada de componentes é considerada. Exemplos incluem pilares, lajes e vigas, entre outros. Este trabalho se concentrará na instabilidade local dos pilares nos quais o aço e o concreto armado colaboram em conjunto. Entretanto, é crucial destacar que o conceito de “estruturas mistas”, particularmente na interação entre estes dois materiais, não pode ser reduzido ao seu aspecto mais simples. Por trás dessa designação, há uma multiplicidade de elementos e conceitos que contribuem para sua complexidade e abrangência.

Quando se discute a importância dos pilares, é crucial reconhecer sua relevância como elemento estrutural fundamental em qualquer construção. Responsáveis por suportar tanto as cargas verticais permanentes, como o peso próprio da estrutura, quanto as cargas variáveis, como equipamentos e ocupantes, e por transferi-las para as fundações, esses elementos demandam uma abordagem cuidadosa em todas as etapas do processo de planejamento e construção (Silva, 2012). Se tratando destes em sua condição mista, de modo mais específico, os pilares mistos de aço e concreto consistem em um ou mais perfis de aço ligados entre si trabalhando em conjunto com o concreto, simples ou

armado, solicitados à compressão ou à flexocompressão.

Ainda se tratando destes, é importante destacar a complexidade das normas regulamentadoras, pois a segurança e o desempenho estrutural desses componentes estão intrinsecamente ligados à execução das diretrizes correspondentes. No Brasil, a ABNT NBR 8800:2008 fornece uma orientação minuciosa sobre como combinar aço e concreto, abordando temas como a interação entre os materiais, o comportamento diante de diferentes cargas e os procedimentos de dimensionamento, que são cruciais para assegurar a estabilidade e a durabilidade das estruturas.

No que diz respeito à norma brasileira ABNT NBR 8800:2008, define-se quatro categorias de pilares mistos, classificadas conforme suas seções e tipos de revestimento. Esses pilares desempenham um papel crucial ao combinar os benefícios do aço e do concreto, oferecendo uma eficiência estrutural superior. A norma inclui:

- Seção retangular de concreto com revestimento total ou parcial;
- Perfil I ou H, com armaduras longitudinais;
- Perfis tubulares retangulares ou circulares de aço, preenchidos ou não com concreto armado.

Em razão do que foi abordado anteriormente, um aspecto fundamental a ser levado em conta ao projetar esses pilares é a instabilidade local, a qual se origina especialmente das propriedades geométricas do pilar e sua relação direta com a resistência. Essa instabilidade local pode ocorrer em pontos determinados do pilar, como nas paredes de perfis metálicos, que podem sofrer flambagem local antes que a resistência total do elemento seja alcançada.

A forma do pilar é essencial para sua performance estrutural. Perfis mais esbeltos são geralmente mais suscetíveis à instabilidade, enquanto seções com maior seção conseguem dispersar as tensões entre o aço e o concreto de maneira mais eficiente, aumentando a resistência geral. Nos perfis mistos, o concreto não apenas colabora para a resistência à compressão, mas também serve para limitar as deformações locais do aço, proporcionando maior estabilidade ao sistema como um todo.

Assim, é fundamental entender as normas que regem os pilares mistos, não apenas para um dimensionamento preciso, mas também para antecipar e minimizar possíveis falhas causadas por instabilidades. A aplicação cuidadosa dessas diretrizes assegura que as estruturas sejam elaboradas com uma margem de segurança apropriada, considerando

as especificidades dos diversos tipos de seções, materiais e condições de carga.

2. METODOLOGIA

Para aprofundar o entendimento sobre a temática abordada, foi realizada uma extensa pesquisa em bases acadêmicas, abrangendo conceitos relacionados a estruturas de concreto, metálicas e mistas. Para uma melhor compreensão deste trabalho, desenvolveu-se um embasamento teórico abrangente, desde definições básicas até questões complexas de dimensionamento e instabilidades locais.

Além disso, com base na norma vigente, foi realizado um estudo da norma brasileira ABNT NBR 8800:2008, que aborda pilares mistos e elementos submetidos à compressão. A escolha dessa norma deve-se à sua relevância e aplicabilidade no contexto das estruturas mistas, permitindo uma análise criteriosa e fundamentada das melhores práticas e requisitos técnicos para o dimensionamento e a segurança dessas estruturas.

Para validar os métodos distintos abordados pelas normas envolvidas, foram demonstrados inicialmente dois exemplos de dimensionamento de pilares mistos, conforme os itens 14.15.1 e 14.15.2 do livro "Dimensionamento de Elementos Estruturais de Aço e Mistos de Aço e Concreto" de Fakury, Silva e Caldas (2016). O primeiro exemplo trata de um pilar misto de aço e concreto com comprimento de 3,5 metros, perfil metálico HP 310x79 totalmente revestido por concreto, com seção de 450 mm, armadura longitudinal de 4 barras de 16 mm de diâmetro, cobrimento de 35 mm e estribos de 5 mm espaçados a 180 mm, e resistência característica do concreto de 40 MPa.

O segundo exemplo aborda um pilar misto de aço e concreto parcialmente revestido, com comprimento de 3 metros, seção retangular de 300 mm por 350 mm, perfil metálico PS 350x300x9,5x8, concreto com resistência de 40 MPa, armadura longitudinal de oito barras de 12,5 mm de diâmetro, cobrimento de 35 mm e estribos de 5 mm espaçados a 150 mm.

Após demonstrar o passo a passo dos cálculos das propriedades geométricas e mecânicas dos componentes, verificação do cobrimento do perfil para evitar flambagem local, e cálculo da força axial de compressão resistente, será apresentado um terceiro exemplo, criado para este estudo.

Neste exemplo, o pilar a ser dimensionado pertence a um edifício residencial de 10 pavimentos típicos acima do térreo, com pé-direito de 3 metros por andar. É adotada uma

única seção transversal ao longo de todo o pilar, de 600 mm. O perfil de aço escolhido é o CS 600x250, com o aço USI CIVIL 350 e a resistência característica do concreto à compressão é de 40 MPa. Os cálculos de verificação para a não ocorrência de instabilidade local foi demonstrado com base na Norma ABNT NBR 8800:2008.

Primeiramente, foram calculadas, com base nas formulações específicas, as relações entre as propriedades geométricas e mecânicas dos componentes. O foco será nas especificações de instabilidade local conforme a norma, levando em consideração se a seção apresenta revestimento total ou parcial. Em seguida, será abordado o cálculo da relação da mesa do elemento, considerando todos os fatores pertinentes de largura e espessura.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Estruturas Mistas de Aço e Concreto

O conceito de estruturas mistas emergiu da busca por soluções construtivas mais eficientes e econômicas que aproveitassem as propriedades complementares de diferentes materiais (Alva, 2006). A adoção destas, inicialmente foi motivada pela necessidade de proteger os perfis de aço contra a ação do fogo, uma vez que o concreto, ao envolver o aço, atua como uma barreira térmica, retardando a elevação da temperatura e a perda de resistência do aço durante incêndios. Conforme estabelecido por Chaves (2009), a combinação de perfis de aço e concreto em um único componente forma uma estrutura mista, tendo em vista que, essa integração é viabilizada através de conectores de cisalhamento ou pela força de atrito entre os materiais, assegurando a transferência adequada de esforços.

Segundo Bianchi (2002), estruturas compostas de aço-concreto representam sistemas nos quais componentes de aço estrutural interagem com elementos de concreto para resistir às ações externas. Esta técnica construtiva consiste na combinação de diferentes materiais para formar uma estrutura forte e notavelmente eficiente, permitindo a compensação entre um material e outro (Sá; Santos, 2014). Em resumo, as limitações individuais dos materiais são ultrapassadas e seus benefícios complementares são aproveitados (Alva, 2006).

As estruturas mistas de aço e concreto são uma solução construtiva que combina o melhor de dois materiais com características complementares, resultando em construções mais eficientes, econômicas e versáteis, além de alcançar grandes vãos, ela permite alcançar locais de difícil acesso e grandes balanços (Sá; Santos, 2014). Em outras palavras, a essência das estruturas mistas de aço e concreto reside na sua habilidade de alocar os esforços de maneira apropriada para cada material, aproveitando ao máximo suas características (Chaves, 2009).

Esse comportamento interativo é proporcionado pela tensão de aderência entre o aço e o concreto, ou, se esta for excedida, por meio da utilização dos conectores de cisalhamento (Bianchi, 2002). De acordo com Carini (2014), se não houvesse conexão entre o aço e o concreto, os elementos se deformariam de maneira autônoma, resultando em um deslizamento relativo entre as superfícies em contato e a resistência seria a soma das resistências individuais.

Ainda de acordo com Chaves (2009), quando aplicadas corretamente, essas estruturas se tornam muito eficientes, pois permitem que cada elemento suporte cargas de acordo com suas propriedades específicas, oferecendo resistência contra fissuras e deslocamentos excessivos. Comparando-se com as condições correntes do concreto armado por exemplo, a construção em sistema misto aço-concreto é competitiva para estruturas de vãos médios a elevados, caracterizando-se pela rapidez de execução e pela significativa redução do peso total da estrutura, propiciando assim fundações mais econômicas (Alva, 2006).

É válido que as estruturas mistas podem ser desenvolvidas e construídas utilizando uma ampla gama de materiais, e é comum encontrar tipologias de construções incorretamente associadas a esse conceito, dependendo do contexto utilizado. Embora sejam compostas, a ideia de hibridez em estruturas é frequentemente confundida. Quanto a isso, ao combinar diferentes materiais, busca-se aproveitar as vantagens individuais. No entanto, ao contrário das estruturas mistas, esses sistemas não funcionam integradamente, cada material opera de maneira independente (Cabral; Martins; Braga, 2016).

Dentro deste contexto, ainda de acordo com Cabral, Martins e Braga (2016), é crucial estabelecer uma distinção conceitual entre os termos previamente discutidos e também entre estruturas mistas e materiais mistos. Estruturas mistas são constituídas por componentes visíveis e rígidos, enquanto materiais mistos são compostos por

elementos internos. Em outras palavras, o primeiro termo destaca-se pelos elementos integrados que trabalham de forma sinérgica para suportar cargas e transmitir forças.

Os elementos mistos de aço e concreto são usados especialmente como pilares, vigas e lajes. Um exemplo seria perfis metálicos H, os quais podem ser revestidos total ou parcialmente por concreto (Fakury; Silva; Caldas, 2015). Por outro lado, o concreto armado e o concreto protendido são exemplos de materiais mistos, pois as barras de aço e as cordoalhas, engraxadas ou não, são flexíveis e internos (Cabral; Martins; Braga, 2016). Conforme Bastos (2023) ressalta, o concreto armado representa uma combinação de concreto simples com uma armadura, usualmente composta por barras de aço. Ambos devem resistir de forma conjunta aos esforços solicitantes, o que é garantido pela aderência.

De acordo com Sá e Santos (2014), uma das principais características da construção mista é a utilização de diferentes materiais que favorecem o equilíbrio entre eles. Tendo em vista isso, um dos benefícios dessa abordagem, destacam-se a economia, a agilidade, a flexibilidade, a elevada qualidade e uma estética atrativa. Além disso, ainda de acordo com Sá e Santos (2014) este também apresentando ainda outras vantagens, como:

- Redução na concretagem local;
- Redução de armadura passiva;
- Redução de despesas indiretas, de potencial risco trabalhista e de acidentes;
- Maior velocidade construtiva;
- Eliminação e escoramentos;
- Obra sustentável, com menor geração de resíduos;
- Maior parte dos elementos produzidos fora do canteiro.

3.2 Pilares Mistos

Pilar misto aço-concreto é uma peça sujeita a esforços de compressão ou flexo-compressão (Queiroz, 2003). Esses pilares são compostos por um ou mais perfis de aço interligados entre si, trabalhando em conjunto com o concreto, seja ele simples ou armado, para resistir a esforços de compressão ou flexo-compressão, conforme destacado por Silva (2012).

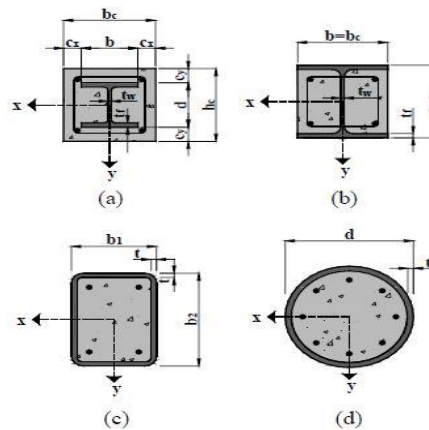
Em geral, o termo pilar misto refere-se a qualquer membro comprimido no qual um elemento de aço atua juntamente com o concreto, sem escorregamento relativamente significativo na superfície de contato, estando sujeito a momentos fletores, devidos às imperfeições e/ou excentricidades iniciais (Caldas, 2004).

No Brasil, a norma que regulamenta os pilares mistos, que combinam concreto e aço, é a NBR 8800:2008. Esta, estabelece requisitos técnicos e os procedimentos necessários para o dimensionamento e a execução dessas estruturas, visando garantir a segurança e a eficiência das construções. A característica marcante desses componentes está na combinação sinérgica de materiais: o aço, reconhecido por sua excepcional resistência à tração, é utilizado juntamente com o concreto, que se destaca por sua capacidade de suportar compressão. A combinação de aço e concreto permite que cada material seja usado onde é mais eficiente, nesse aspecto, os pilares mistos podem ser projetados para otimizar essas características, resultando em uma estrutura mais eficiente em termos de uso de materiais e capacidade de carga (Nardin, 2008).

As seções transversais dos pilares mistos apresentam variedade, podendo ser completamente revestidas com concreto ou parcialmente revestidas por este, como mostrado na figura 35. A presença do concreto como revestimento, além de propiciar maior resistência, impede a flambagem local dos elementos da seção de aço, além de fornecer maior proteção ao fogo e à corrosão do pilar de aço (Alva, 2006). Neste tipo de pilar o elemento estrutural de aço pode ser formado por um ou mais perfis ligados entre si, que podem ser laminados, soldados ou formados a frio (Figueiredo, 1998).

Quando parcialmente revestidos, garante uma economia de materiais sem comprometer a integridade da estrutura (Caldas, 2007). A principal desvantagem desse tipo de pilar é a necessidade de utilização de fôrmas para a concretagem, tornando sua execução mais trabalhosa, quando comparada ao pilar misto preenchido (Alva, 2006). A figura 1 ilustra os diferentes tipos de pilares mistos.

Figura 1: Principais tipos de pilares mistos aço-concreto: (a) totalmente revestido; (b) parcialmente revestido; (c) preenchido de seção retangular; (d) preenchido de seção circular.



Fonte: Queiroz, 2003.

Consoante aos preceitos de Queiroz (2003), são alguns exemplos de vantagens relativas ao uso de pilares mistos aço-concreto em relação ao uso de pilares de aço:

- Grande economia de materiais;
- Maior capacidade de resistência ao fogo e à corrosão;
- Maior capacidade de carga devido à ação mista e ao confinamento do concreto, no caso de pilares preenchidos.

Além disso, ao considerar os pilares mistos e suas vantagens em relação ao uso dos pilares de concreto, poder-se-á delinear que:

- Apresentam menor seção transversal e maior relação resistência/peso próprio;
 - Dispõem de boa ductilidade para suportar solicitações cíclicas e repetidas;
 - Deliberam economia de tempo de construção;
- Propõem maior capacidade de carga devido à ação mista e ao confinamento do concreto, no caso de pilares preenchidos.

3. 3. ABNT NBR 8800:2008 – Projeto De Estruturas De Aço E De Estruturas Mistas De Aço E Concreto De Edifícios

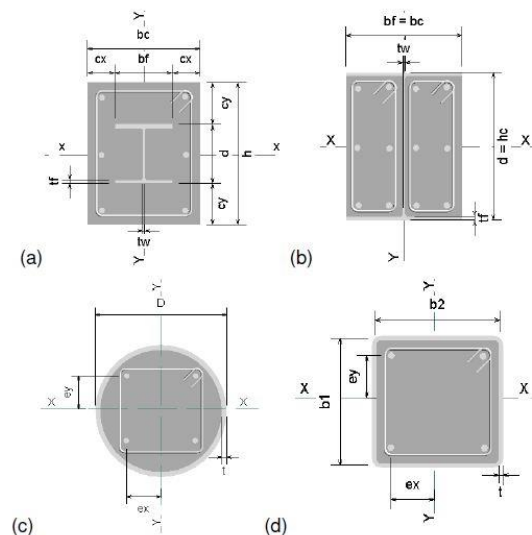
De acordo com Fonseca, um pilar misto de aço e concreto é aquele em que um perfil de aço atua conjuntamente com uma seção de concreto armado para resistir aos esforços.

Conforme a NBR 8800 (2008), estes perfis de aço podem ser do tipo I ou H, podendo ser do tipo soldado ou laminado, revestido total ou parcialmente por concreto. Podendo também apresentar seções do tipo tubular, sejam retangulares ou circulares, preenchidas com concreto. A utilização de sistemas mistos amplia consideravelmente a gama de soluções em concreto armado e em aço (Fonseca, 2015). Em pilares mistos, a contribuição do aço em relação à resistência pode chegar a 90% (ABNT NBR 8800: 2008).

Silva (2012), trata que o dimensionamento deste modelo de pilar é realizado por meio de dois modelos simplificados os quais fazem uso das mesmas curvas de dimensionamento aplicadas em pilares de aço, aplicável somente em casos onde há somente seções com dupla simetria. Logo, estes modelos são baseados em conformidade com duas normas internacionais. O primeiro modelo com base no ANSI/AISC (2005), “Specification for structural steel buildings”, e o segundo conforme o Eurocode 4 (2004), Part 1-1, “Design of composite steel and concrete structures”.

Tratando-se da ABNT NBR 8800 (2008), são estabelecidos quatro tipos distintos de seções transversais, ambas simétricas, são estas: seções retangulares, revestidas de concreto de maneira parcial ou total em perfis I de aço. Tubos retangulares e circulares preenchidos por concreto, conforme estabelecidos na figura 2.

Figura 2: Seções transversais de pilares mistos e notações.



Fonte: Silva, 2012.

Devem ser considerados os seguintes parâmetros para o estudo destes elementos, de acordo com a ABNT NBR 8800 (2008):

- Seções planas as quais permanecem planas mesmo após a deformação;
- A interação total entre os componentes, o aço e o concreto até à ruína;
- Não ocorrência de instabilidade local no perfil;
- As imperfeições iniciais deve, ser compatíveis às adotadas para a armadura longitudinal.

Além disso, de acordo com Silva, são impostos limites para a aplicabilidade, os quais devem ser verificados, a fim de que sejam garantidas que os pilares respeitem as mesmas hipóteses nos métodos de cálculo, são estes:

- Os pilares mistos devem apresentar dupla simetria e a sua seção transversal deve ser constante juntamente esta, o concreto também deve apresentar densidade normal;
- O fator de contribuição do aço, equivalente a $\delta = \frac{A_a f_{yd}}{N R_{d,p}}$, deve ter valor superior a 0,2 e inferior a 0,9. Em casos onde δ for igual ou inferior a 0,2, o pilar deve ser dimensionado como um pilar de concreto. Ademais, em situações em que δ é igual ou superior a 0,9, o pilar deve ser dimensionado como pilar de aço;
- A esbeltez relativa do pilar não pode ser maior que 2,0 (λ_{rel});
- As seções preenchidas por concreto podem ser fabricadas sem armadura, no entanto, há uma exceção no que diz respeito em algumas condições de incêndio;
- Em seções transversais com revestimento total ou parcial, a área de seção transversal da armadura longitudinal não pode ser inferior a 0,3% da área do concreto;
- Se tratando da máxima taxa de armadura na seção de concreto é de 4%, por razões de segurança contra incêndios, em casos de maior porcentagem de armadura, estas podem ser utilizadas, no entanto a consideração no que diz respeito ao dimensionamento, não pode ser considerada à temperatura ambiente uma taxa superior a 4%;
- A relação entre a altura e largura das seções transversais retangulares deve está entre 0,2 e 5,0;

- Considerando seções totalmente revestidas por concreto, os cobrimentos do perfil de aço devem atender certos limites, são estes:

$$40 \text{ mm} \leq c_y \leq 0,3 d \text{ e } c_y \geq b_t/6$$

$$40 \text{ mm} \leq c_x \leq 0,4 b_t \text{ e } c_x \geq b_t/6$$

- Se tratando da concretagem, em casos onde é realizada com o pilar montado, é necessário comprovar que o perfil de aço resiste isoladamente às ações aplicadas antes mesmo do concreto atingir 75% da resistência característica à compressão específica;
- Em seções revestidas de maneira total ou parcial por concreto, é necessário existir a armadura longitudinal e transversal, uma vez que haja a garantia de integridade do concreto. Levando em consideração que a armadura longitudinal pode ser considerada ou não na resistência e na rigidez. Em casos onde as seções são revestidas de forma parcial, a armadura transversal deve ser ancorada no perfil de aço por meio de furos na alma, ou por conectores de cisalhamento, não permitindo um espaçamento longitudinal superior a 500 mm;
- É necessário que no projeto de armaduras sejam atendidos os requisitos da ABNT NBR 6118: 2023.

4. INSTABILIDADE LOCAL EM ELEMENTOS DE AÇO

De acordo com Silva (2012), para que as resistências de todos os materiais sejam atingidas sem que ocorra instabilidade local dos elementos componentes do perfil de aço da seção transversal, não podem ser ultrapassadas as relações dadas a seguir:

1. Em seções tubulares circulares preenchidas com concreto:

$$\frac{D}{t} \leq 0,15 \frac{E}{f_{yk}}$$

2. Em seções tubulares retangulares as quais são preenchidas com concreto:

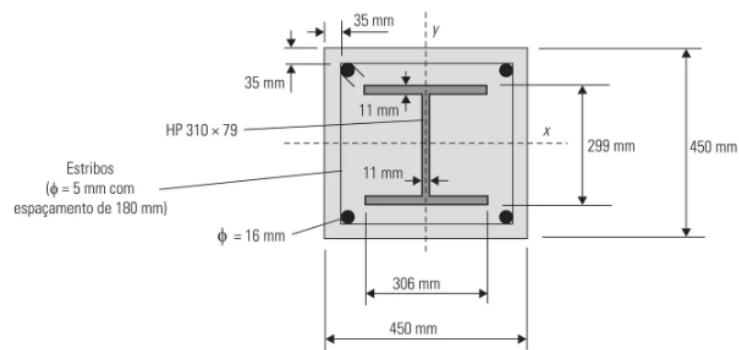
$$\frac{b_i}{t} \leq 2,26 \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}}$$

3. Em seções I ou H parcialmente revestidas por concreto:

$$\frac{bf}{tf} \leq 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}}$$

Com o intuito de abordar de maneira prática e definir as diretrizes apresentadas pela norma analisada, a obra “Dimensionamento de Elementos Estruturais de Aço e Mistos de Aço e Concreto” de Fakury, Silva e Caldas (2016) sugere diversas ilustrações que abordam diferentes tipos de pilares mistos. Um desses casos exemplifica um pilar composto de aço e concreto, com um comprimento de 3,5 metros, cujo perfil metálico é do tipo HP 310x79, completamente envolto em concreto. Com seção de 450 mm, este pilar apresenta uma armadura longitudinal composta por 4 barras de 16 mm de diâmetro, com um recobrimento de 35 mm, além de estribos de 5 mm dispostos a cada 180 mm, e uma resistência característica do concreto fixada em 40 MPa. A figura 3 ilustra o exemplo.

Figura 3: Pilar totalmente revestido por concreto.

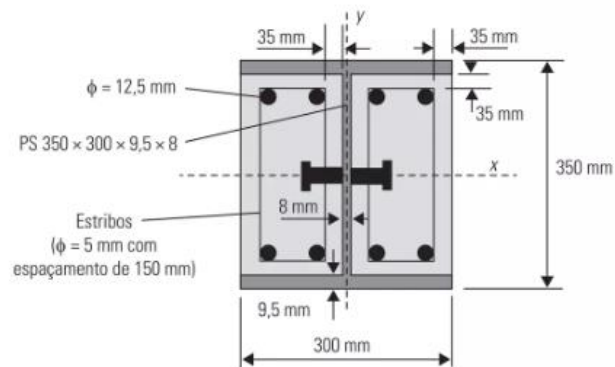


Fonte: Fakury, Silva e Caldas, 2016.

No item 14.5.2 da mesma obra, é apresentado um exemplo adicional de pilar misto. Ao contrário do primeiro exemplo, este propõe a aplicação de um revestimento parcial de concreto na estrutura metálica. Neste caso específico, será calculada a carga axial de compressão resistente deste pilar birrotulado, considerando alguns aspectos, como a sua extensão de 3,0 metros e a seção retangular equivalente a 300 mm de largura e 350 mm de altura. O pilar é formado por um perfil de aço PS 350x300x9,5x8, usando aço USI CIVIL

350, que possui uma resistência característica à compressão de 40 MPa, e agregado graúdo composto por brita 1 de gnaiss. Para a armadura longitudinal, foram empregadas oito barras com diâmetro de 12,5 mm e um cobrimento de 35 mm em aço CA-50, enquanto os estribos consistem em barras de 5 mm, dispostas a uma distância de 150 mm entre si.

Figura 4: Pilar parcialmente revestido por concreto



Fonte: Fakury, Silva e Caldas, 2016.

Exemplo 3:

- Propriedades geométricas perfil de aço: CS 600X250:

$$A_a = 317,9 \text{ cm}^2;$$

$$I_{ax} = 216,146 \text{ cm}^4;$$

$$I_{ay} = 68,419 \text{ cm}^4$$

- Propriedades mecânicas do aço estrutural USI CIVIL 350:

$$f_y = 350 \text{ Mpa} = 35,0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{al}} = \frac{35,0}{1,10} = 31,81 \text{ kN/cm}^2$$

$$E_a = 20.000 \text{ kN/cm}^2$$

- Propriedades geométricas: $10 \text{ mm} < \phi = 16 \text{ mm} < \frac{1}{8} \times 60 \text{ mm} > 75 \text{ mm}$
(Atende).

$$A_x = 8 \left(\frac{\pi \times 1,6^2}{4} \right) = 8 \times 2,01 = 16,08 \text{ cm}^2$$

$$I_{xx} \leq 16,08 \left(60 - 3,5 - \frac{1,6}{2} \right)^2 = cm^4$$

$$I_{sx} \leq 16,08 \left(60 - 3,5 - \frac{1,6}{2} \right)^2 = 49888 cm^4$$

$$I_{sx} \leq 8,04 \left(\frac{60}{2} - 3,5 - \frac{1,6}{2} \right)^2 = 5310 cm^4$$

- Propriedades mecânicas do aço CA-50:

$$f_y = 500 kN/cm - f_{xd} = \frac{f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{50}{1,15} \cong 43,50 kN/cm^2$$

$$E_x = 210.000 MPa = 21.000 kN/cm^2$$

- Propriedades geométricas do concreto:

$$A_c = 60 \times 60 - A_a - A_c = 3.600 - 317,9 - 16,08 = 3266,02 cm^2$$

$$I_{cx} = \frac{bh^3}{12} - I_{ax} - I_{sx} = \frac{60 \times 60^3}{12} - 216146 - 49888 = 813966 cm^4$$

$$I_{cy} = \frac{hb^3}{12} - I_{ay} - I_{sy} = \frac{60 \times 60^3}{12} - 68419 - 5310 = 1006271 cm^4$$

- Verificação da relação largura e espessura da mesa do perfil para não ocorrência de flambagem local:

$$\frac{bf}{tf} = \frac{600}{19} = 31,578 mm$$

$$1,49 \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}} = 1,49 \sqrt{\frac{20000}{35}} = 35,61$$

Nesse sentido, é válido que a relação largura e espessura da mesa atende as resultantes da norma.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A norma ABNT NBR 8800:2008 estabelece diretrizes para o cálculo de estruturas de aço, incluindo erros tanto em aço quanto em concreto, abrangendo também pilares mistos que utilizam a combinação de concreto com perfis de aço para a sustentação de cargas. No que diz respeito à instabilidade local, a norma recomenda que os projetos de pilares mistos sejam elaborados de forma a evitar danos resultantes de flambagem local, especialmente em situações de altas cargas de compressão.

Essa instabilidade ocorre quando os materiais, são submetidos a esforços além de sua capacidade local, levando ao encurvamento ou à falha das paredes dos perfis de aço. Com o intuito de prevenir esse tipo de situação, a NBR 8800 propõe limites de esbeltez, especificações sobre as propriedades dos materiais, além de diretrizes quanto ao formato, dimensões dos perfis e à espessura do concreto.

No caso de pilares mistos que estão completamente revestidos em concreto, a norma ABNT NBR 8800 não exige a verificação da flambagem local, contanto que o revestimento do perfil de aço atenda de forma estrita aos critérios estabelecidos nas normas. Isso ocorre porque o revestimento total proporciona uma estabilidade extra à estrutura, reduzindo assim a probabilidade de ocorrer flambagem local.

Por sua vez, em se tratando de pilares que apresentam uma condição mista, onde o concreto reveste de maneira parcial perfis metálicos do tipo I ou H, a norma estipula uma exigência técnica mais rigorosa. Nesses casos, é imprescindível que os elementos de aço na seção transversal se observem as proporções limites estabelecidas, a fim de prevenir instabilidades locais que possam afetar o desempenho estrutural. O descumprimento dessas relações geométricas pode levar a uma instabilidade que compromete a capacidade de carga do elemento. Ademais, a flambagem sob a ação de cargas axiais e momentos fletores não deve alcançar o estado limite último, para evitar que se torne o principal fator de colapso. Portanto, a observância rigorosa dos requisitos normativos é crucial para assegurar a segurança e eficiência da estrutura, permitindo que ela suporte os esforços previstos sem colocar em risco sua integridade estrutural.

Para assegurar a segurança e a longevidade de estruturas que são parcialmente revestidas com concreto, a norma ABNT NBR 6118:2023 determina a necessidade da implementação de armaduras longitudinais e transversais. Essas armaduras são vitais para manter a integridade estrutural do concreto e garantir uma ancoragem eficiente da

armadura transversal no perfil de aço, que deve ser fixado por meio de furos na alma. Além disso, é fundamental realizar uma avaliação minuciosa da instabilidade local em pilares mistos, pois estruturas compostas de concreto e aço demandam uma análise detalhada de todos os parâmetros normativos para evitar falhas e melhorar o desempenho da estrutura. Portanto, o cumprimento completo das exigências da norma favorece a criação de uma estrutura mais segura, adaptável e durável.

A avaliação da instabilidade local em pilares mistos, de acordo com as diretrizes da ABNT NBR 8800, é essencial para assegurar a segurança, eficiência e longevidade dessas estruturas. Seguindo as orientações dessa norma, é viável otimizar a utilização dos materiais e garantir uma interação segura entre o aço e o concreto, mesmo sob cargas significativas. Essa análise é de suma importância, uma vez que a negligência dos limites normativos para as proporções de elementos de aço na seção transversal pode resultar em flambagem localizada, comprometendo a resistência da estrutura e elevando o risco de colapso diante de tensões axiais ou momentos fletores. Portanto, um cálculo adequado da instabilidade local favorece uma estrutura mais confiável, evita deteriorações precoces e assegura que o pilar misto alcance seu desempenho máximo dentro das normas de segurança estabelecidas.

6. CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

As estruturas mistas de aço e concreto representam uma solução eficiente no âmbito da engenharia civil, ao combinar as melhores características de dois materiais distintos para superar suas limitações individuais. O presente estudo evidenciou a relevância dessas estruturas ao analisar as questões relacionadas à instabilidade local, com ênfase nas orientações da norma ABNT NBR 8800:2008. A partir da investigação de diferentes exemplos de pilares mistos e da elaboração de um caso prático, foi possível destacar a importância do dimensionamento correto para a garantia da segurança e a eficiência estrutural.

Os resultados obtidos reforçam que a interação entre aço e concreto, além de permitir combinação de resistências complementares, poder-se-á minimizar fenômenos de instabilidade local, como a flambagem. Essa vantagem é particularmente relevante em pilares, que desempenham um papel fundamental na transferência de cargas e na estabilidade das estruturas. Ademais, o estudo evidenciou que a adoção das diretrizes

normativas é indispensável para assegurar a aplicação correta desses elementos, reduzindo riscos de falhas e ampliando sua vida útil.

Ao explorar os limites de aplicabilidade da norma ABNT NBR 8800:2008 para pilares mistos total ou parcialmente revestidos, constatou-se a necessidade de uma abordagem detalhada e rigorosa no cálculo das relações geométricas e mecânicas. A importância de atender às especificações normativas é corroborada pelos exemplos práticos apresentados, que demonstram o impacto positivo dessa conformidade na prevenção de problemas estruturais e na otimização de recursos. Por fim, este trabalho contribui para a compreensão e aplicação de modo específico aos pilares mistos no cenário da construção civil, ressaltando a necessidade de estudos futuros que aprofundem a análise de diferentes condições de carga, seções transversais e novos materiais.

REFERÊNCIAS

ALVA, G. M. S. **Sobre o projeto de edifícios em Estrutura mista aço-concreto**. 2006. 296 f. Tese (Mestrado em Engenharia de Estrutura). Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.18.2000.tde-18082006-143950>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2014). NBR 6118 – **Projeto e execução de obras de concreto armado**. Rio de Janeiro.

BASTOS, P. S. **Flexão Composta E Pilares De Concreto Armado**. São Paulo: Universidade Estadual Paulista - Campus de Bauru, 2024. 188 p.

BIANCHI, F. R. **Análise do comportamento dos pilares mistos considerando a utilização de conectores de cisalhamento**. 2002. 186 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2002. Disponível em: <https://repositorio.ufes.br/items/b572e8e9-0552-412e-be90-ac5f1db57731>. Acesso em: 29 abr. 2024.

CABRAL, S. V. DE S.; MARTINS, R. DE L. T.; BRAGA, B. H. G. Concepção de estruturas híbridas e mistas: estudos de caso. **In. Contribuição tecnocientífica ao construmetal 2016 - Congresso Latino-americano da Construção Metálica**, São Paulo, 2016. Disponível em: <https://projectaco.com.br/concepcao-de-estruturas-hibridas-e-mistas-estudos-de-caso>. Acesso em: 30 mar. 2024.

CALDAS, R. B. **Análise Numérica de Pilares Mistos Aço-Concreto**. 2004. 220 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2004. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/6199>. Acesso em: 03 mai. 2024.

CALDAS, R. B.; FAKURY, R. H.; SOUSA JÚNIOR, J. B. M. DE. Bases do dimensionamento de pilares mistos de aço e concreto segundo o projeto de revisão da NBR 8800. **REM. Revista Escola de Minas**, v. 60, n. 2, p. 271–276, 1 jun. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0370-44672007000200009>.

CARINI, M. R. **Estruturas mistas de aço e concreto: projeto de edifício comercial**. 2014. 158 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/110092>. Acesso em: 24 mar. 2024.

CHAVES, I. A. **Viga mista de aço e concreto constituída por perfil formado a frio preenchido**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

CORTEZ, L. A. DA R.; MACIEL, C. A. DOS S.; SANTOS, P. B.; LIMA, R. T.; SANTOS, T. M. F. DOS; NASCIMENTO, M. M. G. DO. Uso das estruturas de aço no Brasil. **Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - ALAGOAS**, v. 4, n. 2, p. 217–217, 2017. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/view/5215>. Acesso em: 24 abr. 2024.

FIGUEIREDO, L. M. B. **Projeto e construção de pilares mistos aço-concreto**. 1998. 160 f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Estruturas), Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.18.2017.tde-21122017-111731>.

FONSECA, F. T. DA. Dimensionamento de estruturas mistas de aço e concreto conforme a ABNT 8800:2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas), Universidade Federal de Minas Gerais, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/RAOA-BDALSU>. Acesso em: 27 de mai. 2024.

NARDIN, F. Â. **A importância da estrutura metálica na construção civil**. 2008. 63 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia civil), Universidade São Francisco, Itatiba, 2008.

QUEIROZ, F. D. **Modelos para análise de pilares mistos pelo método dos elementos finitos**. 2003. 207 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/GQUZ-5SDQ67>. Acesso em: 18 abr. 2024.

SÁ, A. G. P.; SANTOS, W. A. DOS. **Estruturas mistas aço e concreto**. 2014. 61 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil), Instituto Doctum de Educação e Tecnologia, Doctum, Minas Gerais, 2014. Disponível em: <https://dspace.doctum.edu.br/bitstream/123456789/1167/1/AC%C3%81CIA%20GIANE%20PEREIRA%20E%20S%C3%81%20ALTERADO.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2024.

SILVA, P. H. L. **Dimensionamento de pilares mistos de aço e concreto**. 2012. 318 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.3.2012.tde-17062013-150832>.

CAPÍTULO XXXI

MÃO DE OBRA DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM TEÓFILO OTONI/MG: TRAÇOS E DESAFIOS

**Thais Mayara Rodrigues Gomes
Iara Ferreira de Rezende Costa
Alcino de Oliveira Costa Neto**

DOI: 10.5281/zenodo.17307765

1. INTRODUÇÃO

A construção civil, setor de importância para a economia brasileira, não apenas impulsiona o crescimento econômico, mas também se configura como um significativo empregador em nível nacional. O setor já gerou mais de 920 mil novos empregos formais entre 2020 e outubro de 2024 (CBIC, 2024). Contudo, a dinâmica da mão de obra neste setor revela um panorama complexo, permeado por desafios estruturais que abrangem desde a necessidade de aprimoramento da qualificação profissional até a persistência da informalidade e a busca por melhores condições de trabalho e segurança (Almeida; Brito, 2019).

Diversos estudos acadêmicos e técnicos têm se dedicado a analisar essa temática, como o trabalho de Silva (2016), que investiga a relação entre a qualificação da mão de obra e a produtividade no setor, evidenciando a importância do investimento em capacitação para a elevação dos padrões de qualidade e eficiência. Da mesma forma, Silva (2018) enfatiza os desafios da informalidade na construção civil em um contexto urbano específico, ressaltando as implicações para os direitos trabalhistas e a segurança no trabalho.

Ao direcionar para a realidade de Teófilo Otoni, município com um papel relevante no cenário socioeconômico do nordeste de Minas Gerais, a dinâmica da mão de obra na construção civil apresenta particularidades regionais que demandam uma análise específica. A importância do setor para a economia local, impulsionada por projetos de infraestrutura, obras públicas e privadas, e a demanda habitacional, esbarra em desafios como a disponibilidade e a qualificação da força de trabalho local, a possível influência de fluxos migratórios e a necessidade de adaptação às normas técnicas e de segurança vigentes.

Nesse sentido, a pesquisa dos autores Oliveira e Souza (2020) sobre o mercado de trabalho na construção civil em pequenas e médias cidades do interior mineiro lança luz sobre as especificidades desses contextos, apontando para a importância de considerar as características locais na formulação de políticas e estratégias para o setor. Diante desse cenário, o presente trabalho se propõe a realizar uma análise da mão de obra da construção civil em Teófilo Otoni, buscando identificar seus traços característicos, os principais desafios enfrentados pelos trabalhadores e empregadores, e as perspectivas de desenvolvimento futuro.

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para levantar dados sobre as demandas da construção civil em Teófilo Otoni envolveu a aplicação de um formulário, com doze variáveis (questões), direcionado oito empresas do setor na cidade, reconhecendo a importância de delimitar o público para obter resultados mais específicos e aplicáveis ao contexto local.

Os entrevistados receberam uma carta de apresentação e um termo de consentimento, autorizando a realização da entrevista. Os dados coletados foram posteriormente transformados em gráficos utilizando o software *Microsoft Office Excel 2023* e analisados

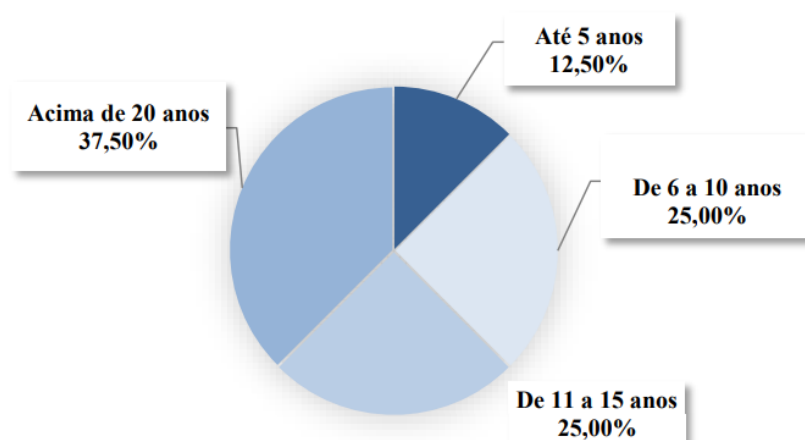
quantitativamente para traçar a demanda da construção civil.

Nas variáveis empregadas no formulário direcionado para as empresas constaram: tempo de atuação dos representantes das empresas no setor da construção civil, idade aproximada dos colaboradores que atuam no canteiro de obras, grau de escolaridade aproximado dos colaboradores que atuam no canteiro de obras, percepção da empresa em relação aos colaboradores se sentirem bem trabalhando no canteiro de obras e motivo, observação de dificuldade dos trabalhadores no entendimento de algum serviço a ser realizado e motivos, orientação aos responsáveis para receberem de forma receptiva as opiniões dos colaboradores, reação dos responsáveis e opinião da empresa sobre o diálogo com os funcionários, fornecimento de cursos ou treinamentos aos colaboradores e tipos, conhecimento dos colaboradores sobre as exigências dos Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) pela NR6, fornecimento de todos os EPIs necessários para a realização do serviço, oferecimento de atividade de lazer para os colaboradores, maiores dificuldades encontradas no diálogo entre o responsável da obra e os colaboradores e por fim sugestões de áreas de aprimoramentos para os profissionais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira pergunta do formulário aplicado às empresas investigou o tempo de atuação do responsável pela administração do empreendimento no setor da construção civil. Havia cinco alternativas como resposta, sendo elas: até 5 anos, de 6 a 10 anos, de 11 a 15 anos, de 16 a 20 anos e acima de 20 anos. A Figura 1 apresenta o percentual obtido para cada uma das respostas.

Figura 1 - Tempo de atuação dos responsáveis pelas empresas no setor da construção civil



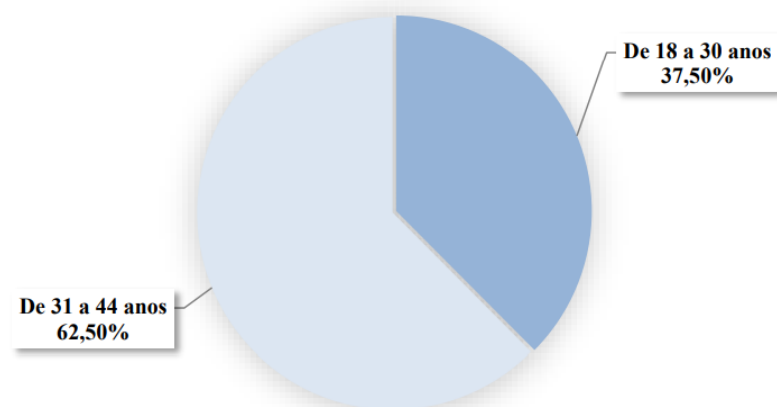
Fonte: Autoria própria.

Conforme o gráfico acima, observa-se que a maior porcentagem (37,50%) dos entrevistados possui mais de 20 anos de atuação no setor da construção civil, o que sugere um alto nível de maturidade e experiência na gestão dessas organizações. Por outro lado, os intervalos de 6 a 10 anos e de 11 a 15 anos apresentaram, cada um, 25,00% das respostas, indicando uma participação expressiva de profissionais com experiência intermediária no ramo.

O menor percentual identificado ocorreu no intervalo correspondente a até 5 anos de atuação, com 12,5%, o que pode refletir uma menor presença de gestores em estágios iniciais de carreira no comando das empresas do setor. Ressalta-se, ainda, que nenhum dos entrevistados indicou tempo de atuação entre 16 e 20 anos.

A segunda questão aplicada buscou caracterizar a faixa etária dos colaboradores atuantes nos canteiros de obras das empresas participantes. Dessa forma, foram definidas quatro categorias de resposta, representando intervalos etários distintos: 18 a 30 anos, 31 a 44 anos, 45 a 55 anos e acima de 55 anos. A distribuição das frequências observadas para essas categorias é apresentada na Figura 2.

Figura 2 - Idade média dos colaboradores das empresas

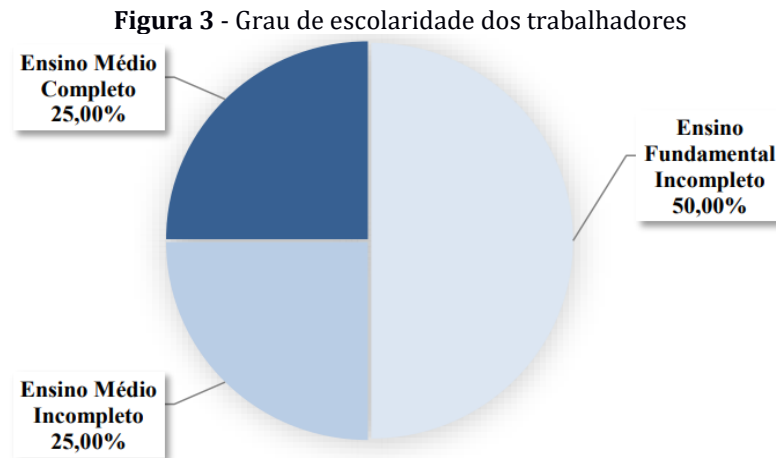


Fonte: Autoria própria.

A análise da Figura 2 indica que a maior parte (62,50%) dos colaboradores possui entre 31 e 44 anos. Em contraste, 37,50% das empresas indicaram uma idade média de seus trabalhadores entre 18 e 30 anos. Nota-se que nenhum dos entrevistados considerou que a idade média dos seus colaboradores está acima dos 45 anos, sugerindo uma possível predominância de um quadro de funcionários mais jovem nas empresas investigadas.

A Figura 3 mostra a distribuição do grau de escolaridade médio dos colaboradores

que atuam nos canteiros de obras das empresas participantes da pesquisa. Foram disponibilizadas seis alternativas para resposta: ensino fundamental incompleto, ensino fundamental completo, ensino médio incompleto, ensino médio completo, ensino superior incompleto e ensino superior completo.



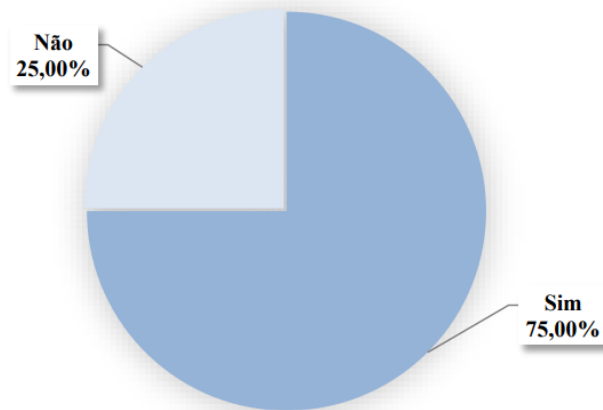
Fonte: Autoria própria.

Verifica-se que metade das empresas submetidas ao questionário possuem colaboradores com ensino fundamental incompleto, enquanto as categorias de ensino médio incompleto e ensino médio completo apresentam uma representatividade equivalente, com 25,00% cada.

Destaca-se que os graus de escolaridade do tipo ensino fundamental completo, ensino superior incompleto e ensino superior completo não obtiveram ocorrências na amostra investigada, apontando para uma possível concentração do nível de escolaridade dos trabalhadores de canteiro nas faixas mais básicas e intermediárias de ensino.

Na questão seguinte, o objetivo foi analisar a percepção das empresas em relação ao bem-estar de seus colaboradores no ambiente do canteiro de obras. Conforme ilustrado na Figura 4, 75,00% dos respondentes considerou que seus funcionários manifestam um sentimento positivo em relação ao trabalho nesses locais. Em contrapartida, 25,00% das empresas reportaram uma percepção contrária.

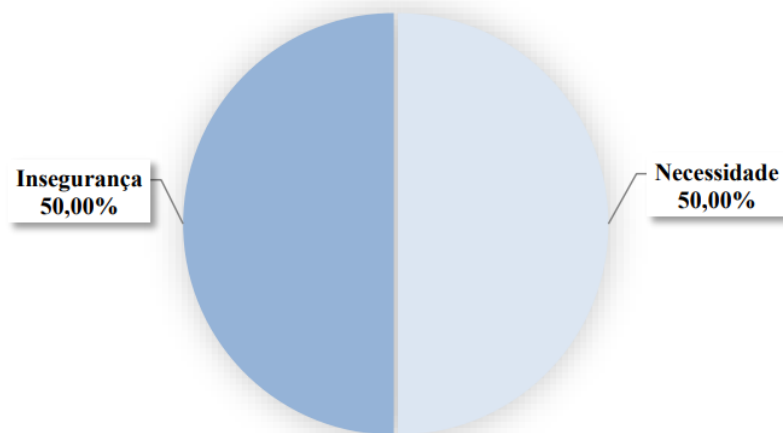
Figura 4 - “Os colaboradores se sentem bem no canteiro de obras?”: percepção das empresas



Fonte: Autoria própria.

As empresas que indicaram uma percepção negativa em relação ao bem-estar de seus trabalhadores nos canteiros de obras (25,00% da amostra total) apresentaram duas justificativas com igual frequência (50,00% cada dentro desse subgrupo). Metade dessas empresas atribuiu a falta de bem-estar à insegurança dos ambientes de trabalho, enquanto a outra metade reportou que os colaboradores atuam no setor primariamente por necessidade econômica, como pode ser visto na Figura 5.

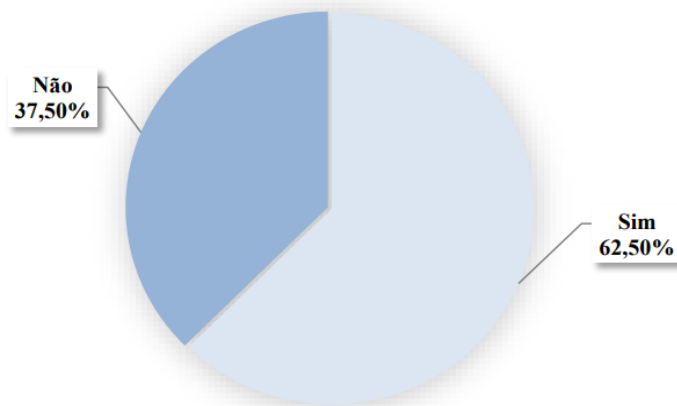
Figura 5 - Colaboradores que não se sentem bem no canteiro de obras: motivo



Fonte: Autoria própria.

A quinta pergunta do formulário intentou identificar a percepção das empresas quanto à existência de dificuldades de compreensão por parte dos trabalhadores em relação às tarefas a serem executadas. A Figura 6 mostra que a maioria das empresas (62,5%) identificou tais dificuldades, enquanto 37,50% não.

Figura 6 - Existência de dificuldade dos funcionários no entendimento de instruções

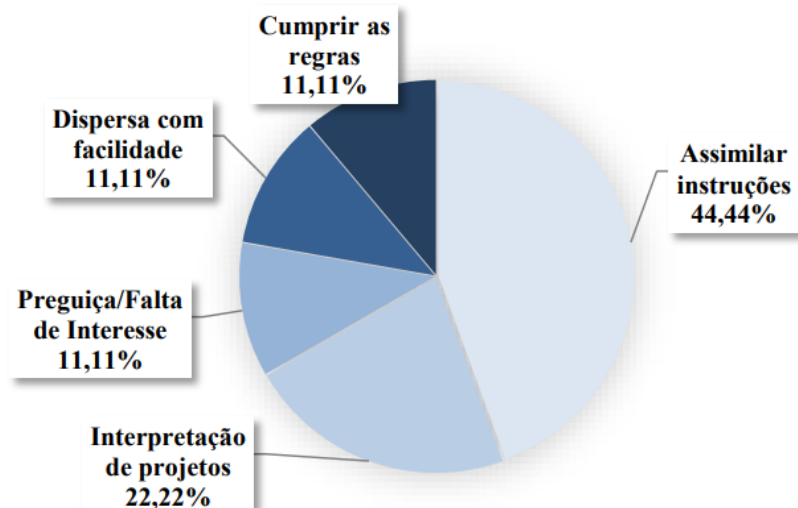


Fonte: Autoria própria.

A maioria das empresas (44,44%) que verificaram dificuldade de compreensão por parte dos colaboradores em relação aos serviços solicitados atribuiu essa ocorrência à dificuldade de assimilação das instruções fornecidas. Adicionalmente, 22,22% dos entrevistados relataram que seus funcionários têm dificuldades na interpretação de projetos, como mostra a Figura 7.

As dificuldades em assimilar instruções e interpretar projetos podem estar relacionadas ao nível de escolaridade da força de trabalho, enquanto as demais motivações apontadas para o não entendimento das demandas sugerem a influência de fatores comportamentais (Figura 7).

Figura 7 - Motivo da dificuldade dos colaboradores

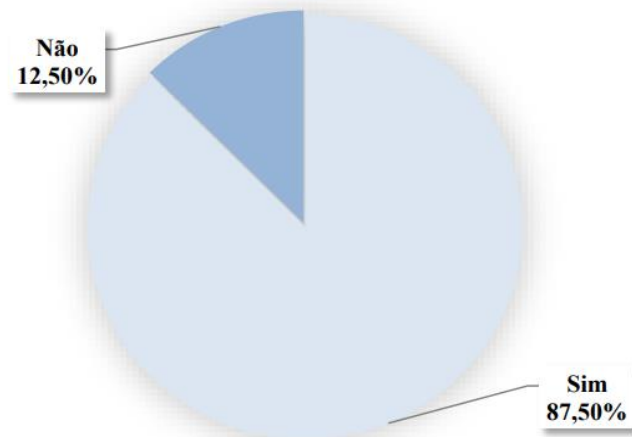


Fonte: Autoria própria.

A questão subsequente investigou se as lideranças de obra nas empresas, a exemplo de engenheiros e encarregados, recebem orientação para acolher as opiniões dos

colaboradores concernentes aos serviços a serem executados. Os resultados, apresentados na Figura 8, revelam que a expressiva maioria das empresas (87,50%) declarou orientar suas lideranças a demonstrarem receptividade às contribuições dos colaboradores, enquanto uma parcela minoritária (12,50%) afirmou não adotar tal prática.

Figura 8 - Receptividade às opiniões dos colaboradores

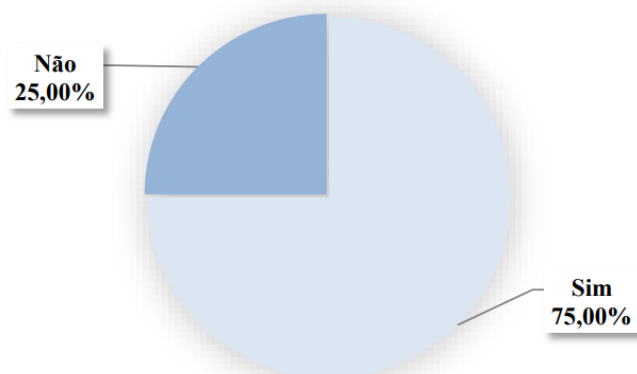


Fonte: Autoria própria.

As empresas que declararam que suas lideranças não recebem orientação para acolher as opiniões dos colaboradores foram questionadas acerca da sua percepção sobre a relevância de estabelecer tal diálogo com os responsáveis, e todas elas manifestaram a opinião de que não consideram interessante implementar essa prática.

Na sétima questão, foi perguntado se as empresas participantes da pesquisa oferecem cursos técnicos ou treinamentos a seus colaboradores. Conforme indica a Figura 9, a maioria das empresas (75,00%) confirmou o fornecimento de treinamento a seus funcionários, enquanto uma parcela de 25,00% declarou não fornecer.

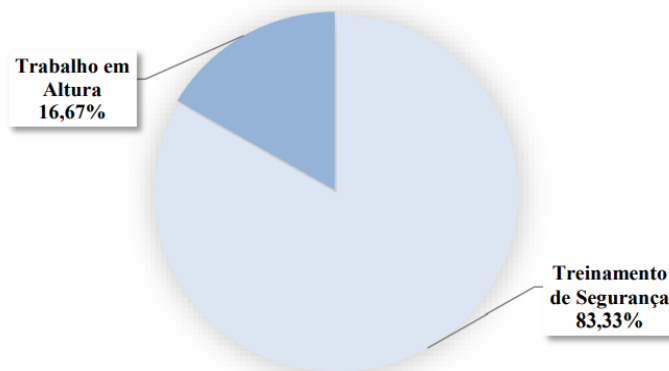
Figura 9 - Fornecimento de cursos ou treinamentos por parte das empresas



Fonte: Autoria própria.

Dentre as empresas que afirmaram fornecer treinamento aos seus colaboradores (75,00% da amostra), 83,33% especificaram que o treinamento oferecido é na área de segurança do trabalho, enquanto 16,67% indicaram o fornecimento de treinamento em trabalho em altura, como apresenta a Figura 10.

Figura 10 - Tipo de curso ou treinamento ofertado

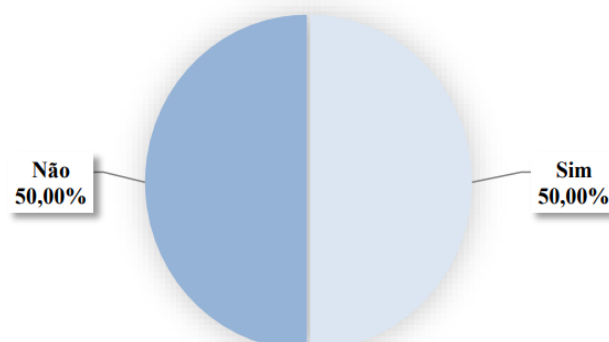


Fonte: Autoria própria.

A oitava e a nona questão do formulário tratavam, respectivamente, sobre o conhecimento dos trabalhadores acerca das exigências de utilização dos EPIs e o fornecimento de todos os EPIs necessários para a execução dos serviços por parte das empresas. A totalidade dos respondentes afirmou que as empresas fornecem integralmente os EPIs requeridos e que os trabalhadores possuem ciência da obrigatoriedade de seu uso.

Em seguida, perguntou-se se as empresas promovem alguma atividade de lazer para seus funcionários, seja em finais de semana ou em datas comemorativas. Os resultados, conforme apresentado na Figura 11, revelam uma distribuição equitativa, com 50,00% das empresas reportando o fornecimento de tais atividades e os outros 50,00% indicando não o fazer.

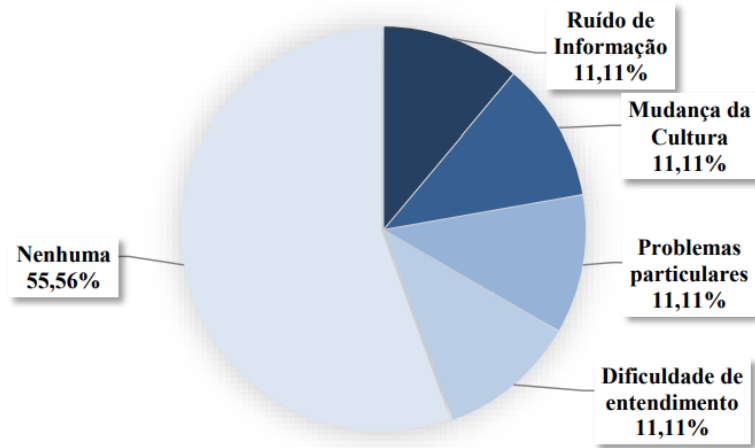
Figura 11 - Fornecimento de atividade de lazer por parte das empresas



Fonte: Autoria própria.

A décima primeira pergunta da pesquisa objetivou identificar as principais dificuldades observadas na comunicação entre os responsáveis pelas obras e os colaboradores. Os resultados obtidos para esta questão são apresentados na Figura 12.

Figura 12 - Principais dificuldades de diálogo identificadas pelas empresas

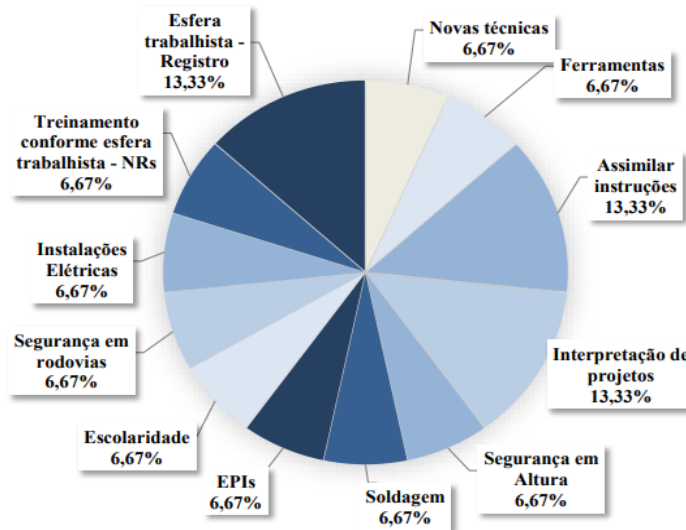


Fonte: Autoria própria.

A análise da Figura 12 revela que a maioria das empresas (55,56%) não identificou dificuldades significativas na comunicação entre os responsáveis pelas obras e os colaboradores. Contudo, uma parcela de 11,11% dos respondentes para cada categoria reportou a ocorrência de dificuldades específicas, sendo elas: ruído na informação, diferenças culturais, problemas de natureza particular e dificuldade de entendimento.

A última questão da pesquisa referiu-se a quais pontos as empresas consideram necessários para que os seus colaboradores se aprimorem profissionalmente através de cursos de capacitação, cujos resultados são apresentados na Figura 13.

Figura 13 - Sugestões de áreas de aprimoramento da mão de obra



Fonte: Autoria própria.

Os dados apresentados na Figura 13 evidenciam que 13,33% das empresas participantes identificaram a necessidade de cursos de capacitação voltados para o aprimoramento da capacidade de assimilação de instruções por parte dos trabalhadores. Uma proporção equivalente (13,33%) assinalou a relevância de treinamento em interpretação de projetos, e outros 13,33% destacaram a importância do ensino da legislação trabalhista.

Além disso, 60,03% (6,67% cada) das empresas consideraram relevantes cursos sobre novas técnicas de trabalho, uso correto de ferramentas, segurança em altura, soldagem em estruturas metálicas, tipos e usos de EPIs, segurança em rodovias, instalações elétricas, treinamentos em conformidade com as exigências da legislação trabalhista e cursos voltados para elevação do nível de escolaridade dos trabalhadores.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da mão de obra da construção civil em Teófilo Otoni, Minas Gerais, conduzida por meio da aplicação de formulários às empresas do setor no município, revelou um cenário diversificado, caracterizado tanto por aspectos positivos quanto por desafios a serem enfrentados.

Entre os pontos positivos, está a predominância de gestores experientes no setor, com mais de 20 anos de atuação. Destaca-se ainda a aparente satisfação de uma maioria expressiva de colaboradores das empresas com sua profissão, o que sugere uma forte identificação com a área de atuação.

Além disso, as empresas participantes da pesquisa demonstraram preocupação em fornecer os EPIs necessários aos funcionários e, grande parte delas, se preocupou em orientar suas lideranças para acolher as opiniões dos trabalhadores, indicando uma valorização da segurança e da comunicação no ambiente de trabalho.

No entanto, os resultados também expuseram um desafio significativo no que diz respeito ao nível de escolaridade dos trabalhadores, apontando para a necessidade de elevação deste nível, uma vez que uma parcela considerável dos funcionários das empresas possui ensino fundamental incompleto, o que pode impactar no entendimento dos serviços a serem executados e na interpretação de projetos.

A oferta de formação continuada também se mostra relevante, com as empresas relatando a importância de cursos de capacitação em áreas como segurança do trabalho,

leitura e interpretação de projetos, legislação trabalhista e novas técnicas de trabalho na construção civil.

Em suma, este estudo contribui para um entendimento mais aprofundado da dinâmica da mão de obra da construção civil em Teófilo Otoni. Ao evidenciar os desafios e as oportunidades do setor, espera-se que este trabalho possa subsidiar iniciativas que promovam a qualificação profissional, a melhoria das condições de trabalho e o fortalecimento da construção civil como agente de desenvolvimento econômico e social na região.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. S.; BRITO, J. G. Informalidade e Precariedade no Mercado de Trabalho da Construção Civil Brasileira. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 35, Supl. 1, e00185718, 2019.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Desempenho da Construção Civil em 2024 e perspectivas para 2025**. 2024.

OLIVEIRA, M. L.; SOUZA, R. A. O Mercado de Trabalho na Construção Civil em Pequenas e Médias Cidades Mineiras: Desafios e Oportunidades. **Revista Mineira de Estudos Sociais**, v. 21, n. 2, p. 180-195, 2020.

SILVA, J. R. Qualificação da Mão de Obra e Produtividade na Indústria da Construção Civil. **Revista de Engenharia Civil**, v. 32, n. 4, p. 560-575, 2016.

SILVA, T. L. **Trabalho, Construção Civil e Informalidade: um estudo sobre Trabalhadores de Pequenas Obras**. 2018. Tese (Doutorado em Sociologia) - Setor de Ciências Humanas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

CAPÍTULO XXXII

GESTÃO DA QUALIDADE E REDUÇÃO DE DESPERDÍCIOS NA PRODUÇÃO ARTESANAL: DIMINUINDO CUSTOS E PRODUZINDO DE FORMA SUSTENTÁVEL

**Rubia Rodrigues Gonçalves de Oliveira
Ana Paula Gatto da Conceição
Elaine Regina Brito Maia Mercial**

DOI: 10.5281/zenodo.17307769

1. INTRODUÇÃO

O setor artesanal no Brasil exerce um papel fundamental tanto na economia quanto na preservação do patrimônio cultural do país. De acordo com dados do IBGE (2018), o artesanato é responsável por movimentar cerca de R\$ 50 bilhões por ano, com estimativas de que o setor envolva mais de 8,5 milhões de artesãos, sendo 78% mulheres, conforme levantamento do Programa do Artesanato Brasileiro (PAB, 2021). Trata-se de uma atividade que representa a diversidade cultural brasileira, ao mesmo tempo em que contribui para a geração de emprego e renda, especialmente em comunidades rurais e

tradicionais. Contudo, o setor enfrenta desafios estruturais, como o elevado custo da mão de obra, o desperdício de insumos, a baixa inserção tecnológica e deficiências na gestão e comercialização dos produtos, como apontado por SEBRAE (2020).

Nesse cenário, o segmento de móveis artesanais tem se destacado por sua estética diferenciada e apelo sustentável, mas também encontra obstáculos quanto à padronização e eficiência produtiva. A empresa Trama Original, sediada em Umuarama-PR, atua nesse setor há mais de 15 anos e emprega cerca de 50 colaboradores. Sua produção mescla técnicas artesanais com processos modernos, porém enfrenta perdas significativas de fibras naturais, com um desperdício estimado em 10% do material utilizado, o que impacta diretamente os custos e a sustentabilidade da operação.

De acordo com Nascimento (2022), o fortalecimento da qualidade no setor artesanal também envolve a valorização da identidade local e cultural dos produtos, aspecto essencial para a diferenciação do artesanato em mercados mais exigentes, como o turismo e o comércio justo.

A gestão da qualidade tem como uma estratégia essencial para a otimização de processos e redução de desperdícios no setor artesanal. Segundo Carneiro (2020), a aplicação de ferramentas da qualidade, como o Diagrama de Pareto, o Diagrama de Ishikawa e os 5 Porquês, pode auxiliar na identificação das causas-raiz dos problemas e na implementação de melhorias contínuas. Além disso, a utilização do ciclo PDCA, conforme destacado por Cordeiro et al. (2020), permite a análise e controle dos processos, promovendo a melhoria contínua e a satisfação do cliente.

Martins (2017) destaca que a implementação do 5W2H em uma microempresa de artefatos têxteis possibilitou a elaboração de um planejamento mais eficiente das ações, promovendo maior clareza na definição de atividades e responsabilidades, o que é essencial para o crescimento e competitividade no mercado. O Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE, 2025) também recomenda o uso do 5W2H para pequenas empresas, enfatizando sua simplicidade e eficácia na organização de processos internos e na definição de metas claras.

Segundo Slack et al. (2020), processos bem definidos possibilitam uma execução mais eficaz das atividades produtivas, minimizando desperdícios, reduzindo retrabalho e melhorando a consistência dos resultados. No contexto da produção artesanal, isso significa que a padronização pode atuar como um suporte à criatividade, garantindo que as inovações sejam implementadas de maneira reproduzível e com controle de qualidade.

2. METODOLOGIA

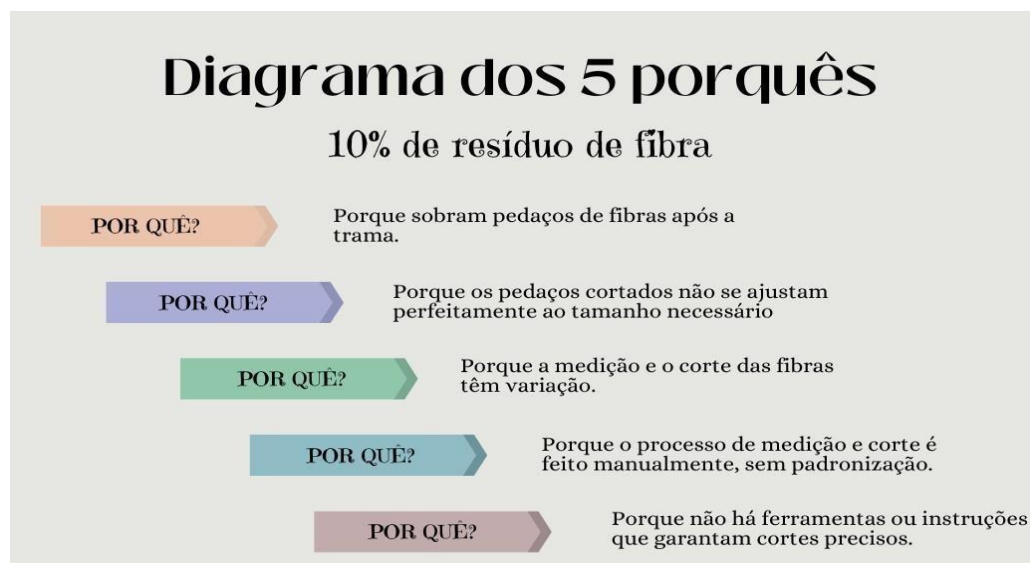
Este estudo fundamenta-se na abordagem de pesquisa-ação, um método amplamente discutido por Anair Araújo de Freitas Silva et al. (2021). A pesquisa-ação é uma tentativa contínua, sistemática e empiricamente fundamentada de aprimorar a prática, equilibrando investigação acadêmica e intervenção concreta no campo. O autor destaca que essa metodologia permite a geração de conhecimento aplicado por meio da interação entre teoria e prática, promovendo transformações significativas nos contextos analisados.

Este estudo adotou uma abordagem de pesquisa-ação, que combina análise e intervenção para resolver problemas específicos enquanto gera conhecimento aplicável. A pesquisa foi conduzida na Trama Original, uma empresa de móveis artesanais localizada em Umuarama-PR. O foco da análise foi o desperdício de fibras, utilizado na trama de cadeiras de alumínio, com dados coletados por meio de observação direta e entrevistas com o responsável pelo setor de qualidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para identificar a causa raiz do desperdício, aplicou-se a ferramenta dos 5 Porquês, conduzindo uma análise iterativa para explorar as razões subjacentes ao problema, como pôde ser visto na Figura 1.

Figura 1: Diagrama dos 5 porquês

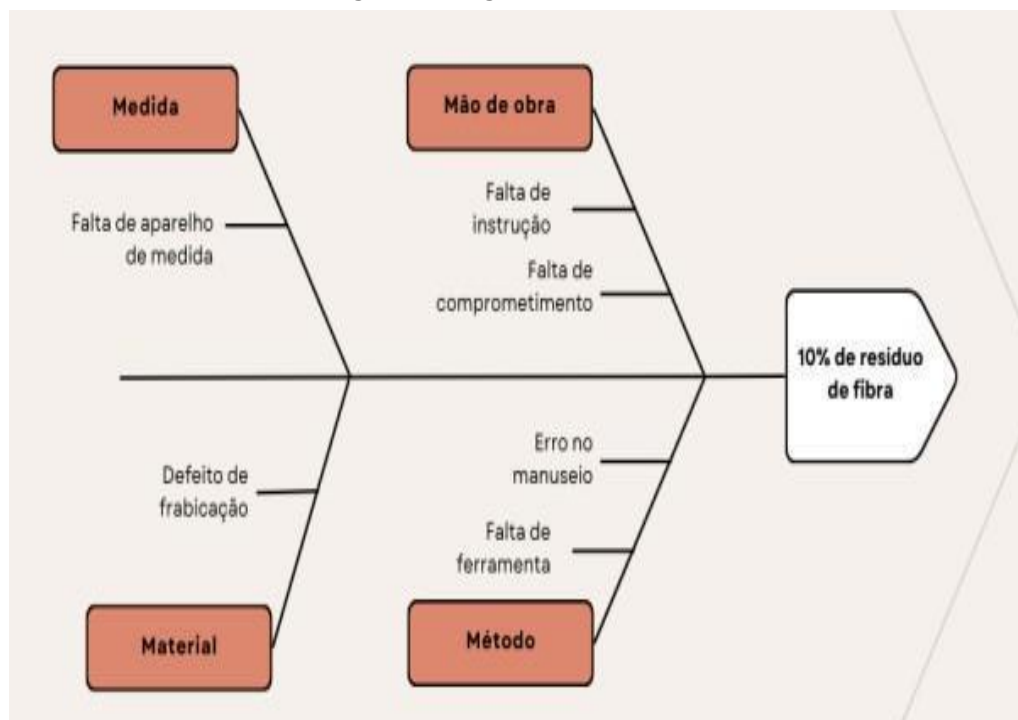


Fonte: Autores (2025)

Além disso, foi elaborado um Diagrama de Ishikawa para mapear as causas do desperdício de fibra. A análise apontou quatro principais fatores como responsáveis pelo problema mostrado na Figura 2.

- Mão de obra: Falta de instrução e comprometimento dos operadores.
- Método: Ausência do uso correto de ferramentas, como gabaritos, no processo de corte.
- Medidas: Falta de padronização nos comprimentos, levando a erros recorrentes.
- Material: Defeito de Fabricação

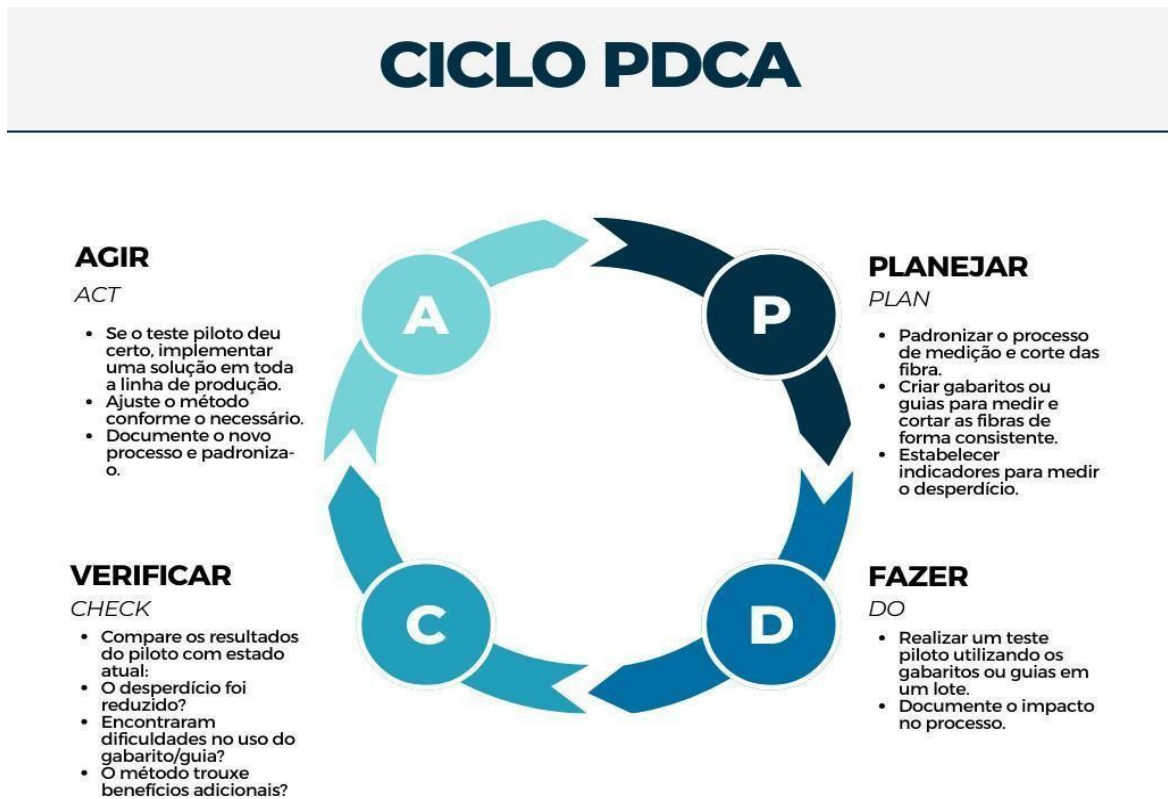
Figura 2 - Diagrama De Ishikawa.



Fonte: Autores (2025)

Após identificar a ausência de padronização como causa principal, implementou-se o ciclo PDCA para desenvolver e testar soluções. Durante uma fase de execução, foram utilizados gabaritos para padronizar o comprimento das fibras, reduzindo a variabilidade humana no corte. O impacto da intervenção foi medido em termos de redução percentual no desperdício de material por rolo.

Figura 3 - Diagrama De Ishikawa



Fonte: Autores (2025)

A implementação do Ciclo PDCA no processo de medição e corte de fibras resultou em melhorias significativas na padronização, eficiência operacional e redução de desperdícios. O ciclo foi conduzido de forma estruturada, conforme detalhado a seguir:

Planejamento (*Plan*) – Observação e Análise do Problema

A primeira etapa consistiu na observação detalhada do processo atual, identificando variabilidades e gargalos operacionais. O principal problema detectado foi a inconsistência no corte das fibras, resultando em desperdícios de material e dificuldades no controle de qualidade. Para compreender a origem desse problema, foi realizada uma análise de causa e efeito (Figura 2 - Diagrama de Ishikawa), considerando fatores como erro humano, falta de padronização, variação na calibração dos equipamentos e falhas nos métodos de medição. A partir dessa análise, foram definidos os seguintes objetivos para a intervenção:

- Padronizar o processo de medição e corte por meio do uso de gabaritos e guias específicos.
- Definir indicadores de desempenho, incluindo métricas para avaliação da

precisão dos cortes e do desperdício gerado.

- Treinar os operadores, garantindo a correta utilização dos novos instrumentos e técnicas.

Execução (Do) – Implementação do Teste Piloto

Com base no planejamento estabelecido, foi conduzido um teste piloto utilizando os gabaritos para medição e corte das fibras. O teste foi aplicado em um lote experimental, permitindo observar a adaptação dos operadores ao novo procedimento e mensurar os impactos iniciais. Durante essa fase, foram coletados dados quantitativos sobre tempo de execução, desperdício gerado e taxa de conformidade dos cortes realizados.

Além da execução prática, foi essencial documentar as percepções dos operadores sobre o novo método, registrando possíveis dificuldades e sugestões para ajustes.

Verificação (Check) – Análise de Resultados e Ajustes

Os dados coletados no teste piloto foram comparados aos indicadores do processo anterior, permitindo avaliar a eficácia da solução implementada. (Figura 3 - Ciclo PDCA aplicado ao processo de corte de fibras). Os principais achados incluem:

- Redução do desperdício de material em evidenciando maior precisão nos cortes.
- Diminuição do tempo médio de medição e corte, otimizando a produtividade da equipe.
- Aumento na taxa de conformidade dos cortes, garantindo maior uniformidade no produto final.

Adicionalmente, foram identificadas algumas dificuldades na aplicação dos gabaritos, como a necessidade de ajustes ergonômicos para facilitar o manuseio. Esses pontos foram revisados antes da implementação definitiva.

Ação (Act) – Padronização e Expansão do Novo Processo

Com a validação dos resultados positivos, o novo método foi implementado em toda a linha de produção. O processo foi documentado e padronizado por meio de procedimentos operacionais, garantindo a reprodutibilidade das melhorias. Além disso, foram definidos protocolos de monitoramento contínuo, permitindo ajustes futuros conforme necessário.

A adoção do Ciclo PDCA demonstrou-se uma abordagem eficiente para a resolução do problema, possibilitando um controle mais rigoroso sobre o processo produtivo. A análise sistemática dos dados permitiu uma tomada de decisão embasada, garantindo ganhos sustentáveis na produtividade e qualidade do produto final.

A empresa enfrenta dificuldades relacionadas ao desperdício de fibras, como 10% do material utilizado sendo descartado ao final do processo de trama. Esse desperdício não afeta apenas os custos operacionais, mas também prejudica a sustentabilidade do negócio, já que a fibra utilizada é um recurso valioso que poderia ser melhor aproveitado. Atualmente, são utilizados mensalmente aproximadamente 1.500 rolos de fibra, com um custo unitário de R\$ 110,00, resultando em um custo total de R\$ 165.000,00 por mês. Com o desperdício inicial de 10%, a empresa perdia R\$ 16.500,00 mensais. Após a implementação das melhorias propostas, que reduziram a despesa para 5%, houve uma economia de R\$ 8.250,00, demonstrando um impacto financeiro significativo da otimização do processo.

Os dados iniciais revelaram que, de um rolo de 3,5 kg de fibra 10% (0,35 kg) foram descartados como perda. A aplicação da análise dos 5 Porquês permitiu identificar a falta de padronização no corte como a principal causa desse desperdício. Esse problema foi agravado por falhas humanas na medição e também de modo menos impactante, defeitos na própria fibra (1%). Após a implementação do uso de gabaritos padronizados, o desperdício foi reduzido para 5% (0,175 kg por rolo), representando uma melhoria de 50% na eficiência do processo. A Figura 4 apresenta a aplicação da ferramenta 5W2H, que estruturou ações corretivas e facilitou o processo de tomada de decisão para eliminar desperdícios e otimizar os recursos disponíveis.

Figura 4 - Diagrama De Ishikawa.

What ?	Why?	Where?	When?	Who?	How?	How Much?
(O que ?)	(Por que ?)	(Onde ?)	(Quando ?)	(Quem ?)	(Como ?)	(Quanto ?)
Redução de desperdícios na produção artesanal de móveis de fibras	O desperdício representa 10% do material utilizado causando impacto financeiro e ambiental	Na fábrica da Trama original, localizada em Umuarama PR.	Durante o processo de corte e medição das fibras.	Empresa Trama Original e seus funcionários do setor produtivo.	Aplicação das ferramentas da qualidade, como ciclo PDCA e o uso de gabaritos para padronização.	Redução do desperdício de 10% para 5% gerando economia de R\$8.250.00 mensais

Fonte: Autores (2025)

A redução do desperdício não gerou apenas uma economia financeira significativa, mas também resultou em melhoria no engajamento dos colaboradores. A adoção dos gabaritos padronizados trouxe mais confiança no processo produtivo, melhorou o trabalho e diminuiu o retrabalho aumentando a eficiência dos operadores.

A análise dos 5 Porquês demonstrou ser uma ferramenta eficaz para a identificação da causa raiz do desperdício, enquanto o ciclo PDCA facilitou a implementação estruturada e a validação das soluções propostas. Além disso, a redução do desperdício investido para a sustentabilidade da produção, uma vez que menos matéria-prima foi desperdiçada, alinhando-se às tendências globais de responsabilidade ambiental e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 12 – Consumo e Produção Sustentável).

5. CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou que a implementação de ferramentas de qualidade pode ser altamente eficaz na redução de desperdícios e otimização de processos no setor artesanal. A aplicação dos 5 Porquês permitiu a identificação da causa raiz do desperdício, enquanto o ciclo PDCA possibilitou a implementação estruturada das soluções. Com a adoção dos gabaritos padronizados, a empresa conseguiu reduzir o desperdício de 10% para 5%, o que representou uma economia mensal de aproximadamente R\$ 8.250,00, além da melhoria no engajamento dos colaboradores e na eficiência produtiva.

Além dos benefícios financeiros, a redução de desperdícios fortaleceu a sustentabilidade da produção, alinhando-se às diretrizes globais de responsabilidade ambiental e economia circular. A otimização do uso de matéria-prima contribuiu para minimizar o impacto ambiental, promovendo uma abordagem mais sustentável para a produção artesanal.

Os resultados desta pesquisa também reforçam que pequenas e médias empresas podem adotar ferramentas simples de qualidade sem a necessidade de grandes investimentos tecnológicos. A Trama Original fortalece sua competitividade no mercado, demonstrando que estratégias de padronização e melhoria contínua são viáveis e benéficas para o setor artesanal.

A principal limitação deste estudo foi sua aplicação em uma única empresa, o que restringe a generalização dos resultados. No entanto, as metodologias aplicadas podem

servir como modelo replicável para outras indústrias artesanais que enfrentam desafios semelhantes. Pesquisas futuras podem explorar a integração de tecnologias digitais na medição de fibras , ampliando ainda mais os ganhos em eficiência, sustentabilidade e competitividade .

REFERÊNCIAS

IBGE. *Estatísticas econômicas do setor artesanal*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018.

PAB. *Programa do Artesanato Brasileiro: dados e ações 2021*. Brasília: Ministério da Economia, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/artesanato>. Acesso em: 25 abr. 2025.

SEBRAE. *O artesanato brasileiro em dados*. Brasília: Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas, 2020. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artesanato>. Acesso em: 25 abr. 2025.

CARNEIRO, Rafael Araújo. *Ferramentas da qualidade como instrumento de melhoria contínua em uma empresa de pequeno porte*. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2020. Disponível em: <https://www.monografias.ufop.br>. Acesso em: 25 abr. 2025.

CORDEIRO, Emerson Oliveira et al. *Aplicação do ciclo PDCA na gestão da qualidade: estudo de caso em uma indústria do setor moveleiro*. Revista Gestão Industrial, v. 16, n. 4, p. 106–120, 2020. Disponível em: <https://revistas.uninter.com/gestaoindustrial>. Acesso em: 25 abr. 2025.

MARTINS, Maria Oliveira. *Aplicação do método 5W2H em uma microempresa de artefatos têxteis*. 2017. 39 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.

SEBRAE. *Ferramenta: 5W2H – Plano de ação para empreendedores: estratégia e gestão*. Brasília: SEBRAE, [2025?]. Elaborado por Marcelo Nakagawa. Disponível em: <https://sebrae.com.br/Sebrae/Portal>. Acesso em: 26 abr. 2025.

SLACK, Nigel; BRANDON-JONES, Alistair; JOHNSTON, Robert. *Administração da produção*. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2020.

CAPÍTULO XXXIII

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO E DA CONFIABILIDADE DE ARRANJOS DE SUBESTAÇÕES NO SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA

Monilson de Sales Costa

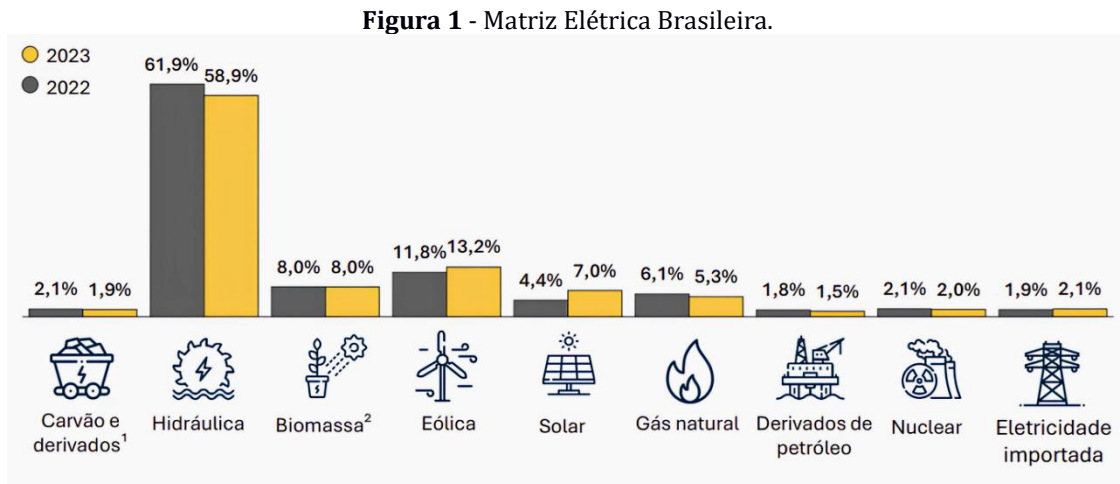
DOI: 10.5281/zenodo.17307782

1. INTRODUÇÃO

O Brasil, com suas dimensões continentais, possui um Sistema Elétrico de Potência (SEP) singular, caracterizado por uma ampla malha de geração e transmissão interligadas. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética - EPE [3], a matriz elétrica nacional é predominantemente hidro-térmica-eólica, ou seja, a geração de energia elétrica é majoritariamente proveniente de usinas hidrelétricas, termelétricas e eólicas, que juntas correspondem a uma parcela significativa da produção de energia elétrica do país, conforme ilustrado na Figura 1.

De acordo com o Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS [15], a interconexão

dos sistemas elétricos, por meio da malha de transmissão, propicia a transferência de energia entre subsistemas, permite a obtenção de ganhos sinérgicos e explora a diversidade entre os regimes hidrológicos das bacias. A integração dos recursos de geração e transmissão permite o atendimento ao mercado com segurança e economicidade.

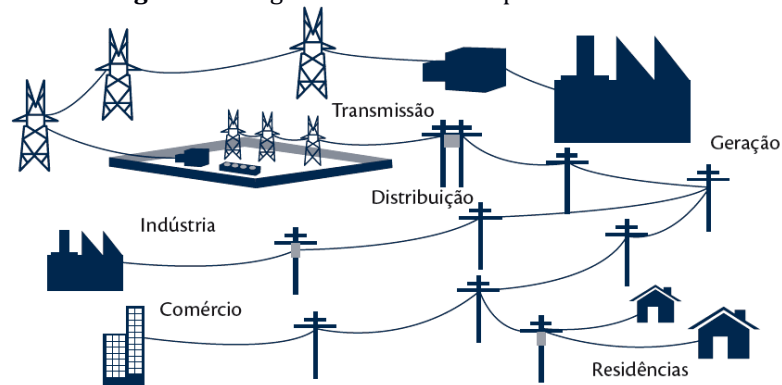


Fonte: EPE [3].

De acordo com Monteiro [13], as usinas responsáveis por gerar energia elétrica para abastecer residências, indústrias, geralmente, ficam distantes do ponto de consumo final. Assim, a rede de transmissão de energia elétrica e suas subestações assumem relevante importância para realizar o transporte da energia gerada num ambiente onde são exigidos altos níveis de desempenho e segurança.

Segundo Carleto [2], uma subestação pode ser definida como um conjunto de equipamentos interligados com o objetivo de controlar o fluxo de energia, alterar os níveis de tensão e corrente elétrica, bem como fornecer proteção e comando ao SEP. Além disso, as subestações são instalações de convergência entre as linhas de transmissão e de distribuição de energia. A Figura 2 apresenta um esquema do SEP, destacando as linhas de transmissão e subestações como elementos fundamentais na interligação entre os diferentes sistemas que o compõem.

Figura 2 - Diagrama Unifilar Exemplificado do SEP.



Fonte: EPE [3].

Ainda segundo Carleto [2], as subestações podem ser classificadas de acordo com o seu tipo, a sua função, as formas de instalação, os níveis de tensão e as formas de comando e operação. A Figura 3 apresenta o fluxograma com o resumo dessas classificações.

Figura 3 – Classificação das Subestações.



Fonte: Autoria Própria.

Dado o papel fundamental das subestações no funcionamento do SEP, torna-se essencial um entendimento aprofundado dessas instalações. Compreender seu funcionamento não apenas capacita engenheiros, técnicos e operadores a tomarem

decisões mais eficientes e seguras, mas também permite que qualquer pessoa interessada tenha uma visão mais clara sobre como a energia elétrica é transmitida e distribuída até chegar às residências. Esse conhecimento contribui para a valorização da infraestrutura elétrica e para a conscientização sobre a importância da confiabilidade e da eficiência no fornecimento de energia.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo geral apresentar os principais arranjos de subestações presentes no sistema elétrico, explicando seu funcionamento de maneira acessível. Além disso, busca-se destacar a confiabilidade desses arranjos diante de falhas e sua relação com a interrupção no fornecimento de energia aos consumidores. Por fim, enfatiza-se a interdependência entre arranjos, confiabilidade e custo, considerando que esses fatores são fundamentais no planejamento e no projeto de subestações.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Identificar e descrever os principais tipos de arranjos de subestações presentes no sistema elétrico de potência.
- Avaliar tecnicamente os diferentes arranjos de subestações, considerando a complexidade da operação.
- Analisar a relação entre o tipo de arranjo, a flexibilidade operacional, a confiabilidade e os custos envolvidos.
- Sintetizar os resultados da avaliação, destacando as principais conclusões sobre os arranjos de subestações.

2. METODOLOGIA

A metodologia adotada para o desenvolvimento deste trabalho foi estruturada em etapas sequenciais, visando uma análise aprofundada do sistema elétrico de potência e das subestações. As etapas desenvolvidas foram as seguintes:

- Estudo do sistema elétrico brasileiro e suas características gerais: análise das dimensões, estrutura e interligações que compõem o sistema, com foco nos aspectos técnicos e operacionais.
- Investigação do papel das subestações no SEP: abordagem das subestações como elos fundamentais na conexão entre os sistemas de geração, transmissão, distribuição e consumo, destacando suas

definições, classificações e importância estratégica.

- Análise dos principais arranjos de subestações presentes no sistema elétrico: identificação, descrição e classificação dos diferentes tipos de arranjos, como barramento simples, barramento duplo, disjuntor e meio, entre outros.
- Avaliação do desempenho operacional de cada arranjo de subestação, considerando a complexidade da operação, bem como sua flexibilidade, definida pela capacidade de adaptação a diferentes condições operacionais e situações de contingência.
- Análise da confiabilidade e dos custos de cada arranjo de subestação, realizando uma comparação detalhada entre os níveis de confiabilidade operacional e os investimentos necessários para implementação e manutenção no sistema elétrico.

Essa metodologia possibilitou uma visão abrangente e detalhada sobre as subestações, relacionando seus arranjos às necessidades de confiabilidade, custo e flexibilidade operacional. A abordagem proposta contribui para a tomada de decisão no planejamento e projeto de subestações, considerando os desafios e requisitos do sistema elétrico.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES: ARRANJOS DE SUBESTAÇÕES

De acordo com Monteiro [13], o estudo de arranjo de Subestações - SEs é um assunto bastante complexo, devido a vários fatores que devem ser considerados na análise e ao caráter da abordagem que as vezes possuem aspectos contraditório, como por exemplo, arranjos que apresentam simplicidade operacional e do sistema de proteção, o que é desejável, sem, no entanto, apresentar outras características importantes para a operação do sistema. Ainda, segundo Ribeiro [17], a definição do arranjo ideal de uma subestação industrial tem uma grande influência em todas as fases do empreendimento, e por toda a vida útil da instalação, desde a fase de projeto, suprimento, construção, montagem e operação.

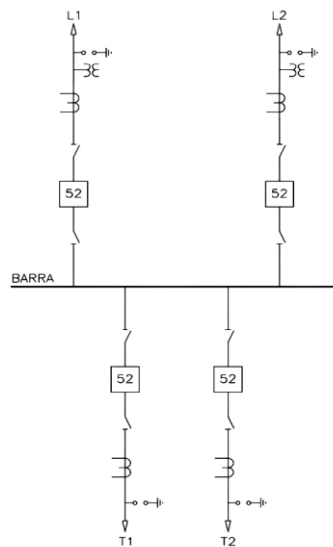
Diante disso, destaca-se a importância de compreender os principais arranjos de subestações para garantir o adequado funcionamento do SEP. Essa compreensão é essencial para atender aos critérios de confiabilidade, estabilidade e segurança no

fornecimento de energia elétrica, assegurando um desempenho eficiente e minimizando riscos operacionais.

3.1 Arranjo Barramento Simples

Esse é o arranjo de barramento mais simples utilizado em subestações. Em sua configuração construtiva, pode contar com uma ou mais linhas conectadas diretamente ao barramento, a partir do qual derivam-se os alimentadores, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Arranjo Barramento Simples.



Fonte: Gomes [4].

O arranjo de barramento simples, é composto por uma única barra que conecta duas entradas de linha e dois transformadores. Ele inclui uma chave de aterramento, que deve ser acionada apenas quando a linha estiver desenergizada, garantindo segurança durante a manutenção. O disjuntor de linha, em conjunto com relés, fornece proteção contra curto-circuito e sobrecarga. Chaves seccionadoras são utilizadas para isolar linhas e equipamentos, sendo abertas somente após o disjuntor ser desenergizado, assegurando uma manutenção segura. Para proteção contra sobretensões, os para-raios são instalados nas entradas e saídas de linha, protegendo contra descargas atmosféricas e manobras de chaveamento.

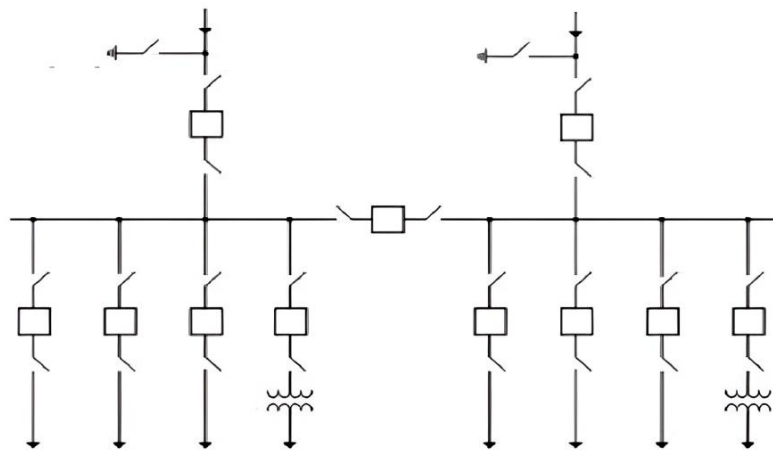
De acordo com Monteiro [13], os arranjos de subestações do tipo barramentos simples não são normalmente utilizados em SEs de alta relevância, pois trata-se de um esquema de barramento inflexível uma vez que há dependência de um único

barramento principal, deixando o sistema suscetível a desligamentos frequentes. Nesse caso, em caso de falha ou necessidade de executar alguma manutenção na SE, obrigatoriamente, é preciso desligá-la por completo. A vantagem desse tipo de barramento é o baixo custo e a simplicidade de operação, devido a utilização de um número reduzido de componentes e equipamentos.

3.2 Arranjo Barramento Simples Seccionado

Esse arranjo é semelhante ao barramento simples, com a diferença de que o barramento da subestação é seccionado e conectado por um disjuntor seccionador. A função do disjuntor seccionador é isolar o barramento, evitando que, em situações programadas ou não (como manutenção ou falha), a subestação fique completamente desenergizada. A Figura 5 apresenta esse tipo de barramento.

Figura 5 - Arranjo Barramento Simples Seccionado.



Fonte: Adaptado de Leão [8].

O barramento simples seccionado pode operar de duas formas: com o disjuntor seccionador fechado, funciona como um barramento simples, com linhas em paralelo alimentando a mesma barra; com o disjuntor aberto, opera como dois barramentos simples independentes. Um fator crucial é a capacidade dos equipamentos, como o disjuntor de linha, que deve suportar a corrente total distribuída aos alimentadores quando uma das linhas estiver desenergizada. Além disso, chaves seccionadoras instaladas em ambos os lados do disjuntor de seccionamento devem ser ajustadas para a posição Normalmente Aberta (NA) após sua abertura, garantindo o isolamento do disjuntor e a separação efetiva do barramento.

De acordo com Holanda [7], a probabilidade de perda total da subestação por falha é substancialmente reduzida. Em termos de confiabilidade, a possibilidade de duas linhas alimentarem todas as cargas (alimentadores) aumenta a continuidade do fornecimento de energia. Em caso de falha em uma das barras, apenas os alimentadores conectados a ela serão desligados, enquanto os demais continuam operando. Além disso, o seccionamento do barramento e a presença de múltiplas fontes proporcionam maior flexibilidade para manutenções, reduzindo impactos no sistema.

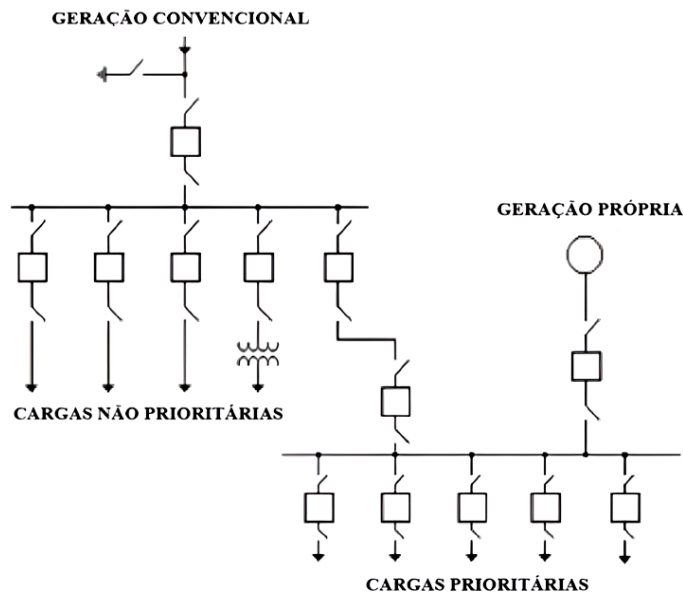
Como desvantagem para esse tipo de barramento, segundo Guimarães [6], haverá a perda de metade da carga da subestação quando ocorrer um defeito em qualquer uma das barras. Esse tipo de arranjo é aplicado para a alimentação de cargas que necessitam de uma maior continuidade de fornecimento.

3.3 Arranjo Duplo Barramento Simples

Esse arranjo é composto por dois barramentos simples interligados por um disjuntor de intertravamento, como ilustrado na Figura 6. É amplamente utilizado em instalações consumidoras que possuem duas fontes de alimentação, como a rede da concessionária e um grupo gerador. Esse modelo é comum em subestações de instalações industriais ou em sistemas que abastecem cargas críticas, garantindo maior confiabilidade e continuidade no fornecimento de energia.

Nesse arranjo, as cargas são distribuídas entre dois barramentos simples, de acordo com sua criticidade. As cargas prioritárias são conectadas ao barramento alimentado pela fonte de emergência (geração própria), enquanto as não prioritárias ficam na fonte convencional. Em operação normal, o disjuntor de intertravamento permanece fechado, permitindo que a fonte convencional alimente todas as cargas. Em caso de falha no fornecimento ou manutenção, o disjuntor é aberto, e a fonte de emergência assume as cargas prioritárias. Caso tenha capacidade suficiente, essa fonte pode alimentar todas as cargas com o disjuntor fechado, embora essa configuração seja menos comum.

Figura 6 - Arranjo Duplo Barramento Simples.



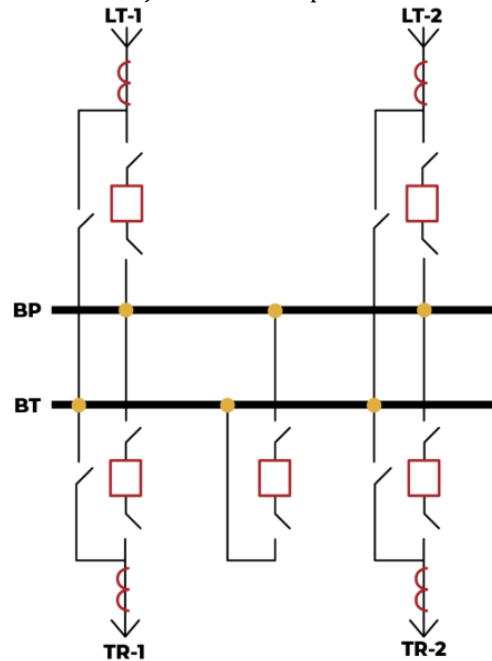
Fonte: Adaptado de Leão [8].

Segundo Guimarães [6], esse tipo de arranjo é apresentado como uma alternativa de operar na ponta (para reduzir o consumo de energia da concessionária visto que nesse horário o valor e R\$ do kWh é mais caro), em situação de emergência com a perda da fonte principal ou ainda poder controlar a demanda máxima para fins tarifários, injetando uma geração auxiliar. Além disso, esse arranjo é utilizado por instalações de consumidores que requerem elevada confiabilidade para cargas prioritárias e que aceitam desligamentos para as cargas não prioritárias.

3.4 Arranjo Barramento Principal e de Transferência

Esse tipo de arranjo consiste em um barramento principal, responsável pela alimentação normal das cargas, e um barramento de transferência, que permite a continuidade do fornecimento durante manutenções ou falhas no barramento principal. Segundo Azevedo [1], esse tipo de arranjo é utilizado em subestações de distribuição e subtransmissão, podendo ser encontrando em alguns casos de subestações de transmissão. Neste arranjo, um disjuntor é liberado com o auxílio do *by-pass*, da barra do vão de transferência, mantendo-se a proteção individual de cada circuito. A Figura 7 apresenta o esse tipo de arranjo.

Figura 7 - Arranjo Barra Principal e de Transferência.



Fonte: Mesh [12].

Nesse arranjo, a entrada de linha alimenta o barramento principal e, por meio de um *by-pass*, também pode ser conectada ao barramento de transferência.

- **Operação normal:** A chave do *by-pass* permanece normalmente aberta (NA), e a entrada de linha alimenta apenas o barramento principal.
- **Situação anormal ou manutenção:** O barramento de transferência é ativado, permitindo a continuidade da operação enquanto o disjuntor da entrada de linha passa por manutenção.
- **Flexibilidade:** O disjuntor de transferência pode substituir qualquer disjuntor de alimentador. Para isso, basta fechar a chave correspondente ao alimentador desejado.

Esse tipo de arranjo apresenta uma maior confiabilidade que os demais arranjos de barramento simples em virtude tanto da existência de mais de um barramento quanto pela conexão do disjuntor de intertravamento. Defeitos ou manutenção no disjuntor de entrada de linha são facilmente resolvidos com possibilidade de conexão da alimentação ao barramento de transferência pelo *by-pass* e a substituição de um disjuntor dos alimentadores pelo disjuntor de transferência.

Como desvantagem nesse tipo de arranjo, tem-se que qualquer defeito no barramento principal obriga o desligamento da subestação, mas, defeito do disjuntor de entrada de linha é facilmente resolvido com manobra de chaves e equipamentos. Esse tipo de arranjo tem sua maior aplicação em sistemas de alimentação de indústrias de

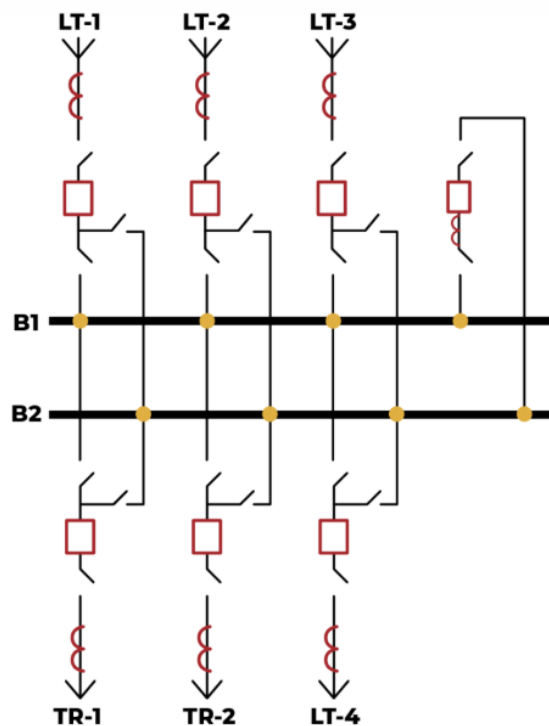
médio e grande portes.

Segundo Monteiro [13], embora esse tipo de barramento não apresente um alto nível de flexibilidade e confiabilidade, este é um esquema muito utilizado no Brasil devido ao seu custo ser mais baixo em relação a outros tipos de esquemas.

3.5 Arranjo Barramento Duplo com Um Disjuntor a 3 Chaves

Nesse tipo de arranjo de subestação, cada circuito alimentador pode ser conectado em qualquer uma das barras, necessitando apenas o chaveamento de chaves seletoras de barra. Segundo Azevedo [1], as duas barras poderão operar normalmente e a presença de um conjunto de Transformadores de Corrente - TCs instalados no vão de interligação de barras permite a separação de zonas de proteção das barras, melhorando a disponibilidade da subestação para falhas em barras. A Figura 8 apresenta esse tipo de arranjo.

Figura 8 - Arranjo Barramento Duplo com um Disjuntor a 3 Chaves.



Fonte: Mesh [12].

De acordo com Guimarães [6], como não há chaves *by-pass*, a manutenção ou reparo em disjuntores retira de operação um circuito do sistema. Para sistemas que possuem redundância, este fato pode não ser relevante. Além disso, não há a perda da

configuração normal, minimizando os riscos para o sistema.

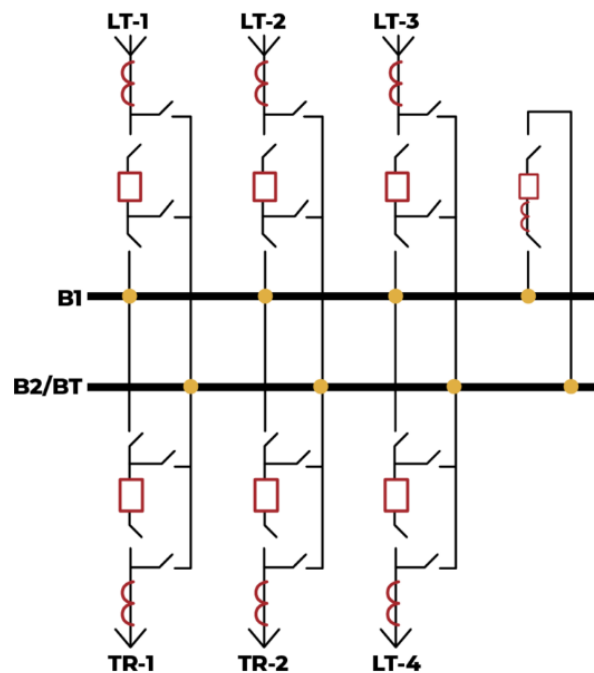
Segundo Marson [9], este arranjo permite que todos os circuitos sejam conectados a uma única barra em casos de desenergização programada ou falha em outro barramento, facilitando a manutenção ou isolamento de falhas. No entanto, durante a operação normal, com o disjuntor de transferência aberto e os barramentos eletricamente isolados, as vantagens do arranjo são limitadas, pois o sistema passa a operar como dois barramentos simples independentes. Embora essa configuração possa oferecer benefícios em algumas situações, ela reduz a flexibilidade e a confiabilidade do sistema em sua operação padrão.

Em termos de confiabilidade, esse arranjo oferece bom desempenho, pois uma falha primária não levará à desenergização total da subestação, exceto em caso de falha no disjuntor do *bay* de transferência, quando este estiver em operação. No entanto, se um dos barramentos falhar enquanto o disjuntor de transferência estiver em uso, a falha poderá afetar toda a subestação, resultando em sua desenergização completa.

3.6 Arranjo Barramento Duplo com Um Disjuntor a 4 Chaves

Este arranjo de subestação é semelhante ao anterior, mas inclui chaves de *by-pass* em todos os vãos. Como mostrado na Figura 9, há quatro chaves localizadas próximas aos disjuntores, o que justifica a nomenclatura do arranjo. O acréscimo dessas chaves de *by-pass* permite que, em caso de necessidade de desligamento de algum circuito ou realização de manutenção, os disjuntores possam ser isolados e liberados para manutenção sem comprometer o funcionamento do sistema.

Figura 9 - Arranjo Barramento Duplo com Um Disjuntor a 4 Chaves.



Fonte: Mesh [12].

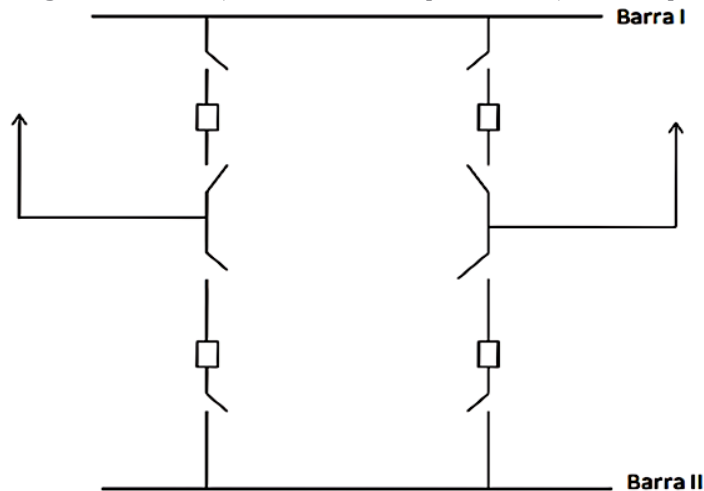
Segundo Azevedo [1], existe a vantagem da operação normal em barra dupla e, no caso de uma emergência em um disjuntor, uma das barras, previamente definida, é utilizada como barra de transferência, permanecendo temporariamente dedicada a este vão. Neste tipo de configuração é possível transferir apenas um disjuntor de cada vez.

De acordo com Holanda [7], o barramento duplo a quatro chaves é a configuração definida pelo ONS, para subestações externas isoladas a ar de 230 kV, pois esta configuração possui boa flexibilidade operativa e facilidades para a expansão, uma vez que se pode liberar temporariamente uma barra e não provocar desligamentos de circuitos do sistema.

3.7 Arranjo Barramento Duplo com Disjuntor Duplo

Esse tipo de arranjo é formado por dois barramentos e dois disjuntores para cada circuito, conforme está mostrado na Figura 10. Segundo Meireles [11], este tipo de arranjo apresenta a mesma vantagem do arranjo em barra principal e de transferência, permitindo a manutenção de disjuntor sem desligamento da saída. As saídas de linha são conectadas a cada uma das barras através de um disjuntor e duas chaves seccionadoras.

Figura 10 - Arranjo Barramento Duplo com Disjuntor Duplo.



Fonte: Adaptado de Prazeres [16].

Nesse tipo de arranjo, cada alimentador é protegido por dois disjuntores diferentes, podendo estes ser suprido por qualquer uma das barras. A barra principal entrará em funcionamento durante a operação normal e a barra reserva é usada em situação de emergência ou durante a realização de manutenção dos equipamentos.

Segundo Prazeres [16], uma falha em um único barramento pode ser isolada sem que haja a interrupção de qualquer circuito ou carga, logo uma falha em um circuito não interromperá outros circuitos ou barramentos, fazendo com que este tipo de configuração possua uma extremamente alta confiabilidade, sendo utilizada para instalações que necessite continuidade de fornecimento.

Em termos de confiabilidade, este arranjo é altamente eficiente devido à presença de dois disjuntores e duas barras. Caso ocorra uma falha na barra principal, é possível transferir a alimentação para a barra reserva, utilizando chaves seccionadoras e disjuntores, garantindo a continuidade do fornecimento. Além disso, em situações de manutenção, qualquer uma das barras pode ser retirada de serviço sem a necessidade de desenergizar os circuitos, o que assegura maior confiabilidade no sistema. Contudo, sua principal desvantagem é o alto custo envolvido. Esse tipo de arranjo é comumente utilizado em instalações de grande potência e em subestações de extra alta tensão, onde a confiabilidade e a flexibilidade operacional são fundamentais.

3.8 Arranjo Barramento Duplo com Disjuntor e Meio

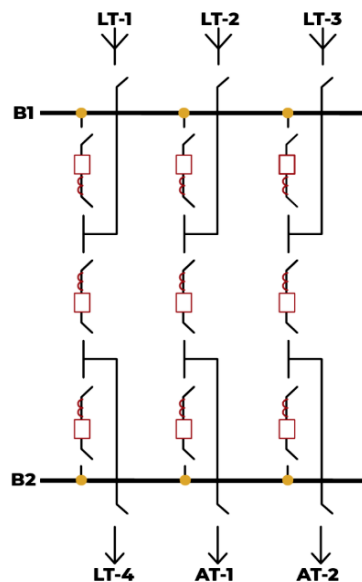
Segundo Marson [9], nesta configuração, formada por dois barramentos

normalmente energizados, cada dois circuitos são conectados por dois disjuntores, um em cada direção do circuito, sendo que o disjuntor do meio dos dois circuitos é compartilhado por estes, logo, serão 3 disjuntores para cada dois circuitos, o que resulta em um disjuntor e meio para cada circuito, daí o nome disjuntor e meio. Esse arranjo é comumente utilizado em subestações que exigem alta disponibilidade e a capacidade de fornecer grandes quantidades de potência, garantindo alta confiabilidade para a continuidade do serviço.

Neste arranjo, em caso de falha primária, a desenergização completa da subestação não ocorre. A falha afetará apenas a saída de uma linha ou barramento, sem comprometer a alimentação dos alimentadores. Se houver falha em um dos barramentos, pode-se realizar o chaveamento das chaves e a abertura dos disjuntores do barramento afetado, permitindo que os alimentadores sejam alimentados pelo outro barramento, garantindo a continuidade do fornecimento de energia.

Segundo Oliveira [14], o custo desta configuração é relacionado ao número de circuitos, mas é justificado quando se leva em consideração sua confiabilidade, flexibilidade e a facilidade de manutenção. Segundo Prazeres [16], assim como o arranjo em anel, esse arranjo possui uma alta confiabilidade, sendo bastante utilizado no Brasil em sistemas de 500 e 765 kV. A Figura 11 apresenta a representação desse tipo de arranjo.

Figura 11 - Arranjo Barramento Disjuntor e Meio.



Fonte: Mesh [12].

Esse tipo de arranjo também apresenta a possibilidade de continuar em

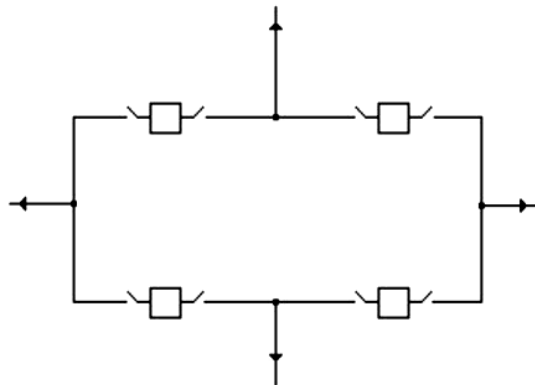
funcionamento mesmo durante uma falta que provoque a saída dos dois barramentos. Neste caso, os circuitos de entrada de linha e os alimentadores de saída de linha ainda podem ser operados graças ao disjuntor central. Como desvantagem, tem-se um investimento muito elevado e a complexidade operacional no esquema de proteção.

3.9 Arranjo Barramento em Anel

Nesse tipo de arranjo, os disjuntores, entrada de linha e saída dos alimentadores são conectados no formato de anel, sendo que os circuitos são conectados entre disjuntores, conforme mostra a Figura 12. Segundo Mcdonald [10], este arranjo garante uma alta confiabilidade, dado que, caso haja uma falta em uma seção do barramento, apenas os circuitos que estavam ligados na mesma serão interrompidos, não afetando assim nenhum outro sistema.

Violin [18] classifica o arranjo de barramento em anel em duas configurações: anel simples e anel múltiplo. No anel simples, o número de disjuntores corresponde ao número de circuitos, sendo uma opção econômica e flexível, mas com a desvantagem de vulnerabilidade a falhas externas durante contingências duplas. A falha de um disjuntor, por exemplo, pode causar uma perda significativa de configuração. Já no anel múltiplo, mais adequado para sistemas que requerem maior segurança e disponibilidade, a configuração oferece mais robustez e é recomendada em barramentos críticos. Ambos os arranjos enfrentam desafios no projeto de expansão, especialmente em relação ao cruzamento de circuitos e localização dos transformadores.

Figura 12 - Arranjo Barramento em Anel.



Fonte: Adaptado de Guimarães [6].

De acordo com Leão [8], cada equipamento (linha, alimentador, etc) é alimentado

por dois disjuntores separados. Em caso de falta, somente o segmento que ocorreu a falta ficará isolado. Quando um disjuntor estiver desligado para manutenção, o anel estará aberto e o restante do barramento e disjuntores alternativos deverão ser projetados para transportar a carga total.

Quanto à confiabilidade desse arranjo, falhas simples não resultam na perda total da subestação, afetando apenas o alimentador onde ocorreu a falha, devido à sua configuração. Nesse caso, a falha acionaria a abertura dos disjuntores próximos ao circuito afetado, isolando apenas o anel correspondente, sem desenergizar toda a subestação.

3.10 Avaliação dos Arranjos de Subestações

Conforme abordado anteriormente, os arranjos de subestações podem variar significativamente em termos de complexidade da operação, flexibilidade, confiabilidade e custo. Alguns arranjos, como o barramento simples, são caracterizados por poucos componentes, uma topologia simples e um custo baixo, porém com confiabilidade limitada. Em contrapartida, arranjos mais sofisticados, que incorporam múltiplas entradas de linha, barramentos duplos, chaves *by-pass* e outros elementos, oferecem maior confiabilidade. No entanto, essa maior robustez operacional está associada a custos mais elevados, refletindo a necessidade de mais componentes e infraestrutura.

Os critérios utilizados na análise de cada tipo de arranjo (complexidade da operação, flexibilidade, confiabilidade e custo) baseiam-se na análise de como cada arranjo de subestação funciona, sua capacidade de adaptação a diferentes condições de operação, a segurança que oferece em caso de falhas e o investimento necessário para sua implementação. Aqui está o detalhamento de cada critério:

1. Operação (simples, moderada, complexa):

- **Simples:** Arranjos com poucos componentes e poucos processos envolvidos.
- **Moderada:** Arranjos que exigem mais processos de operação, com componentes adicionais como disjuntores e seccionadores, mas ainda não tão complexos.
- **Complexa:** Arranjos que exigem coordenação de muitos elementos e várias etapas de operação.

2. Flexibilidade Operativa (baixa, moderada, alta):

- **Baixa:** Arranjos com capacidade limitada de operação em diferentes condições.
- **Moderada:** Arranjos que permitem alguma flexibilidade, com opções de contornar falhas, mas com limitações operacionais em situações de falhas ou necessidade de manutenção.
- **Alta:** Arranjos com ampla capacidade de adaptação a diversas condições operacionais e de contingência.

3. Confiabilidade (baixa, moderada, alta):

- **Baixa:** Arranjos mais simples, com menor capacidade de contornar falhas ou de fornecer redundância.
- **Moderada:** Arranjos mais robustos, com alguma redundância e opções de mitigação de falhas, mas ainda com limitações.
- **Alta:** Arranjos com alta capacidade de lidar com falhas e garantir a continuidade da operação, mesmo em situações de contingência.

4. Custo (baixo, moderado, alto):

- **Baixo:** Arranjos simples, com poucos componentes e menos necessidade de infraestrutura adicional.
- **Moderado:** Arranjos que envolvem mais componentes e tecnologias para garantir redundância e maior flexibilidade.
- **Alto:** Arranjos que necessitam de muitos componentes, como disjuntores, seccionadores e outras instalações especializadas, além de uma infraestrutura mais robusta, que exige alto investimento para garantir flexibilidade e alta confiabilidade.

De acordo com Gomes [5], a escolha do arranjo de barramento ideal deve ser guiada pelas necessidades específicas de cada SE. Portanto, é recomendado a classificação da subestação em uma das categorias tais como, SE de transformação, SE de alta tensão, etc. Isso conecta a seleção do arranjo de barras à função específica da subestação no sistema de potência.

Os critérios apresentados são usados para avaliar cada arranjo de subestação de maneira sistemática, considerando as vantagens e limitações de cada tipo, ajudando na

escolha do mais adequado com base nas necessidades específicas de operação, flexibilidade, confiabilidade e custo, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Resumo das Principais Características dos Arranjos de Subestações.

Arranjo	Complexidade da Operação	Flexibilidade	Confiabilidade	Custo
Barramento Simples	Simples	Baixa	Baixa	Baixo
Barramento Simples Seccionado	Moderada	Moderada	Moderada	Moderado
Duplo Barramento Simples	Moderada	Moderada	Moderada	Moderado
Barramento Principal e de Transferência	Moderada	Alta	Alta	Moderado
Barramento Duplo com Um Disjuntor a 3 Chaves	Complexa	Alta	Alta	Alto
Barramento Duplo com Um Disjuntor a 4 Chaves	Complexa	Alta	Alta	Alto
Barramento Duplo e Disjuntor Duplo	Complexa	Alta	Alta	Alto
Barramento Duplo e Disjuntor e Meio	Complexa	Alta	Alta	Alto
Barramento em Anel	Complexa	Alta	Alta	Alto

Fonte: Autoria Própria.

4. CONCLUSÕES

Como esperado, devido à sua simplicidade construtiva, o arranjo de barramento simples apresenta a menor confiabilidade operacional. Falhas simples nesse tipo de subestação podem resultar no desligamento total do sistema. Embora possua um custo reduzido, devido ao número menor de componentes, a flexibilidade operacional é limitada. Essa flexibilidade pode ser aprimorada com o seccionamento do barramento ou pela adoção de uma configuração de barramento duplo simples, que aumenta a capacidade de manutenção e operação sem comprometer a continuidade do fornecimento.

O arranjo do tipo barra principal e transferência utiliza o disjuntor de transferência para proteger o vão (entrada ou saída de linha) quando o disjuntor associado a esse vão é retirado de serviço para manutenção. Nessas situações, a linha é conectada ao barramento de transferência, permitindo que a subestação continue operando. Embora esse arranjo ofereça boa flexibilidade para operação e manutenção, ele apresenta uma confiabilidade moderada e um custo moderado. O custo moderado decorre do maior número de componentes em comparação com o arranjo de barramento simples.

O arranjo do tipo barramento duplo com disjuntor simples (3 chaves e 4 chaves) apresenta alta confiabilidade e custo, devido ao maior número de chaves e componentes em seu projeto. No entanto, tanto a confiabilidade quanto o custo são inferiores aos observados no arranjo de barramento duplo com disjuntor duplo. Quando o arranjo é configurado com disjuntores duplos, a confiabilidade e a proteção são significativamente aprimoradas, oferecendo, assim, uma flexibilidade operacional elevada.

O arranjo de subestação do tipo disjuntor e meio oferece alta confiabilidade, boa flexibilidade operacional e de manutenção, com custo alto, embora inferior ao arranjo barramento duplo com disjuntor duplo. Apesar de ter um custo elevado, o disjuntor e meio apresenta um número menor de componentes, como disjuntores, o que o torna uma opção mais econômica em comparação com o arranjo mais complexo e com maior número de componentes, como o barramento duplo com disjuntor duplo.

O arranjo de subestação com barramento em anel oferece alta confiabilidade, com custo que pode variar de moderado a alto, dependendo da configuração e das exigências do sistema. Embora não possua barras duplas, o barramento em anel exige custos adicionais devido à sua flexibilidade e redundância, que garantem a continuidade da operação em caso de falhas. Isso resulta na necessidade de um maior número de equipamentos de proteção e chaveamento, o que contribui para o aumento do custo.

Assim, destaca-se que a escolha do tipo de arranjo de subestação deve considerar diferentes e importantes parâmetros, dentre os quais se destacam a especificação definida em normas para acessantes do sistema elétrico de potência, a confiabilidade exigida, o custo de implantação e a flexibilidade em relação à operação e manutenção.

Como perspectivas para trabalhos futuros, além da avaliação dos esquemas de proteção e sua influência na confiabilidade dos arranjos de subestação, espera-se também avaliar o impacto de falhas em diferentes tipos de arranjos de subestação, identificando os pontos críticos que podem afetar o fornecimento de energia, bem como o

desenvolvimento de modelos computacionais para simular a operação dos arranjos em diferentes condições de falha e carga, permitindo a otimização do desempenho e análise de cenários críticos.

REFERÊNCIAS

- [1] AZEVEDO, M. P. **Arranjos de Subestações de Alta Tensão**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Departamento de Engenharia Elétrica). Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET, Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <<https://www.dee.cefetmg.br/trabalhos-de-conclusao-de-curso/tcc-20152/>>. Acesso em: 20 jan. 2025.
- [2] CARLETO, N. **Subestações Elétricas**. 3ª ed. Brasília: NT Editora, 2017. 190 p.
- [3] EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2024**. Brasília, DF: MME, 2024. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2024>>. Acesso em: 28 jan. 2025.
- [4] GOMES, L. A. **Análise de Arranjos de Barramentos de Subestações de Distribuição, Transmissão e Industrial**. 2023, 75f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2023. Disponível em: <<https://app.uff.br/riuff/handle/1/31487>>. Acesso em: 28 jan. 2025.
- [5] GOMES, L. A.; MONTEIRO, P. R. D.; BORGES, T. T. **Análise de Arranjos de Barramentos em Subestações: Uma Abordagem Metodológica**. Seven Editora Acadêmica, p. 443-458, 2024. DOI: <https://doi.org/10.56238/sevened2024.004-027>.
- [6] GUIMARÃES, R. F. A. **Subestações**. 1ª ed. São Paulo: Know How Tecnologia, 2016.
- [7] HOLANDA, I. A. G. T. **SUEL: Ferramenta Didática de Subestações Elétricas**. 2016. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Campina Grande - UFCG. Campina Grande, 2016. Disponível em: <<https://tinyurl.com/5bpvu9jd>>. Acesso em: 25 jan. 2025.
- [8] LEÃO, R. P. S. **Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica**. Notas de Aula -Universidade Federal do Ceará – UFC. Fortaleza, 2015.
- [9] MARSON, J. P. **Metodologia de Análise de Arranjos de Barras em Subestações de Alta Tensão**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, 2017. Disponível em: <https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/94df5f41-4b7a-4c3e-8c31-1b263684a426/Marson_Joao_Paulo_tcc.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2025.
- [10] MCDONALD, J. D. **Electric Power Substations Engineering**. 3ª ed. EUA: CRC press. 2012. 524 p.

- [11] MEIRELES, D. **Aplicabilidade de Subestações Compactas Isoladas a Gás em Grandes Centros Urbanos: Proposta de Procedimento Aplicado à Expansão do Sistema Elétrico**. 2010. 77f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <<https://www.ppgee.ufmg.br/defesas/47m.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2025.
- [12] MESH ENGENHARIA. **Arranjos de Barras de Subestações**. Disponível em: <<https://meshengenharia.com/2022/11/30/arranjo-de-barras-de-subestacao/>>. Acesso em: 18 jan. 2025.
- [13] MONTEIRO, P. R. D.; MIRANDA, J. M. **Arranjo de Subestação: Um Estudo de Revisão Bibliográfica**. Research, Society and Development, v. 10, n. 14, p. e287101421805-e287101421805, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i14.21805>.
- [14] OLIVEIRA, T.; JESUS, M. B; YOKOGAWA, R. **Análise do Desempenho de uma Subestação Isolada a Gás em Comparação a uma Subestação Convencional**. 2017. 127 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/10071/1/CT_COELE_2017_1_05.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2025.
- [15] ONS - OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **O Sistema Interligado Nacional**. Disponível em: <<https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>>. Acesso em: 21 jan. 2025.
- [16] PRAZERES, R. A. **Redes de Distribuição de Energia Elétrica e Subestações**. 1^a. ed. Curitiba: Editora IBEP, 2010. 176 p.
- [17] RIBEIRO, T. P.; ARAUJO, M. F.; PEREIRA, A. M.; MONTEIRO, P. R. D. **View of Comparison of Industrial Substation Arrangements**. IEEE Latin America Transactions, Vol. 18, 1834 - 1841, 2021. DOI: 10.1109/TLA.2020.9387675.
- [18] VIOLIN, A.; D'AJUZ, A.; LACORTE, M. **Equipamentos de Alta Tensão – Prospeção e Hierarquização de Inovações Tecnológicas: Subestações de Alta Tensão**. 1^a. ed. Brasília: Teixeira, 2013. 940 p.

CAPÍTULO XXXIV

ANÁLISE DA EVASÃO ESCOLAR EM CURSOS TÉCNICOS COM COMPONENTE MATEMÁTICO ELEVADO EM INSTITUIÇÃO DE ENSINO LOCALIZADA EM CAUCAIA - CE

Monilson de Sales Costa

DOI:

1. INTRODUÇÃO

A evasão escolar é um tema que historicamente tem sido objeto de debates e reflexões nos âmbitos da educação pública e privada no Brasil. Infelizmente, até os dias atuais, permanece como uma questão relevante nas políticas públicas e no cenário educacional. No entanto, a partir de estudos e discussões em andamento, estão sendo identificadas causas e desenvolvidas estratégias para evitar esse fenômeno indesejado, que tanto prejudica o sistema de ensino.

A evasão escolar em disciplinas relacionadas à matemática é um fenômeno

específico que ocorre quando os estudantes abandonam os seus cursos ou disciplinas devido aos desafios e dificuldades encontradas no aprendizado do seu conteúdo. Assim, é importante considerar estratégias pedagógicas inovadoras que facilitem o processo ensino-aprendizagem, criar um ambiente de aprendizado positivo, oferecer suporte adicional aos estudantes que enfrentam dificuldades e destacar a relevância prática da matemática em várias áreas da vida e do trabalho, relacionando sempre o conteúdo estudado a exemplos práticos do cotidiano.

Analisar a evasão escolar em cursos técnicos com componente matemático elevado é uma abordagem relevante para permanência dos estudantes na instituição. Assim, com o desenvolvimento deste trabalho, será possível quantificar a evasão escolar relacionada a esses cursos, identificar os fatores de risco relacionados à causa da evasão e a partir disso desenvolver estratégias de prevenção e combate a esse fenômeno, permitindo assim o aprimoramento do ambiente de aprendizado.

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a evasão escolar em cursos técnicos com elevada componente matemática e apresentar estratégias para prevenção deste fenômeno indesejado em cursos técnicos na instituição de ensino. Assim, para o cumprimento deste objetivo, este trabalho está estruturado em cinco capítulos, conforme apresentado a seguir: capítulo 1: introdução; capítulo 2: metodologia; capítulo 3: evasão escolar: causas e características; capítulo 4: caracterização dos cursos técnicos avaliados; capítulo 5: análise da evasão escolar nos cursos técnicos; capítulo 6: estratégias de redução da evasão e por fim, no capítulo 7 são apresentadas as conclusões.

2. METODOLOGIA

A metodologia adotada no desenvolvimento deste trabalho segue uma abordagem sistêmica e estruturada, visando uma compreensão aprofundada do fenômeno da evasão nos cursos técnicos. Para isso, são delineadas as seguintes etapas:

- **Revisão da Literatura:** Realização de um levantamento teórico abrangente, fundamentando o estudo a partir de pesquisas e referenciais acadêmicos relevantes sobre evasão escolar e estratégias de combate à evasão;
- **Caracterização dos Cursos Técnicos:** Análise detalhada dos cursos investigados, especialmente a estrutura curricular, visando identificar os

principais fatores que possam influenciar a permanência dos alunos;

- **Coleta de Dados:** Obtenção de informações quantitativas sobre a evasão, por meio de registros institucionais;
- **Análise dos Dados:** Aplicação de técnicas estatísticas e interpretativas para identificar padrões, tendências e fatores determinantes da evasão, possibilitando uma compreensão embasada do problema;
- **Proposição de Estratégias:** Elaboração de ações direcionadas à redução da evasão, com base nos achados da pesquisa e em boas práticas adotadas em contextos similares;
- **Apresentação das Conclusões:** Síntese dos resultados obtidos, destacando insights relevantes, contribuições para a gestão educacional e recomendações para futuras intervenções.

Essa abordagem estruturada permite não apenas diagnosticar as causas da evasão, mas também fornecer subsídios para a formulação de estratégias eficazes de permanência estudantil e êxito educacional.

4. EVASÃO ESCOLAR: CAUSAS E CARACTERÍSTICAS

A evasão escolar caracteriza-se como um fenômeno em que os estudantes abandonam os cursos nas instituições de ensino antes de sua conclusão, manifestando-se em todos os níveis da educação, incluindo a básica, superior e pós-graduação. Evasão, segundo Riffel e Malacarne (2010), é o ato de evadir-se, fugir, abandonar; sair, desistir; não permanecer em algum lugar. Relacionando esse conceito à evasão escolar, entende-se a fuga ou abandono da escola em função da realização de outra atividade.

Segundo Silva Filho (2017), a evasão e o abandono escolar são um grande problema relacionado à educação brasileira. As metas estipuladas pela Constituição Federal de 1988, que determinam a universalização do ensino fundamental e a “erradicação” do analfabetismo, até os dias atuais não se concretizaram, mesmo a educação sendo um direito garantido e determinado em seu art. 6º.

Para Johann (2012), a evasão é um fenômeno caracterizado pelo abandono do curso, rompendo com o vínculo jurídico estabelecido, não renovando o compromisso ou sua manifestação de continuar no estabelecimento de ensino. Esta situação de evasão é vista como abandono, sem intenção de voltar, uma vez que não renovando a matrícula

rompe-se o vínculo existente entre aluno e escola.

Conforme Dore e Lüscher (2011), a evasão escolar tem sido associada a situações tão diversas quanto a retenção e repetência do aluno na escola, a saída do aluno da instituição, a saída do aluno do sistema de ensino, a não conclusão de um determinado nível de ensino, o abandono da escola e posterior retorno. Refere-se ainda àqueles indivíduos que nunca ingressaram em um determinado nível de ensino, especialmente na educação compulsória, e ao estudante que concluiu um determinado nível de ensino, mas se comporta como um *dropout*.

Segundo Batista (2009), são muitos os motivos que conduzem o estudante a abandonar seus estudos. Dentre eles, destacam-se os fatores internos, associados ao desenvolvimento psíquico do aluno, bem como os fatores externos de natureza socioeconômica. Muitas vezes, jovens vêem-se obrigados a optar por trabalhar em lugar de estudar, devido à necessidade de contribuir para o sustento da família. Além disso, o modelo de escola da atualidade, já não desperta o interesse do aluno.

São várias as dimensões relacionadas à evasão escolar, devendo esse fenômeno ser avaliado e forma integrada, através de várias dimensões que interagem e fazem parte desta problemática, podendo ser de ordem econômica, social, cultural e política. Assim, faz-se necessária uma análise integrada para que o fenômeno possa ser compreendido.

De acordo com Digiácomo (2011), a evasão escolar é um problema crônico em toda o Brasil, sendo muitas vezes passivamente assimilada e tolerada por escola e sistemas de ensino, que chega ao cúmulo de admitirem a matrícula de um número mais elevado de alunos por turma do que o adequado, já contando com a “desistência” de muitos ao longo do ano letivo.

A evasão escolar também está relacionada a matemática. Segundo Alencar (2020), a matemática, para a grande maioria dos estudantes, é vista como uma disciplina que causa medo, sendo considerada por eles como uma disciplina difícil. Por causa disso, a dificuldade na matéria tem contribuído para que os estudantes tenham aversão à disciplina e de certa forma pode ocasionar certo teor de retenção, reprovação ou até distanciamento do ambiente acadêmico, e de certa forma contribuir para o fenômeno da evasão escolar.

A evasão escolar em disciplinas de matemática pode ser um desafio significativo que afeta tanto os alunos quanto os sistemas educacionais. Alguns fatores podem contribuir para a evasão escolar em disciplinas de matemática, dentre os quais pode-se

destacar:

- **Métodos de Ensino Ineficazes:** Métodos de ensino que não engajam os alunos de maneira participativa, integrando conceitos e ferramentas que podem contribuir para a evasão. Estratégias pedagógicas inovadoras podem ser necessárias para tornar o ensino de matemática mais acessível e interessante.
- **Desconexão com a Aplicação Prática:** Se os alunos não conseguem ver a aplicação prática da matemática em situações do mundo real, podem perder o interesse, dificultando o aprendizado e contribuindo para a evasão.
- **Dificuldades de Aprendizado:** Alunos podem enfrentar dificuldades para compreender conceitos matemáticos, o que pode resultar em baixo desempenho e desmotivação. Por vezes, a dificuldade em matemática é um problema que se arrasta desde o início do processo de educação, o que acaba se tornando um problema para o entendimento de conhecimentos e informações um pouco mais complexas, resultando em dificuldades de aprendizado.
- **Estigma da Dificuldade:** Historicamente a matemática é vista como a disciplina que é a grande vilã das estruturas curriculares, logo, os estudantes desenvolvem um pré-conceito e uma ansiedade em relação à matemática, tanto dificultando o ingresso em cursos com componente matemática elevada quanto contribuindo para a evasão escolar.
- **Falta de Recursos:** A falta de apoio adequado, seja em termos de recursos didáticos, tutoria ou assistência extraclasse, pode contribuir para a evasão em matemática. O modelo tradicional de ensino baseado apenas em aulas expositivas e resolução de questões no quadro não estimula o aprendizado, principalmente para uma geração cada vez mais conectada e dependente de tecnologias.
- **Percepção de Irrelevância:** Alunos podem perceber a matemática como irrelevante para suas vidas cotidianas ou futuras carreiras, o que pode diminuir a motivação e levar à evasão.

Alguns autores têm realizados estudos e pesquisas para mapear a causa da dificuldade de aprendizagem de matemática, segundo Nacarato, Mengali e Passos (2009),

muitas podem ser explicadas por vários fatores ou questões, como por exemplo: reforço inadequado ou insuficiente, falta de oportunidades para que os alunos vão á prática, pois materiais ou ato concreto ajuda a dar sentido e aprender a parte teórica, ausência ou pouca instrução, falta de estímulos ou forma errada de incentivar, apresentação de dificuldades nas habilidades, entre outras.

De maneira geral, a insatisfação com a disciplina de matemática se configura como uma parcela visível no processo de exclusão, uma vez que traz consigo comportamentos de aversão ao ensino dessa disciplina, impactando negativamente a aprendizagem. Diante desse cenário, torna-se imperativo que a escola reavalie seus princípios e práticas, buscando provocar um desejo de aprender e gerar motivação para transformar a realidade dessa disciplina no Brasil.

5. CARACTERIZAÇÃO DOS CURSOS TÉCNICOS AVALIADOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, avaliou-se a evasão escolar em cursos com elevado componente matemático em uma instituição de ensino localizada na cidade de Caucaia, da região metropolitana de Fortaleza, estado do Ceará. A instituição de ensino faz parte da rede federal de educação tecnológica, estando presente em todas as regiões do Estado do Ceará, atendendo atualmente cerca de 20.500 estudantes, por meio da oferta de cursos regulares de formação técnica e tecnológica, nas modalidades presenciais e a distância. Na rede, são oferecidos cursos superiores tecnológicos, licenciaturas, bacharelados, além de cursos de pós-graduação, mais precisamente, especialização e mestrado.

Os cursos técnicos de nível médio têm por função preparar profissionais com formação específica, capacitados a absorver e desenvolver novas tecnologias, pautando-se em uma visão igualmente humanista e reflexiva, além do natural dotação de conhecimentos requeridos para o exercício das competências inerentes à profissão.

4.1 Curso Técnico em Automação Industrial

A proposta do Curso Técnico em Automação Industrial da instituição avaliada foi estruturada a partir da relação entre as reais necessidades do local de instalação da instituição, identificadas por meio de um estudo de potencialidades e atuação profissional.

Além disso, considerou-se o conhecimento de diferentes áreas de estudo, permitindo compreender e desenvolver a multiplicidade dos aspectos determinantes envolvidos. O curso tem a duração de três semestres, contendo disciplinas específicas da área da automação industrial, práticas laboratoriais e profissionais e estágio supervisionado. A carga horária total do curso é de 1200h, sendo que 1160h é relativo ao total de componentes curriculares e 40h relativo à prática profissional.

Segundo o Projeto Político Pedagógico - PPC, o curso visa formar profissionais com bases tecnológicas voltadas para o desenvolvimento de atividades de execução e manutenção de instalações elétricas e mecânicas, operação de equipamentos industriais obedecendo às especificações e às normas técnicas de segurança com responsabilidade ambiental.

Avaliando a matriz curricular deste curso, as disciplinas com componente matemático elevado são:

- **Primeiro Semestre:** Eletroeletrônica básica, fundamentos de programação e sistemas digitais.
- **Segundo Semestre:** Controlador lógico programável, eletrônica analógica e microcontroladores.
- **Terceiro Semestre:** Controlador lógico programável II, instrumentação e controle de processos industriais, processos de automação industrial, robótica industrial e sistemas supervisórios.
- **Disciplina Optativa:** Matemática técnica.

4.2 Curso Técnico em Eletromecânica

Segundo o Projeto Político Pedagógico - PPC, o curso visa formar profissionais com bases tecnológicas voltadas para o desenvolvimento de atividades de execução e manutenção de instalações elétricas e mecânicas, operação de equipamentos industriais obedecendo às especificações e às normas técnicas de segurança com responsabilidade ambiental.

O profissional do curso de eletromecânica deve possuir uma formação técnico-científica sólida, estando preparado para buscar atualização contínua, bem como aperfeiçoamento e capacitação. Isso é fundamental para desenvolver ações estratégicas com o intuito de ampliar e aprimorar suas formas de atuação, contribuindo efetivamente

para o desenvolvimento tecnológico da região e/ou outras áreas.

A matriz curricular encontra-se dividida em três semestres, com carga horária total de 1200h, podendo o estudante cursar além desse total o valor correspondente a 40h, relativo à prática profissional. Avaliando a matriz curricular deste curso, as disciplinas com componente matemático elevado são:

- **Primeiro Semestre:** Eletricidade CC, física, matemática técnica e metrologia dimensional.
- **Segundo Semestre:** Eletricidade CA, matemática técnica aplicada e instalações elétricas.
- **Terceiro Semestre:** Comandos elétricos.

4.3 Curso Técnico em Eletrotécnica

Segundo o Projeto Político Pedagógico - PPC, o curso técnico em eletrotécnica, irá suprir a demanda por técnicos na área de manutenção elétrica e eletrônica na região, e em especial, poderá ser capacitado especificamente para atuar nas termelétricas, empresas de geração de energia solar fotovoltaica e eólica, além de dar vazão à demanda por eletricitistas industriais, mantenedores de sistemas de baixa, média e alta tensão.

A matriz curricular encontra-se dividida em disciplinas para a formação de conteúdos básicos (120h), disciplinas de conteúdos profissionalizantes (1000h) e disciplinas que são extensões do conteúdo profissionalizante (80h), totalizando 1200h. Todas essas disciplinas são de regime semestral, sendo distribuídas em três semestres.

Avaliando a matriz curricular deste curso, as disciplinas com componente matemático elevado são:

- **Primeiro Semestre:** Matemática técnica, sistemas digitais e eletricidade CC.
- **Segundo Semestre:** Eletricidade CA, eletrônica analógica, instalações elétricas prediais e conversão de energia.
- **Terceiro Semestre:** Controladores lógicos programáveis, instalações elétricas industriais, geração, transmissão e distribuição de energia, máquinas síncronas e assíncronas, energias renováveis e instrumentação e controle de processos.
- **Disciplina Optativa:** Eletrônica industrial.

5 ANÁLISE DA EVASÃO ESCOLAR NOS CURSOS TÉCNICOS

A evasão escolar é o termo utilizado para descrever o fenômeno em que o aluno deixa de frequentar a instituição de ensino antes da conclusão de seu curso, ou seja, antes de completar o ciclo educacional, podendo ocorrer por motivo de cancelamento da matrícula, trancamento da matrícula ou abandono escolar.

Para análise da evasão escolar na instituição de ensino avaliada, será feito um levantamento de dados de acordo com o curso técnico apresentado no capítulo 3, ou seja, técnico em automação industrial, técnico em eletromecânica e técnico em eletrotécnica. A escolha dos cursos técnicos para análise ocorreu devido à elevada componente matemática nesses cursos, o que pode refletir na dificuldade de aprendizagem dos alunos e consequentemente contribuir para a evasão escolar.

5.1 Curso Técnico em Automação Industrial

O curso técnico em automação industrial começou em 2017, com 35 alunos. De 2018 a 2021, o número de matrículas foi constante, com 70 alunos por ano, indicando uma demanda crescente pela formação. Em 2022, o número caiu para 67 alunos, subindo novamente para 70 em 2023. No entanto, em 2024, houve uma redução significativa, com apenas 52 ingressantes.

Esses dados indicam uma flutuação na demanda ao longo dos anos, possivelmente influenciada por diversos fatores internos e externos ao contexto da instituição. A Tabela 1 apresenta uma visão detalhada de cada categoria de matrícula desse curso.

Tabela 1 - Situação das Categorias de Matrículas do Curso Técnico em Automação Industrial no Período de 2017 a 2024.

Situação de Matrícula	Percentual de Cada Categoria de Matrícula (%)							
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Cursando	0 %	0 %	3 %	0 %	1 %	16 %	34 %	87%
Suspensão Temporária	0 %	0 %	1 %	1 %	4 %	25 %	31 %	12%
Em Via de Conclusão	6 %	5 %	9 %	3 %	0 %	7 %	0 %	0%

Conclusão	14%	26 %	17 %	10 %	6 %	6 %	0 %	0%
Evasão	80 %	67 %	70 %	86 %	89 %	45 %	34 %	1%

Fonte: IFCE.

A análise das situações de matrícula do curso técnico em Automação Industrial entre 2017 e 2024 revela uma trajetória marcada por desafios iniciais e, mais recentemente, por uma recuperação significativa. Em 2017, ano de início do curso, o índice de evasão foi elevado, atingindo 80%. Esse alto percentual pode ser atribuído ao fato de o curso estar em fase de estruturação na instituição, com pouca visibilidade sobre o mercado de trabalho e sem a consolidação de casos de sucesso de empregabilidade. A evasão permaneceu elevada nos anos seguintes, com valores de 67% em 2018 e 70% em 2019, o que pode ser explicado pela complexidade das disciplinas, especialmente as de natureza matemática e técnica, características típicas de cursos da área de automação industrial. Durante esse período, também se observou um número significativo de alunos "Em Via de Conclusão", o que estava relacionado à exigência de estágio obrigatório na época, prática que foi revista e modificada na estrutura curricular do curso a partir de 2023.

Nos anos de 2020 e 2021, os índices de evasão atingiram os níveis mais altos, com 86% e 89%, respectivamente. Esse aumento substancial pode ser atribuído aos desafios impostos pela pandemia de COVID-19, período durante o qual a instituição operou exclusivamente no formato remoto. Para um curso tecnológico com alta carga horária prática, essa transição representou um desafio ainda maior, já que muitos alunos tiveram dificuldades de adaptação ao ensino remoto, especialmente considerando a natureza das atividades práticas essenciais para o aprendizado da automação industrial. A preferência por aulas presenciais e as incertezas geradas pela pandemia contribuíram significativamente para o elevado número de desistências.

A partir de 2022, observou-se uma recuperação gradual nos índices de evasão, com os números caindo para 45% em 2022 e 34% em 2023. Esse declínio sugere que os alunos começaram a se adaptar ao novo contexto acadêmico pós-pandemia e à retomada das atividades presenciais. No entanto, apesar dessa redução, o percentual de alunos em suspensão temporária e cursando ativamente ainda se manteve elevado, destacando a necessidade de estratégias contínuas para garantir não apenas a permanência, mas também a conclusão do curso. Em 2024, o curso apresentou uma estabilidade notável,

com a evasão caindo drasticamente para 1% e o número de alunos cursando aumentando para 87%, o que reflete a eficácia das intervenções implementadas para superar os desafios enfrentados ao longo dos anos.

5.2 Curso Técnico em Eletromecânica

O curso técnico em eletromecânica, em paralelo ao curso técnico em automação industrial, teve seu início em 2017, estabelecendo-se na instituição com uma trajetória de crescimento constante até dezembro de 2024, totalizando 8 anos de contribuição à formação técnica de profissionais da área. No ano de sua criação, o curso contou com 35 alunos ingressantes, estabelecendo suas primeiras bases. De 2018 a 2023, observou-se uma estabilidade na procura pelo curso, com o número de matrículas variando entre 69 e 71 alunos a cada ano, refletindo a consolidação da demanda e a importância do curso na formação de profissionais qualificados.

Em 2024, o curso atingiu um total de 66 alunos, evidenciando um leve decréscimo, mas mantendo-se dentro da média de matrícula dos últimos anos. A seguir, são apresentados os dados quantitativos detalhados por categoria de matrícula, conforme ilustrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Situação das Categorias de Matrículas do Curso Técnico em Eletromecânica no Período de 2017 a 2024.

Situação de Matrícula	Percentual de Cada Categoria de Matrícula (%)							
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Cursando	0 %	0 %	3 %	3 %	7 %	9 %	46 %	100%
Suspensão Temporária	0 %	0 %	0 %	4 %	6 %	20 %	24 %	0 %
Em Via de Conclusão	11 %	14 %	6 %	4 %	0 %	7 %	0 %	0%
Conclusão	40 %	14 %	15 %	7 %	10 %	19 %	1 %	0%
Evasão	49 %	72 %	76 %	82 %	77 %	45 %	28 %	0 %

Fonte: IFCE.

A análise das categorias de matrícula do curso técnico em Eletromecânica entre 2017 e 2024 revela uma trajetória de evolução e desafios. Em 2017, ano de início do curso, o índice de evasão foi de 49%, um valor relativamente alto, que pode ser explicado pela fase inicial de implementação do curso, os processos de adaptação dos alunos à nova rotina acadêmica e pela limitada inserção no mercado de trabalho para os profissionais da área. Nos anos seguintes, a evasão aumentou significativamente, chegando a 72% em 2018 e 76% em 2019, com a alta carga matemática das disciplinas do curso sendo um fator relevante para esse crescimento.

Em 2020 e 2021, os índices de evasão alcançaram os picos mais elevados, com 82% e 77%, respectivamente, um reflexo claro dos desafios impostos pela pandemia de COVID-19, que afetou a regularidade acadêmica e a adaptação ao ensino remoto. No entanto, a partir de 2022, observou-se uma significativa redução na taxa de evasão, que caiu para 45% em 2022 e 28% em 2023, indicando uma recuperação no desempenho acadêmico e na retenção de alunos.

Embora a evasão tenha diminuído, os índices de suspensão temporária aumentaram nos anos de 2022 e 2023, atingindo 20% e 24%, respectivamente. Esse aumento sugere que, embora os alunos tenham permanecido matriculados, ainda enfrentam dificuldades para manter a regularidade acadêmica. Em contrapartida, 2024 marcou uma virada positiva, com a totalidade dos alunos (100%) continuando a cursar, o que reflete uma estabilização e maior engajamento no curso, além de uma gestão mais eficaz dos desafios enfrentados pelos estudantes. O percentual de alunos "Em Via de Conclusão" também foi baixo nos últimos anos, indicando que o curso está, gradualmente, formando sua base de egressos. Esses dados demonstram um processo de recuperação progressiva e consolidada, com o curso superando dificuldades passadas e alcançando novos patamares de estabilidade.

5.3 Curso Técnico em Eletrotécnica

O curso técnico em Eletrotécnica iniciou suas atividades em 2019, acumulando, até dezembro de 2024, seis anos de funcionamento na instituição avaliada. No ano de sua implantação, registrou-se um total de 35 alunos ingressantes. Nos anos seguintes, de 2020 a 2023, o número de novos alunos apresentou oscilações, variando entre 66 e 72 ingressantes por ano, refletindo possíveis ajustes na demanda e na oferta do curso. Em

2024, observou-se uma redução nesse quantitativo, totalizando 58 alunos matriculados, o que pode indicar mudanças no perfil dos candidatos, no interesse pelo curso ou em fatores institucionais e socioeconômicos que influenciam a adesão dos estudantes.

Para o curso técnico em eletrotécnica, os valores de cada categoria de matrícula (cursando, suspensão temporária, conclusão e evasão) são mostrados na Tabela 3, apresentada a seguir.

Tabela 3 - Situação das Categorias de Matrículas do Curso Técnico em Eletrotécnica no Período de 2019 a 2024.

Situação de Matrícula	Percentual de Cada Categoria de Matrícula (%)					
	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Cursando	3 %	3 %	4 %	27 %	33 %	93 %
Suspensão Temporária	0 %	1 %	6 %	27 %	25 %	5 %
Em Via de Conclusão	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Conclusão	17 %	13 %	14 %	11 %	0 %	0 %
Evasão	80 %	83 %	76 %	35 %	42 %	2 %

Fonte: IFCE.

A Tabela 3 apresenta a situação das categorias de matrículas no curso técnico em eletrotécnica durante o período de 2019 a 2024. Observa-se que o maior índice de evasão ocorreu nos anos iniciais, especialmente em 2019, ano de início do curso, e nos anos de 2020 e 2021, períodos marcados pela pandemia de COVID-19, que impactaram negativamente na permanência dos alunos. A evasão foi particularmente alta nesses anos, com percentuais de 80%, 83% e 76%, respectivamente. No entanto, a partir de 2022, houve uma redução significativa no índice de evasão, que caiu para 35% em 2022 e 42% em 2023. Esse declínio foi acompanhado por um aumento expressivo no número de alunos "cursando", que atingiu 93% em 2024, o que indica uma melhora na retenção e no engajamento dos alunos no último ano analisado. A suspensão temporária também teve uma queda considerável em 2024, reduzindo-se para 5%, após ter alcançado picos de 27%

nos anos de 2022 e 2023. Esses dados refletem a recuperação do curso após os desafios impostos pela pandemia, destacando a capacidade de adaptação e a maior estabilidade nas matrículas nos anos mais recentes.

6 ESTRATÉGIAS DE REDUÇÃO DA EVASÃO

As estratégias para a redução da evasão escolar devem ser implementadas muito antes do ingresso do aluno nos cursos da instituição. Frequentemente, devido à falta de informações, os alunos se matriculam em cursos e posteriormente descobrem que não são os mais adequados ou não despertam seu real interesse. Portanto, como medida preventiva para evitar problemas desse tipo, é possível adotar o uso de tecnologias digitais para disseminar informações sobre os cursos. Elaborar postagens, gravar vídeos e apresentar os conteúdos estudados, assim como possíveis locais de trabalho, são essenciais para que o aluno possa se visualizar, ou não, inserido naquele curso ou desempenhando aquela profissão no mercado de trabalho.

Além disso, organizar, antes do período de seleção dos alunos, um momento no qual os estudantes possam visitar a instituição para conhecer a estrutura física, localização, laboratórios e os assuntos estudados. Estabelecer contatos com outros estudantes que já estão cursando ou ex-alunos inseridos no mercado pode ser um ponto crucial para a escolha adequada do curso.

Uma outra estratégia que pode ser adotada para redução da evasão é instituir programas de tutoria. Esses programas têm por objetivo fornecer suporte acadêmico personalizado aos alunos, visando tanto fortalecer a relação entre aluno-professor quanto criar um ambiente de aprendizado mais positivo.

A realização da tutoria pode ocorrer de diversas formas, dentre as quais podemos relacionar: Tutoria entre pares, no qual alunos em semestres mais avançados podem ajudar alunos iniciantes do seu curso; tutoria em grupo, no qual um tutor será responsável por esclarecer dúvidas, resolver exercícios, etc. de um determinado grupo de alunos ou determinada disciplina; tutoria baseada em projetos, no qual há o envolvimento dos alunos em projetos práticos orientados por um tutor; tutoria online, no qual podem ser utilizados recursos online para oferecer suporte acadêmico, dentre outras.

Outro ponto importante que deve ser implementado para combater a evasão é a

adoção de programas de assistência financeira. Esses programas podem ser concretizados por meio da concessão de bolsas de estudo ou auxílios financeiros destinados a famílias de baixa renda. Adicionalmente, é essencial disponibilizar recursos para uniformes, material escolar e transporte. Muitas instituições públicas, a exemplo da avaliada neste trabalho, oferecem diversos auxílios de suporte financeiro, tais como auxílio alimentação, auxílio moradia, auxílio para discentes pais e mães, auxílio transporte, auxílio emergencial e auxílio óculos, para estudantes que comprovadamente se encontram em situações de vulnerabilidade econômica. O objetivo desses auxílios é promover a permanência e o êxito estudantil desses alunos.

A adaptação do currículo escolar desempenha um papel importante na redução da evasão, uma vez que permite que a educação seja mais inclusiva, relevante e personalizada para atender às necessidades específicas dos alunos. Muitos alunos podem apresentar diversas necessidades específicas, como deficiências, transtornos ou limitações, que podem dificultar o processo de ensino-aprendizagem e a permanência na instituição. Realizar o acompanhamento e promover a inclusão desses alunos por meio de uma educação personalizada pode contribuir para que a jornada acadêmica desses estudantes seja concluída com sucesso.

A realização de uma abordagem multidisciplinar e a incorporação de tecnologias podem contribuir para a permanência dos alunos. Promover a integração de diversas disciplinas para abordar questões complexas, estimular a curiosidade e integrar ferramentas e recursos tecnológicos no ensino para envolver os alunos pode ser o diferencial para que o aluno se motive e desperte interesse em um determinado conteúdo. Isso é especialmente relevante em relação a conteúdos que carregam a estigma de dificuldade ou monotonia, como é frequentemente observado na disciplina de matemática. Existem diversas ferramentas e recursos tecnológicos que podem ser aplicados para tornar a sala de aula mais dinâmica, interativa e motivadora.

Também é importante incluir temas socioemocionais para apoiar o desenvolvimento emocional dos alunos, oferecer ferramentas para lidar com o estresse, a ansiedade e outros desafios emocionais. Se possível, disponibilizar atendimento especializado para os estudantes; caso não seja possível, promover o encaminhamento para locais onde possam ser acompanhados por profissionais especializados, sempre buscando integrar a família nesses processos.

7 CONCLUSÕES

A evasão escolar é um desafio complexo que tem implicações profundas para o desenvolvimento individual e para a sociedade como um todo. Para compreender esse fenômeno, ele não deve ser avaliado de maneira isolada, mas sim por meio de estratégias integradas que considerem fatores educacionais, econômicos e sociais. A evasão escolar muitas vezes pode ser vista como um reflexo de barreiras individuais que os alunos enfrentam em suas vidas particulares, como dificuldades financeiras, problemas familiares, falta de relevância no currículo ou desafios de aprendizado não identificados.

A implementação de programas de assistência financeira, tais como os auxílios alimentação, moradia, discentes pais e mães, transporte, dentre outros, a adaptação do currículo de acordo com necessidades específicas, a implantação de programas de tutorias e o desenvolvimento de habilidades socioemocionais são estratégias importantes na redução da evasão. A promoção de um ambiente escolar inclusivo, seguro e positivo é fundamental para que os alunos se sintam motivados a permanecer na escola e se comprometam com o processo educacional.

Analizando os resultados encontrados, percebe-se uma elevada taxa de evasão no ano inicial de instalação do curso e que, durante a pandemia de COVID-19 houve uma elevação significativa na suspensão temporária da matrícula. Além disso, entre o início do funcionamento do curso e a pandemia, observou-se que a evasão apresentou valores elevados, possivelmente motivados pela elevada componente matemática nos cursos avaliados. Portanto, a conscientização sobre a importância da educação, a quebra de estigmas sobre determinadas disciplinas, como a matemática, frequentemente vista como a grande vilã do currículo, e o uso de tecnologias e recursos digitais para tornar o processo ensino-aprendizagem mais interessante e motivador podem ser peças-chave tanto para melhorar o desempenho dos alunos quanto para reduzir a evasão escolar.

É necessário destacar que a redução da evasão escolar requer um compromisso coletivo de todos os envolvidos na educação, desde educadores e gestores escolares até pais, comunidades e governos. Somente por meio de esforços coordenados e abordagens adaptativas podemos aspirar a criar um sistema educacional mais inclusivo e equitativo, onde cada aluno tenha a oportunidade de alcançar seu pleno potencial e contribuir para uma sociedade mais próspera.

Como sugestão de trabalho futuro, propõe-se a implementação e avaliação de um

programa de acompanhamento acadêmico mais robusto. Esse programa pode incluir tutoria personalizada para alunos em risco de evasão, com foco no apoio às dificuldades acadêmicas, especialmente em disciplinas mais complexas, como as de matemática e técnica. Outras ações incluem a revisão do currículo para torná-lo mais acessível e a oferta de atividades extracurriculares que incentivem a integração dos alunos e fortaleçam seu vínculo com o curso, promovendo um ambiente de aprendizado mais envolvente e motivador.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, S. J. S. **Evasão Escolar e Matemática no Primeiro Ano do Ensino em uma Escola** da Rede Estadual em Castanhal/PA. 2020, trabalho de Curso (Licenciatura em Matemática) – Faculdade de Matemática, Campus Universitário de Castanhal, Universidade Federal do Pará, Castanhal, 2020. Disponível em: <https://bdm.ufpa.br:8443/jspui/handle/prefix/4207>. Acesso em: 18 jan. 2025.

BATISTA, S. D.; SOUZA, A. M.; OLIVEIRA, J. M.S.. **A Evasão Escolar no Ensino Médio: Um Estudo de Caso**. Revista Profissão Docente, [S. l.], v. 9, n. 19, p. 70–94, 2011. DOI: 10.31496/rpd.v9i19.229.

DIGIÁCOMO, M. J. **Evasão Escolar: Não Basta Comunicar e as Mãos Lavar**. 2011. Ministério Público do Estado da Bahia. Disponível em: <https://www.mpba.mp.br/sites/default/files/biblioteca/crianca-e-adolescente/educacao/doutrinas_e_artigos/evasao_escolar_murilo.pdf>. Acesso em 09 jan. 2025.

DORE, R., LUSCHER, A. Z. **Permanência e Evasão na Educação Técnica de Nível Médio em Minas Gerais**. Cadernos de Pesquisa, v. 41, n. 144, p. 770-89, dez. 2011. <http://doi.org/10.1590/S0100-15742011000300007>.

IFCE - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. **Dados Relativos ao Ensino - Evasão**. Disponível em: <<https://emnumeros.ifce.edu.br/>>. Acesso em 30 jan. 2025.

JOHANN, C. C. **Evasão Escolar no Instituto Federal Sul-Rio-Grandense: Um Estudo de Caso no Campus Passo Fundo**. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2012. Disponível em: <https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UPF-1_0e9644b094478fa1cd2172728668c604>. Acesso em: 20 jan. 2025.

NACARATO, A. M.; MENGALI, B. L. S.; PASSOS, C. L. B. **A Matemática nos Anos Iniciais do Ensino Fundamental: Tecendo Fios do Ensinar e do Aprender**. Belo Horizonte: Autêntica, 2009. Coleção Tendências em Educação Matemática.
OLIVEIRA, J. A. M.; MAGRONE, E. **Evasão Escolar: Apreensões e Compreensões em**

Contexto Adverso. Revista Labor, V. 1, N. 26. DOI: <https://doi.org/10.29148/labor.v1i26.72014>.

PPC - PROJETO POLÍTICO PEDAGÓGICO. **PPC dos Cursos Técnicos.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE. Caucaia - CE.

SILVA FILHO, R. B.; ARAÚJO, R. M. L. **Evasão e Abandono Escolar na Educação Básica no Brasil: Fatores, Causas e Possíveis Consequências.** Educação Por Escrito, 8(1), 35-48, 2017. DOI: <https://doi.org/10.15448/2179-8435.2017.1.24527>.

OS ORGANIZADORES

Glaúcio Simão Alves

Mestrando em Ensino de Ciências e Matemática pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte; Especialista em Ciências da Natureza, suas Tecnologias e o Mundo do Trabalho pela Universidade Federal do Piauí; Especialista em Ensino de Matemática e Biologia pela Faculdade Venda Nova do Imigrante; Graduação em Física pela Universidade Federal de Campina Grande; Graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Cruzeiro do Sul; Graduando em Matemática pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Atualmente faz parte do grupo de pesquisa em Educação Especial e Matemática (GPEEM) UFPA, atua como líder da linha de pesquisa: Desenvolvimento de práticas pedagógicas no ensino de ciências naturais e exatas para educação inclusiva. Possui experiência na área de Educação como professor do Ensino Fundamental e Ensino Médio, atuando principalmente com metodologia ativa, recurso lúdico e jogos educativos, jogos digitais. LATTES: <http://lattes.cnpq.br/7454616471413469>. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1852-3964>.

M'mylla Roberta Silva Sarmento

Possui Graduação em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Faculdade Santa Maria, Cajazeiras, Paraíba, Graduanda em Licenciatura em Matemática pela UNIFAHE.

Dirceu da Silva

Doutorando em Ciências da Educação pela Facultad Interamericana de Ciencias Sociales. Doutorando em Educação pela UNINQ University. Mestre em Tecnologias Emergentes em Educação pela Must University (2024), o trabalho representa uma significativa para o campo de estudo em questão. A abordagem adotada e os resultados obtidos trazem novos insights e evidências relevantes para a área, enriquecendo o conhecimento existente. Além disso, as recomendações e as possíveis aplicações práticas decorrentes do estudo pertinentes, podem ser exploradas futuramente no Doutorado. Mestrando em Educação pela UNINQ University. Especialista em diversas áreas de conhecimento da educação.

Graduado em Letras - Português e Inglês pela Faculdade Diadema Uniesp (2010). Graduado em Pedagogia pela Faculdade Única (2024). Graduado em Letras - Português e Espanhol pela Faculdade UniBF (2024). Graduado em Educação Especial pelo Centro Universitário Única (2025). Graduado em Letras - Português e Espanhol pelo Centro Universitário Única (2025). Graduando em Engenharia de Software pelo Centro Universitário Única. Graduando em Psicopedagogia pelo Centro Universitário Única. Graduando em Tecnologias Educacionais pelo Centro Universitário Estácio. Graduando em Linguagem pela Faculdade UniBF. Graduando em Letras - Alemão pelo Centro Universitário Leonardo da Vinci. Atualmente é professor na educação básica na esfera estadual e municipal. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9887405552168422>.

Allan Berthier Silva Ferreira

Mestrando em Desenvolvimento de Negócios e Inovação, graduado em Direito, Ciências Contábeis e Sociologia, especialização em Direito Ambiental, Empresarial e MBA em Controladoria e Finanças. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5231624591679990>.

OS AUTORES

Alcino de Oliveira Costa Neto

Engenharia Civil – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0015122954424304>.

Antonio Carlos Freire Sampaio

UFU - Universidade Federal de Uberlândia. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8580960962824526>.

Alexandre Diório

Graduado, Mestre e Doutor em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (UEM), com período sanduíche na Universidade do Porto (Portugal). Possui MBA em Investimentos e Private Banking pelo IBMEC e especialização em Engenharia de Energias Renováveis pela PUC-Curitiba. Desde 2021 é professor colaborador (temporário) no Departamento de Engenharia Química da UEM. Sua linha de pesquisa abrange a síntese de materiais avançados (grafeno e seus derivados, materiais piezoelétricos, nanomagnetismo), desenvolvimento de novos adsorventes para tratamento de água e remoção de contaminantes emergentes, e a utilização de manufatura aditiva (impressão 3D) para o desenvolvimento de membranas aplicadas ao tratamento de água. Outras áreas de experiência incluem: energias renováveis e biocombustíveis, tratamento de água por processos oxidativos avançados, tecnologias extrativas em óleos vegetais, processos de separação sólido-líquido (S/L) e operação de secagem de materiais diversos. Tem experiência no ensino a distância em diversas instituições particulares de ensino e é autor/revisor técnico de diversos livros e materiais didáticos nas áreas da Engenharia Química e correlatas. Possui conhecimento avançado de inglês e básico de Francês e Alemão. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7725138962514905>.

Aline Borges de Souza

Licenciatura em Química – IFPA.

Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça

Possui graduação em Licenciatura Plena em Química pela Universidade Estadual da Paraíba (2000), Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Campina Grande (2007), Mestrado em Química - Química Inorgânica pela Universidade Estadual da Paraíba (2021); Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Campina Grande (2012). Doutorado em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande (2020). Pós-doutorado Programa Nacional de Pós-Doutorado PNPD MEC/CAPES e MCT/FINEP/CNPq - Área: Estrutura - Uso de resíduos oleosos em obras civis - Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Campina Grande (2012 - 2013). Pós-doutorado - Programa Nacional de Pós-doutorado - Área: Geotécnica - Caracterização física, química, mineralógica e microestrutural de matérias-primas convencionais e alternativas para uso em obras da construção civil - Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Campina Grande (2014 - 2017). Pós-doutorado - Área: Pavimentação Asfáltica . Análise do desempenho de misturas asfálticas recicladas a partir do uso de bioligantes (2021-2023). Pós-doutorado - Programa Nacional de Pós-doutorado - Área: Geotecnica - Comportamento mecânico, mineralogia e microestrutura de solos lateríticos estabilizados com resíduo do polimento de porcelanato e resíduo de quartzito(2023-2025). Atuou em pesquisas com materiais alternativos para uso na construção civil. Desenvolveu pesquisa na área de reciclagem, com ênfase em uso de resíduos de Politereftalato de etileno micronizado para compor concretos; utilização de resíduos oleosos de petróleo para utilização como agregado em concretos; utilização de óleo de mamona e óleo de linhaça como aditivo em misturas asfálticas. Desenvolveu pesquisa na área de ensino de química, com ênfase: contextualização e interdisciplinaridade, práticas pedagógicas, e ensino-aprendizagem de química; Uso de novas tecnologias no ensino de química. Engenharia de Materiais, com ênfase em materiais cerâmicos, atuando principalmente no uso resíduos de caulim e granito como matéria-prima alternativa para compor massas cerâmicas - estudo das propriedades mecânicas; estudo da Expansão por Umidade de peças cerâmicas contendo matérias-primas alternativas: resíduos de caulim e granito; e em Engenharia Civil, com ênfase em Materiais de construção, evidenciando ao uso de resíduos oleosos de petróleo em construções civis, e estudo da adição do Politereftalato de etileno (PET) em misturas asfálticas, blocos estruturais e pisos e alta resistência; caracterização de matérias-primas convencionais e alternativas para uso em produtos e obras da

construção civil. Desenvolveu pesquisas no núcleo de Recursos Hídricos do Instituto Nacional do Semiárido INSA com análises físico-químicas de água de chuva e potabilidade de água. Tem experiência na área de educação com destaque em ensino-aprendizagem e ensino de Química, Educação de Jovens e Adultos-EJA. É professora colaboradora da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande. Atualmente atua como docente nos cursos técnicos, tecnólogos e superior do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia-IFPB, desempenhando atividades de ensino, pesquisa e extensão, atuando na orientação de trabalhos de conclusão de curso em Química além de desenvolver projetos de pesquisa com vistas a identificação de metais pesados em corpos hídricos e análise físico-química de mandioca brava e mansa e projeto de extensão com ênfase na importância da contextualização dos conteúdos de química para potencialização da aprendizagem no ensino remoto. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7613871386733779>.

Ana Paula Gatto da Conceição

Possui graduação em Engenharia de Produção pela Universidade Estadual de Maringá (2022). Cursando MBA em gestão Comercial e Vendas (UNIFATECIE). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7324649313502786>.

Anésio Mendes de Sousa

Possui graduação em Bacharelado em Economia Doméstica pela Universidade Federal do Ceará (1993), graduação em Licenciatura em Economia Doméstica pela Universidade Federal do Ceará (1995) e mestrado em Economia Doméstica pela Universidade Federal de Viçosa (1999). Atualmente é professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Tem experiência na área de Economia Doméstica, com ênfase em Economia Doméstica. Analisa as atividades, as tarefas e os problemas concretos do viver os quais as famílias e/ou indivíduos se engajam, de forma permanente e contínua, à medida que procuram satisfazer suas necessidades individuais e coletivas para alcançar melhoria do bem-estar e da qualidade de vida (Família, Bem-estar Social e Qualidade de Vida). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7429212649666299>.

Arthur Nóbrega de Souza

Mestrado - Universidade Federal de Campina Grande. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3382894472031752>.

Assíria Caldas Guimarães Gonçalves Costa

Bacharelado em Engenharia Civil - Universidade Estadual do Maranhão. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2826447211497818>.

Cimark Guimarães Sandes Filho

Possui graduação nos cursos de Ciência e Tecnologia e Engenharia Civil (2015-2021) pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA), pós-graduação em Gestão de Escritórios de Arquitetura e Design de Interiores (2021-2022) pelo Instituto de Graduação e Pós-Graduação (IPOG) e mestrado em Engenharia de Materiais (2022-2024) pelo Instituto Federal do Maranhão (IFMA). Tem experiência na área de Engenharia Civil, especificamente em Mecânica dos Sólidos, com ênfase em estruturas estáticas e dinâmicas. Suas subáreas de atuação incluem metamateriais elásticos, cristais fonônicos e simulação computacional aplicada a problemas dinâmicos relacionados ao controle de vibrações em baixas frequências. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9482416403421848>.

Dany Geraldo Kramer

Possui graduação em Farmácia - Análises Clínicas pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2002), Tecnólogo em Gestão da Qualidade pela Universidade Cidade de São Paulo, Especialização em Metodologia de Ensino Superior pela Universidade Estadual do Maranhão (2006), Especialização em Saúde Pública pela Faculdade Famart (2020) mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2003), doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte/Universidade de Coimbra (2013); pós-doutorado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (2021); pós-doutorado pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (2022). Atualmente é professor Associado da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Tem atuado na área biomédica, ambiental e tecnológica. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8363044275404035>.

Débora Kauanna Régis da Luz

Discente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1842636693338141>.

Dorivane Cohen Farias

Possui graduação em Bacharelado em Ciência e Tecnologia com Ênfase em Tecnologia Mineral pela Universidade Federal do Pará (2019). Obteve o título de Mestra em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Pará (2024). Atualmente é graduanda em Engenharia de Materiais pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA). Atuou nos seguintes temas: produção de compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais e resíduo da bauxita, Impressão 3D, Modelagem por Fusão e Deposição, além de nanocompósitos poliméricos (PLA) reforçados com Nanotubos de Carbono. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6473481651755527>.

Eder Luanderson Pereira de Oliveira

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual do Maranhão(2025) e graduação em Análise e Desenvolvimento de Sistemas pelo Centro de Ensino Superior de Maringá(2024). Tem experiência na área de Engenharia Civil. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3202512469027759>.

Edilaine Regina Pereira

Possui Graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP (1999), Mestrado em Agronomia pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ/USP (2002) e Doutorado em Agronomia pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ/USP (2006). Possui Pós Doutorado pela UNICAMP (2007 - 2009) e pelo período de 2007 à 2011 foi Pesquisadora Colaboradora da mesma. Atuou no quadro de Pesquisador na Empresa pelo programa RHAE / CNPq e apresenta experiência na área de Engenharia Agrícola e Engenharia Ambiental e Sanitária, atuando principalmente nos seguintes temas: tratamento e qualidade da água, saneamento ambiental, monitoramento ambiental. Atualmente compõe o quadro de professores efetivos dedicação exclusiva do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR - campus Londrina (2013 - atual) e

atuou como coordenadora do curso de graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária no período de 2022 a 2024. Membro como professora efetiva do Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da mesma instituição no período de 2018 a 2025. Conhecimento da língua inglesa. Grande experiência na execução e implantação de projetos, cursos e palestras. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9513984462191983>.

Emanoel Silva de Amorim

Coordenador/Docente do Curso de Especialização em Engenharia da Manutenção Predial na Construção 4.0 (Faculdade Esuda). Mestre em Engenharia Civil, Arquiteto e Urbanista, Especialista em: Gestão de Obras e Projetos, Arquitetura e Patrimônio, Mobilidade Urbana e Transporte. Com MBA em Gerenciamento de Projetos (PMI). Diretor Geral da empresa Amorim Arquitetura. Com experiência em coordenação de equipes multidisciplinares conduzindo a gestão de elaboração e licenciamento de projetos, controle e supervisão de obras, manutenção e operação de empreendimentos. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8865037855941412>.

Elaine Regina Brito Maia Mercial

Engenharia Têxtil – Universidade Estadual de Maringá. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9986751014090122>.

Eric Vinícius Valente Belo

Graduando em Licenciatura em Química e possui formação em Técnico em Química pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (2023). Atuou como voluntário no cargo de monitor de evento da 76 Reunião Anual Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), sediado na Universidade Federal do Pará (UFPA). Membro do grupo de pesquisa Química do IFPA - Campus Belém. Tem experiência na área de Química, com ênfase em Química Orgânica, na Química dos Produtos Naturais. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2143757954902598>.

Felipe Mendonça Fontes Galvão

Doutorando pelo Programa de Pós graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN); Pós graduando em Engenharia de Segurança do Trabalho Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN); Mestre em Engenharia

Têxtil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), com ênfase em Têxteis Avançados; Engenheiro Têxtil formado na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), com ênfase em Química Têxtil; Experiência Profissional no segmento têxtil na área de processos químicos; Consultor Técnico na área de beneficiamento e têxteis inteligentes e funcionais; Membro do Grupo de Pesquisa: Processos Químicos, Nanociência e Têxteis Funcionais da UFRN; Ex-aluno de Iniciação científica durante a graduação atuando nos seguintes temas: Nanotecnologia, Nanobiotecnologia, Fotocatálise, Síntese de Nanomateriais orgânicos/inorgânicos, Síntese de Grafeno, Pontos quânticos semicondutores, Materiais têxteis Multifuncionais e Superhidrofóbicos; Vários trabalhos publicados em revistas científicas como as: *Materials Today Proceedings* ; *Desalination and Water Treatment*; *Journal of Solid State Electrochemistry*. E também inúmeros trabalhos apresentados em congressos nacionais e internacionais, como: CBCIMAT, ICNF, CBRAVIC, CRESAT, CIC. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9200627955403246>.

Gabriel Henrique Gomes de Souza

Prezados, me chamo Gabriel Henrique, graduando em Engenharia de Materiais pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Estado do Pará (IFPA) atuando como vice chefe de turma; possuindo formação incompleta em Engenharia de Produção pela Faculdade da Amazônia (FAAM). No IFPA colaborei nos projetos de pesquisa: "PISO TÁTIL DE ARGAMASSAS COM RESÍDUOS DE PNEUS: Caracterização, Dosagem e Ensaio Mecânicos", orientado pelo professor Dr. Laércio Gouvêa Gomes; bem como "MODELAGEM DO REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE PNEUS EM ARGAMASSA COM APOIO DO R", orientado pelo professor Dr. Alessandro de Castro Corrêa, onde atuei como bolsista. Participei ativamente de eventos científicos, apresentando o trabalho "COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS COM RESÍDUOS DE BORRACHA PARA PISO TÁTIL"; como voluntário em "28 ENCONTRO REGIONAL IBRACON PA"; e ministrando o minicurso "OFICINA: ESTATÍSTICAS DE ENSAIOS MECÂNICOS COM APOIO DO R". Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3482446272138699>.

Geraldo Barroso Cavalcanti Júnior

Graduado em Farmácia e Bioquímica (Habilitação em Análises Clínicas e Toxicológicas) pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte/UFRN (1981). Realizou estágios no Laboratório de Hematologia do Instituto Nacional de Câncer - INCA/RJ (1985-1986),

Laboratório de Marcadores Celulares do Centro de Transplante de Medula Óssea do INCA/RJ (1992 - 1995) e no Laboratório de Onco-Hematologia Celular e Molecular do INCA/RJ (2000 - 2004). Concluiu o Curso de Especialização em Genética pela UFRN em 1990, Mestrado em Biologia Celular e Molecular pela Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ/RJ) em 1995 e Doutorado em Biologia Celular e Molecular pela FIOCRUZ/RJ em 2004. Atualmente é Professor Associado IV do Departamento de Análises Clínicas e Toxicológicas da UFRN, ministrando aulas em disciplinas do curso de graduação de Farmácia da UFRN e pos graduação em ciências da saúde e ciências farmaceuticas da UFRN..Atua como pesquisador na área de Citometria de Fluxo do Hemocentro Dalton Cunha (HEMONORTE), desenvolvendo atividades de pesquisa, diagnóstico e ensino na área de imunofenotipagem por citometria de fluxo. Lider do Grupo de pesquisa " Doenças do Sistema Linfo-Hematopoético ". Integrante do Grupo Brasileiro de Citometria de Fluxo (GBCFLUX), atuando como membro dos subcomitês para Padronização de Painéis de Anticorpos Monoclonais para o diagnóstico de Leucemias Agudas, Imunodeficiências, Investigação de Células Tronco e Doenças Linfoproliferativas Crônicas e de Padronização de Laudos. Têm experiência em Farmácia na área Fisiopatologia e Diagnóstico Laboratorial (Análises Clínicas) e em Medicina na área de Cancerologia e Hematologia Laboratorial com interesse em: i) Citometria de Fluxo Aplicada a Imunofenotipagem para Hemopatias Malignas, Células Tronco, Perfil Imunológico em Doenças Infecciosas, Auto-Imunes e Imunodeficiências; ii) Estudo de Marcadores Celulares e Moleculares em Onco-Hematologia com ênfase em Métodos de Investigação de Resistência as Múltiplas Drogas (MDR) e Apoptose; iii) Epidemiologia, Fisiopatologia e Fatores Prognósticos das Leucemias Humanas; iv) Imune ensaios e Tecnologia do DNA Recombinante (Biologia Molecular) Aplicada no Diagnóstico de Doenças Infecciosas, Genéticas e Hereditárias, Neoplásicas, Auto-Imunes, v) Doenças Transmissíveis pelo Sangue e Marcadores Genéticos de Identificação Humana. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0091662650633339>.

Geisla Aparecida de Carvalho

Profissional apaixonada pela educação, com sólida formação em Física e Matemática pela Universidade Presidente Antônio Carlos e diversas especializações, incluindo Matemática no Ensino Médio, Docência na Educação Superior, Ensino de Ciências por Investigação, Uso Educacional da Internet e Robótica Educacional aplicada ao Ensino da Matemática. Mestre em Ensino de Ciências e Matemática pela Universidade Federal de Uberlândia,

desenvolvo pesquisas focadas em inovação educacional e metodologias ativas. Atualmente, amplio meus conhecimentos ao cursar Engenharia Elétrica na Universidade Federal do Triângulo Mineiro e atuo como aluna especial do Doutorado em Educação Tecnológica pelo Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM). Possuo experiência como tutora no curso de Matemática da Universidade Federal de Uberlândia e como professora na rede estadual de ensino de Minas Gerais. Atuei também como juiz avaliador no Torneio Brasileiro de Robótica (TBR) e como avaliadora de trabalhos na Mostra Nacional de Robótica (MNR). Minha atuação é pautada na promoção de uma educação inclusiva e de qualidade, aliando tecnologia, pesquisa e práticas pedagógicas inovadoras para contribuir com uma sociedade mais educada e igualitária. Lattes: <https://lattes.cnpq.br/7413216096332744>.

Gilsilene Choplin Nascimento Dos Santos

Engenharia Química – Faculdade Pitágoras. Lattes:
<http://lattes.cnpq.br/4993974273118078>.

Glória Leticia Brito de Aguiar

Bacharel em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Atualmente, estou na minha segunda graduação, pela mesma Universidade, engenharia ambiental e sanitária, com colação de grau prevista para o período 2023.2. Na área profissional, estou estagiando na Secretária de Meio Ambiente do município de São Luís-MA. Área de interesse: Consultoria Ambiental, Projetos Hidrossanitários, Relatório de Desempenho ambiental e Gestão de Resíduos Sólidos. Área Acadêmica: Reutilização de Lodo de Estação de tratamento de água e esgoto, diagnóstico de saneamento ambiental. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8456291164286626>.

Henrique Costa Gomes

Pós Graduação em Engenharia de Produção – Universidade Estadual de Maringá. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9490785240507657>.

Higor Aparecido Nunes de Oliveira

Graduando em Engenharia ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Tem experiência na área de Engenharia Ambiental, com ênfase em Engenharia

Sanitária, atuando principalmente nos seguintes temas: tratamento de água, tratamento de efluente, coagulantes orgânicos e inorgânicos e desinfecção de água por radiação solar (SODIS). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6036323705914647>.

Hillary de Oliveira Marinho

Formação Acadêmica Graduada em Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), 2020 - 2024 Técnica em Edificações, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), 2017 - 2019 Experiência Profissional Pesquisadora Bolsista, Projeto 033/2019-C-FUNASA (UFCG), 2021 - 2022 Atuou em projetos de extensão na área de abastecimento rural e urbano. Estagiária e Projetista, Escritório Modelo Edificar (IFPB), 2017 - 2019 Colaborou na organização de equipes e no desenvolvimento de projetos de arquitetura e engenharia. Assessora de Projetos e Marketing, Alicerce Arquitetura e Engenharia Júnior, 2022 - 2023 Atuou em projetos de Engenharia Civil e marketing. Estagiária, Projeto 5D, 2023 Focada na compatibilização e coordenação de projetos BIM. Pesquisadora PIBIC, 2023 - 2024 Estudo relacionado à caracterização de ciclofaixas em Campina Grande - PB. Estudo de misturas asfálticas modificadas com polímeros. Habilidades Softwares: Revit, SketchUp, AutoCAD, Pacote Office (Excel, Word, PowerPoint) Modelagem 3D, Projetos Elétricos e Hidrossanitários Compatibilização de Projetos BIM Idiomas Inglês: Nível intermediário (compreensão, fala, leitura e escrita). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9864618382697232>.

Iara Ferreira de Rezende Costa

Engenharia Civil – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4363153040739264>.

Iasmim Souto Maior Arruda

Aluna de Graduação em Arquitetura e Urbanismo – UNIFACOL. Lattes: <https://lattes.cnpq.br/1927417676926469>.

João Lobo Peralta

Possui graduação em Engenharia Mecânica (1989) e mestrado em Engenharia Mecânica (1998) pela Universidade Federal do Pará, doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (2003) e Gestão da Inovação Tecnológica pela

Universidade de Brasília (2009). Atualmente é professor de ensino técnico e tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Processos de Fabricação, Seleção Econômica, atuando principalmente nos seguintes temas: estruturas de solidificação, ligas não ferrosas, fundição, refino de grão e liquid core reduction e inovação tecnológica. Coordenou o Curso Técnico em Metalurgia e o Curso de Engenharia de Materiais. Implantou o Núcleo de Inovação Tecnológica do IFPA e foi Diretor Geral do IFPA Campus Itaituba de 2011 a 2014. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1590513762471551>.

João Pedro Silveira Salustiano

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Campina Grande. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0609543963344552>.

John Willams Ferreira de Souza

Docente, Engenharia Civil – Centro Universitário Faculdade Santa Maria.

John Kennedy Guedes Rodrigues

Professor Titular do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), tem Pós-Doutorado no Laboratoire Central des Pontes et Chaussées - LCPC (Divisão de Geotecnia, Paris et Nantes, França - 2009/2010) onde atuou como Professor invité do LCPC, atualmente Université Gustavo Eiffel, tem Doutorado em Engenharia em Transportes pela Universidade de São Paulo (1998), Mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba (PPGECA/UFPB/1992 - Área de Concentração de Geotecnia) e Graduou-se em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba (Eng. Civil, Campina Grande/UFPB/1988). Foi Diretor do Centro de Tecnologia e Recursos CTRN/UFCG (Segundo Mandato: 2014/2021 - CTRN/UFCG), é Consultor e Membro Efetivo da Associação Técnica Ernesto Luiz de Queiroz Junior (ATECEL), é Chefe do Laboratório de Engenharia de Pavimentos (LEP/DEC/UFCG), é Coordenador, em nível de UFCG, da Rede Temática Brasileira da Petrobrás (Asfalto). Foi Coordenador do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental entre 2005 e 2009 (PPGECA/UFCG), e Coordenador Administrativo do Departamento de Engenharia Civil (2013 -2014). Orienta Dissertações e Teses nos Programas de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental e de Engenharia de Processos da UFCG. Coordena Projetos

com Termos de Cooperação Científica firmados entre a UFCG/FINEP/IPR/DNIT/PE/DNIT/PB e as Empresas: PETROBRAS, coordena parcerias entre o LEP/DEC/UFCG e as Empresas: JBR ENGENHARIA. Tem experiência na Área de Engenharia Civil, com ênfase em Rodovias; Projeto e Construção, atuando principalmente nos seguintes Linhas de Pesquisa: Estudos de Solos Tropicais, Gerência de Pavimentos, Infraestrutura de Rodovias e de Aeroportos, Estudo Comportamento Físico e Mecânico de Ligantes e de Misturas Asfálticas, Mecânica de Pavimentos e Aproveitamento de Resíduos Sólidos na pavimentação. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/78343027445115283>.

José Carlos de Oliveira

Técnico em Química pelo IFMT (Instituto Federal de Mato Grosso - Campus Bela Vista). Atuou entre 2011 até 2014 em pesquisas na área de Alimentos e Química. Durante esse período, as pesquisas foram realizadas nos laboratórios do IFMT e do departamento de Química da UFMT. Licenciado em Filosofia pela FAAC (Faculdade Católica de Mato Grosso). Atualmente está no 8 semestre da graduação de Engenharia Química na UFMT (Campus - Várzea Grande). É bolsista da FAPEMAT, atuando no projeto: Fortalecimento da cadeia de valor da castanha-do-brasil: uma abordagem focada na Cooperativa dos Agricultores do Vale do Amanhecer (Juruena - MT). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8170772062279161>.

Julia Clara Gomes de Medeiros

Discente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Lattes: <https://lattes.cnpq.br/8547978138989202>.

Juliane Cristina de Oliveira Fandi

Possui graduação, mestrado e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia. Atua como professora do departamento de Engenharia Elétrica da UFTM - Universidade Federal do Triângulo Mineiro desde 2010. Seus principais temas de atuação incluem: eletrificação rural, transitórios, transformadores, transmissão/distribuição de energia, qualidade de energia, instalações elétricas em BT e MT. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7835814355871683>.

Katia Tames Lourenço

Possui graduação em Medicina pela Universidade Federal de Mato Grosso(2021), graduação em estagio em medicina pela ITPAC INSTITUTO TOCANTINENSE PRESIDENTE ANTONIO CARLOS S.A(2020), ensino-medio-segundo-graupela Universidad del Valle - Campus Tiquipaya(2017) e aperfeiçoamento em POS GRADUAÇÃO EM CARDIOLOGIA pela IPAMED(2023). Atualmente é Medica de pronto socorro da HOSPITAL DE URGENCIAS SAO BERNARDO DO CAMPO, Medica visitadora enfermaria clinica medica da Hospital Salvalus e Medica de pronto socorro da PREVENT SENIOR. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7665712262801164>.

João Victor Marques Adamo

Engenharia de Produção – Universidade Estadual de Maringá.

Kellem Elizabeth da Silva Ferreira

Licenciatura em Química – IFPA. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1907249308416156>.
<http://lattes.cnpq.br/9766625098950475>.

Larissa Gonçalves Colpo

Engenharia Aeroespacial – Universidade Federal de Santa Maria.

Leonardo Rodrigues Guedes

Graduado do curso de Bacharelado em Engenharia Civil pelo Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar - CCTA, da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Mestre em Engenharia Civil e Ambiental com ênfase em Geotecnia. Atualmente doutorando em Engenharia Civil e Ambiental com ênfase em Geotecnia, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande (PPGECA-UFCG). Participa de Projetos de Pesquisa voltados ao estudo de ligantes asfálticos e misturas asfálticas modificadas. Atualmente é pesquisador na área de Mecânica e Gerência de Pavimentos, onde desenvolve estudos com Ligantes Asfálticos e Misturas Asfálticas. Possui interesse nas áreas de pavimentos e materiais de construção. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0345187680801612>.

Lyncoln Santos Jurich

Possui curso técnico em Mecânica Industrial pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - Campus Parauapebas (2020), atualmente cursando o primeiro semestre de Engenharia de Controle e Automação pela Universidade Federal de Santa Maria - Campus Sede. Entre as conquistas acadêmicas destaca-se a conquista das medalhas de ouro (2018) e prata (2019) dos jogos escolares federal do Pará na modalidade xadrez em equipe. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2977099834607742>.

Lourival Alves de Souza Neto

Graduando em Engenharia de Materiais pelo Instituto Federal do Pará (IFPA) e atualmente, bolsista de iniciação científica. Tenho experiência na área de caracterização de metais, com foco na criação e desenvolvimento de nanomateriais. Minha pesquisa está centrada na fabricação e caracterização de nanocompósitos com reforço de nanotubos de carbono, buscando aprimorar as propriedades mecânicas e estruturais das ligas de alumínio. Ao longo da minha trajetória acadêmica, adquiri conhecimentos sólidos em técnicas de caracterização e análise de materiais, com especial atenção às propriedades mecânicas e estruturais. Busco expandir minha pesquisa na área de nanocompósitos, explorando novas possibilidades de aplicação e colaboração com outras áreas da engenharia, com o objetivo de contribuir para o desenvolvimento de materiais mais eficientes e sustentáveis. Tenho grande interesse em trabalhar em projetos interdisciplinares e em colaborar com equipes de pesquisa focadas em inovação e novos materiais, ampliando o impacto de minhas investigações acadêmicas no campo da Engenharia de Materiais. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0988563611392142>.

Lucas Antonio da Silva de Jesus

Engenharia Química – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4672979639356019>.

Luigi Pereira de Paiva

Graduado em Engenharia de Pesca na Universidade Federal do Ceará(UFC). Estagiou como voluntário na estação de aquicultura Professor Doutor Raimundo Saraiva da Costa, no Departamento do curso de Engenharia de Pesca em 2019 e no Laboratório de Bioecologia(LABEC) de 2020 até 2023, com estudos relativos à comunidades

planctônicas, qualidade da água e com manejo e conservação de recursos pesqueiros de águas interiores. Atuou como monitor de Microbiologia do Pescado no Programa de Iniciação a Docência(PID) durante o ano de 2022. Tem experiência em Análise de Recursos Pesqueiros e ambientais, microbiologia, análise de recursos hídricos. Atualmente mestrando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, na área temática de manejo e conservação de bacias hidrográficas no semi-árido. Membro do Grupo de Pesquisa e Extensão em Manejo de Água e Solo do Semiárido(MASSA). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6383387498105342>.

Luisa Vicentin Secaf

Sou estudante de Engenharia Ambiental, no 5 período da UTFPR, campus Londrina. Atualmente, sou aluna de Iniciação Científica e minha pesquisa foca no desenvolvimento de métodos inovadores e eficientes para o tratamento de efluentes, buscando minimizar os impactos ambientais e promover a sustentabilidade. A iniciação científica tem sido uma experiência incrível na minha vida acadêmica. Aprendi a pensar de forma crítica, resolver problemas complexos e entender melhor os desafios ambientais. Também melhorei minhas habilidades de pesquisa, desde a coleta de dados até a análise, e tive a oportunidade de colaborar com professores e colegas dedicados à sustentabilidade. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7826394872222127>.

Mario Vinicio Garcia

Graduado em Engenharia Civil (2020) e Engenharia de Produção (2024) pelo Centro Universitário FEITEP, com especializações em Engenharia de Segurança do Trabalho (2024) pela mesma instituição, em Gerenciamento de Projetos para Engenheiros (2024) pelo Centro Universitário Cidade Verde UNICV e MBA em Sustentabilidade (2025) pela Educa Minas. Mestrando em Engenharia de Produção pela Universidade Estadual de Maringá (UEM), com pesquisas voltadas à ergonomia, sustentabilidade e comunicação científica no meio acadêmico. Atua como engenheiro autônomo na área de construção civil, com experiência em projetos arquitetônicos, elétricos e hidráulicos, além de obras de pavimentação, drenagem, topografia, orçamentos e construções verticais (prédios e residências). Possui vivência profissional em diferentes segmentos, incluindo órgãos públicos, imobiliárias, setor de comunicação visual e obras hospitalares. É autor de diversos trabalhos apresentados em congressos e simpósios nacionais, abordando temas

como segurança do trabalho, planejamento estratégico, sustentabilidade e patologias em pavimentos. Tem domínio de ferramentas como AutoCAD e Revit, além de formação técnica em pedreiro de edificações. Atua com foco em inovação, sustentabilidade e gestão eficiente de projetos, alinhando conhecimento técnico à responsabilidade social e ambiental. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4162336053607154>.

Marcos Daniel da Silva Oliveira

Mestrando em Engenharia Têxtil – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3882216315948372>.

Mariana Fernandes Alves

Engenharia Ambiental e Sanitária – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0226296561532579>.

Marcielia Pitombeira da Silva

Engenharia Civil – Universidade Federal de Campina Grande. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/91897116308061062>.

Marília Augusta da Assunção

Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Escola Superior de Administração Marketing e Comunicação de Uberlândia (2023). Tem experiência na área de Arquitetura e Urbanismo, com ênfase em Arquitetura e Urbanismo. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6747741339990391>.

Maria Fernanda Farias Magalhães

Engenharia Civil – Universidade Federal de Campina Grande. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/79064797534666021>.

Maria Eduarda Perez de Melo Brizola

Engenharia Têxtil – Universidade Estadual de Maringá. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1407161402676142>.

Manoel Leandro Araújo e Farias

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual da Paraíba (2012 a 2016) e mestrado em Engenharia Civil, com ênfase em Geotecnia, pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2017 a 2019), onde desenvolveu pesquisas voltadas a fundações, estruturas de contenção, escavações e obras de terra. Atuou como professor substituto na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (2019 a 2020), lecionando as disciplinas de Fundações e Estruturas de Contenção, Mecânica dos Solos, Obras de Terra e Tópicos Especiais em Engenharia Civil, com foco em Geotecnia. É doutor (2019 a 2023) e pós-doutor (2023 a 2025) em Engenharia Civil, com área de concentração em Geotecnia, pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Atualmente, é vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECA/UFCG) e integra o corpo de pesquisadores do Laboratório de Engenharia de Pavimentos (LEP/UFCG), onde contribui ativamente com pesquisas em níveis de iniciação científica, mestrado e doutorado, além de participar de projetos de pesquisa e desenvolvimento, consultoria, assessoria técnica e produção científica. Possui experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Geotecnia e em Mecânica e Gerência de Pavimentos, atuando principalmente nas seguintes linhas de pesquisa: fundações e estruturas de contenção; obras de terra; comportamento de solos tropicais; estabilização de solos com materiais convencionais e alternativos; e gerência de pavimentos. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2676199866735834>.

Max Lira Veras Xavier de Andrade

Professor Associado da Universidade Federal de Pernambuco (Departamento de Expressão Gráfica), Doutor pela Universidade de Campinas/TECHNION University, Mestre pela UNB e Arquiteto e Urbanista pela UFPE. Leciona no Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Urbano (MDU) e no Curso de Arquitetura e Urbanismo desta instituição. Atualmente é Coordenador da Célula BIM UFPE e da Especialização em BIM da UFPE, além de coordenar um Projeto de Extensão em inovação do Governo do Estado de Pernambuco junto com UFPE, PET-GOV. Investiga a aplicação do BIM em modelos de projeto arquitetônicos digitais com ênfase em desempenho e projeto computacional, orientando trabalhos de Mestrado e Doutorado em BIM/CIM e Processos de projeto digital. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7235723975017615>.

Miriellen Augusta da Assunção

Graduada em Engenharia de Produção pela União Educacional de Minas Gerais (2007). Kursou MBA em Logística e Gestão de Operações na Faculdade de Gestão e Negócios da Universidade Federal de Uberlândia (2009). Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Uberlândia, cujo tema da dissertação foi o cálculo do IMUS - Índice de Mobilidade Urbana Sustentável da Cidade de Uberlândia (2012). Doutora em Geografia pela Universidade Federal de Uberlândia, cujo tema foi Influência dos diferentes meios de transporte urbano na mobilidade e na saúde ambiental de cidades de Minas Gerais. Atua na docência desde o ano de 2010 no IFTM - Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro, Campus Uberlândia Centro. Na área da saúde, atuou como técnica em Enfermagem na Enfermaria pediátrica e UTI pediátrica da Universidade Federal de Uberlândia (2001 a 2003). Na Prefeitura Municipal de Uberlândia, tem experiência em aplicação de vacinas, sendo referência técnica de vacinação na cidade, tendo ainda participado da implantação do projeto "Aninhar" da UAI Luizote, onde foi responsável pelo primeiro teste do pezinho da unidade (2003 a 2010). Trabalhou na empresa SP Cozinhas, na gestão de estoques (2009). Foi estagiária na Francesar Logística, na área de gestão de frotas e planejamento de custos (2007). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7019446789076176>.

Milena Martinez Albeche

Engenharia de Controle e Automação – Universidade Federal de Santa Maria. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7523151200914194>.

M'mylla Roberta Silva Sarmiento

Graduada em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Faculdade Santa Maria.

Monilson de Sales Costa

Professor do Instituto Federal de Sergipe na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Eletrotécnica. Doutorando em Engenharia Elétrica pelo PPGEE da Universidade Federal do Ceará, possui Mestrado em Climatologia e Aplicações em Países da CPLP e África, com pesquisa voltada para Energias Renováveis. Também é Especialista em Engenharia Elétrica: Sistemas de Potência e Graduado em Engenharia Elétrica. Seus principais

interesses incluem Energias Renováveis, Sistemas Elétricos de Potência e Estabilidade do SEP. Lattes: <https://lattes.cnpq.br/0966560202865601>.

Nathalie de Sena Pereira

Biomédica habilitada em Análises Clínicas e Microbiologia Clínica pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), no ano de 2012. Farmacêutica pela Uninassau (2023). Mestra em Parasitologia (2014) e Doutora em Ciências (2018) pelo programa de Pós-graduação em Parasitologia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Atuou como docente da Universidade Potiguar, sendo coordenadora de estágio, coordenadora do curso de Biomedicina e do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP/UNP). Atuou como Professora Substituta na Faculdade de Farmácia (CCS/UFRN). Fez jus a licença maternidade no período de seis meses, entre dezembro de 2022 e maio de 2023. Atuou como Farmacêutica responsável técnica na Drogaria Mais Saúde. Atua como Pós-doutoranda do CNPq, vinculada a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (CB/UFRN). Membro do Grupo de Pesquisa do Laboratório de Imunoparasitologia (CB/UFRN). Docente do Centro Universitário Maurício de Nassau e Capaciteé cursos. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6882923707364191>.

Nathália Aguiar Leal de Melo

Graduada em Arquitetura e Urbanismo pelo Centro Universitário Facol (UNIFACOL, 2023). Pós Graduada em Acústica Arquitetônica e Iluminação (ESUDA, 2023). Pós Graduada em Gestão de Projetos e Obras (ESUDA, 2025). Sócia e Arquiteta do Escritório Visionary Arquitetura e Engenharia (atual). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8770050269425791>.

Otávio Fernandes Lima da Rocha

Possui Graduação (1988) e Mestrado (1998) em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Pará, Doutorado (2003) e Pós-Doutorado (2014) em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Atualmente é Professor Titular do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA). Desenvolve pesquisa na área de Caracterização e Processamento de Metais e suas Ligas, principalmente nas linhas de pesquisa: Solidificação Direcional em Regime Transitório de Extração de Calor,

Caracterização, Propriedades Mecânicas e Tratamento Térmico. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0702326922309672>.

Patrícia Teresa Souza da Luz

Licenciatura em Química – IFPA. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6598506622515622>.

Rafael Wandson Rocha Sena

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual Vale do Acaraú (2012); Mestre em Engenharia Civil em Estruturas pela Universidade Federal do Ceará (2015). Especialista em Docência no Ensino Superior (2017). Atualmente professor do curso de Engenharia Civil no Centro Universitário Santa Maria (Cajazeiras-PB). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0026091802876199>.

Rafaela Letícia Campos Dias

Licenciatura em Química – IFPA. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6083273743385672>.

Rayza Silva Pereira

Licenciatura em Química – IFPA. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9614699584694929>.

Ramon Kleyton Ferreira

Licenciatura em Química – IFPA. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6865207274363133>.

Rita de Cássia Moreschi Dória

Possui graduação em Engenharia de Produção pela Universidade Estadual de Maringá (2022). Mestranda em Engenharia de Produção na Universidade Estadual de Maringá. Docente na Universidade Estadual de Maringá. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7005021493046584>.

Rita de Cassia Cardoso Lima

Engenharia Elétrica-PPGEEL/Santo André - Universidade Federal do ABC. Lattes: <https://lattes.cnpq.br/2981187784436956>.

Rodrigo Sant'Anna da Silva

Engenheiro Mecânico formado pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (2020) e Especialista em Engenharia de Manutenção Automotiva pela Faculdade Unyleya (2023) e Especialista em Projeto Mecânico pela Universidade de Taubaté (2024). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0060370241398771>.

Ruan Santana Cavalcante

Programa de Pós graduação em Engenharia Agrícola – Universidade Federal do Ceará. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1369578750379341>.

Rubia Rodrigues Gonçalves de Oliveira

Engenharia Têxtil – Universidade Estadual de Maringá, Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6659810668097173>.

Segundo Nilo Mestanza Muñoz

Graduação em Física, Mestrado em Física pela Universidade Estadual de Campinas (1996), Doutorado em Física pela Universidade Estadual de Campinas (2001) e Pós-doutorado Micro/Nanotecnologia Centro de Componentes Semicondutores CCS-Unicamp. Atualmente professor-pesquisador Associado IV na Universidade Federal do ABC, professor colaborador na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e diretor na UFABC do laboratório de Dispositivos, Instrumentação e Nano-Materiais (DINAMA) . Tenho experiência na área de microeletrônica, com ênfase em materiais semicondutores, dielétricos e propriedades dielétricas, atuando nos seguintes temas: Plasma ECR (electron cyclotron resonance); Sensores de imagem de pixels ativos (APS) projeto/simulação, fabricação, e caracterização; Filmes finos e ultra-finos. Microlasers de cavidades não convencionais, memórias não voláteis de porta flutuante discreta. Experiência no desenvolvimento de novas tecnologias de preparação de nanomateriais, utilizando três técnicas diferentes: implantação iônica, crescimento epitaxial (LPCVD) e coloides. A ideia é dar-lhe aplicação de nossos conhecimentos de síntese das nanoestruturas e nanosistemas híbridos, no processo de fabricação de micro/nano dispositivos fotônicos, eletrônicos e biomedicina (marcadores, carregadores de fármacos, ressonadores plasmônicos nanoshells e ressonadores magnéticos). Na área de instrumentação, projeto e faço montagem de impressoras 3-D, com aplicações na impressão de dispositivos

(utilizando tinta condutiva com nanopartículas plasmônicas) e próteses (biomedicina).
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1940417937431931>.

Silvana Maldaner

Programa de Pós-Graduação em Educação Profissional Tecnológica. Lattes:
<http://lattes.cnpq.br/9915343643184208>.

Tânia Cristine Frankliane Cândido Ribeiro

Engenharia Química – Faculdade Pitágoras. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5105711907333403>.

Thais Mayara Rodrigues Gomes

Engenharia Civil – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Lattes:
<http://lattes.cnpq.br/9281822374176039>.

Thiarly Feitosa Afonso de Lavôr

Engenheiro Civil (2015.1) pela Universidade Estadual da Paraíba. Mestre (2017.1) e Doutor (2023.1) pelo Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil pela Universidade de Brasília, com área de concentração em Estruturas. Possui experiência como projetista estrutural, na docência e como divulgador científico em Engenharia Civil, atuando nas linhas de pesquisa da análise estrutural, com ênfase em dinâmica das estruturas e efeito do vento nas edificações. Lattes:
<http://lattes.cnpq.br/0760465958333283>.

Thiago Andrade Marques

Mestre em Biotecnologia na Universidade Estadual de Londrina-PR (Conceito 5 na Capes), no Departamento de Bioquímica e Biotecnologia. Biólogo graduado na Universidade Estadual de Londrina-PR, nas habilitações de bacharelado e licenciatura. Sendo bolsista CNPq por dois anos e meio, desenvolvendo o projeto de iniciação científica no Departamento de Bioquímica e Biotecnologia (CCE) da UEL. Docente por três anos no Serviço Nacional de Aprendizagem (SENAI), nas disciplinas de Genética, Bioquímica e Biologia Molecular. Possui experiência em elaboração de módulos digitais (aulas digitais), na área de Biologia para o Ensino a distância (EAD). Atuou como professor de ensino superior na Faculdade de Ensino Superior de São Miguel do Iguaçu (FAESI/ UNIGUAÇU),

nas disciplinas de Genética, Biologia Molecular e Introdução à Biotecnologia. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2726536239553550>.

Thamires Dantas Guerra

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG (2017). Mestre (2019) e Doutoranda em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, com ênfase em Mecânica e Gerência de Pavimentos. Foi monitora da disciplina de Topografia. Atualmente é pesquisadora no Projeto de Estudos para Validação de Modelos de Desempenho de Pavimentos no Nordeste financiado pela PETROBAS. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4924737835071651>.

Valter Ferreira de Souza Neto

Doutorado – Universidade Federal de Campina Grande. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2556654243832003>.

Vanessa Silva Oliveira

Engenharia Civil – Universidade Federal de Campina Grande. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0609543963344552>.

Vitória Araújo Castro

Graduanda em Engenharia de Materiais no IFPA, desenvolvendo pesquisa em materiais compósitos, com foco em biossíntese de extratos vegetais. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1136557221431751>.

Vinícius Tavares Medeiros

Licenciatura em Química – IFPA. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6729326106785680>.

Vinícius de Assis Souto Maior Arruda

Possui graduação em Engenharia Civil pela Faculdade Escritor Osman da Costa Lins (2024). Pós-graduando em Engenharia e Gestão da Manutenção Predial na Construção 4.0 pela Faculdade de Ciências Humanas ESUDA (Andamento). Atualmente é auxiliar de engenharia da Prefeitura Municipal de Orobó e sócio - Escritório Visionary Arquitetura e Engenharia. Lattes: <https://lattes.cnpq.br/5660150140577601>.

Willian Dimas Pompeo Siqueira

Aluno de Mestrado em Engenharia Química na Universidade Estadual de Maringá, com graduação na mesma área pela mesma instituição. Durante a graduação, conduziu três projetos de iniciação científica: dois focados na modelagem e simulação do processo de polimerização em miniemulsão e um no desenvolvimento de fotocatalisadores. Realizou estágio de pesquisa no Centre for Nuclear Energy Research (CNER), na University of New Brunswick (UNB), onde trabalhou na modelagem da troca iônica em sistemas de purificação de usinas nucleares. Além disso, teve uma atuação destacada em projetos de ensino e extensão, incluindo a presidência do centro acadêmico. Atualmente, sua pesquisa de mestrado foca na intensificação dos processos de produção de biodiesel e solketal a partir do glicerol residual gerado. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5232541750493930>.

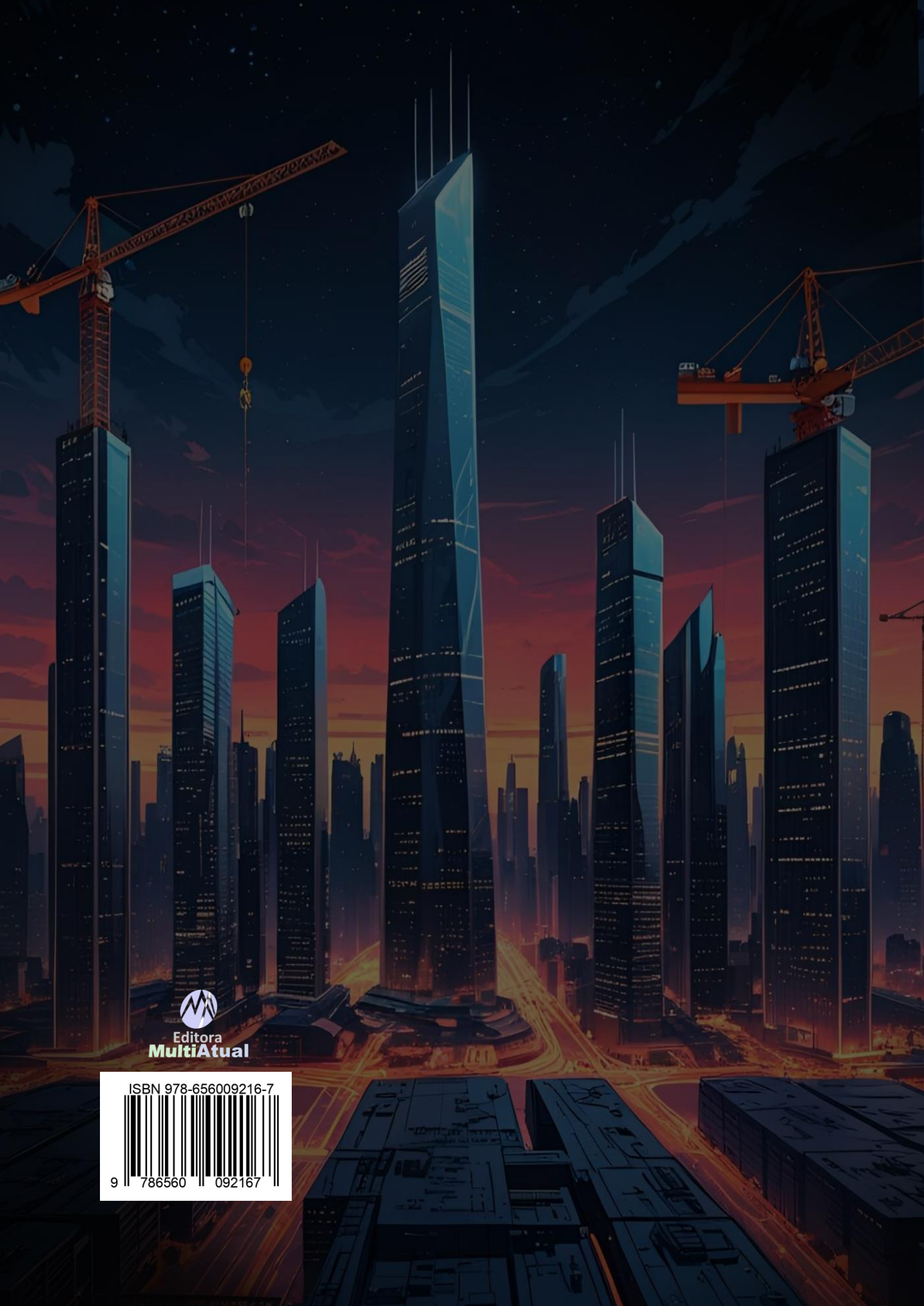
Yago Claudionor Fonseca Lopes Leite

Possui graduação na licenciatura em química pelo Instituto Federal do Pará - Campus Belém (8/8) e mestrando pelo programa de pós-graduação em engenharia química pela Universidade Federal do Pará - Campus Belém. Trabalhei como bolsista CNPq/IFPA no período de 2022 - 2023 e 2024-2025, pesquisador voluntário no IFPA - Campus Belém nos períodos de 2023 - 2024 e 2024 - 2025, aluno voluntário em projeto de extensão pelo IFPA - Campus Belém nos anos de 2022 e 2023, pesquisador externo do IFPA - Campus Belém no ano de 2025, estagiei no laboratório da soludy análise no primeiro semestre de 2024. Tenho experiência nas áreas de Físico química (catálise e adsorção), Química Orgânica (síntese de polímeros e biopolímeros), química inorgânicos (síntese inorgânica de catalisadores e zeólita), química analítica (análise de alimentos e validação de métodos) e ensino de química (gamificação e experimentação alternativa). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8334116426904119>.

Yury Yashyn Fonseca Lopes Leite

Graduando em Bacharel em Engenharia de Materiais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará. Participa como pesquisador bolsista no projeto de pesquisa "Nanotecnologia e aplicações: estudo da influência de nanotubos de carbono na estrutura e propriedade mecânica de ligas do sistema Al-Ni, processadas por solidificação direcional com fluxo transiente de calor", pelo Grupo de Pesquisa em Materiais-IFPa (GRUPMAT-IFPA) - FAPESPA na área de Metalurgia de Transformação (2024/2025). Participa como

pesquisador voluntário dos projetos de pesquisas "estrutural, mecânico e elétrico entre fios condutores de cobre utilizados para bobinamento de sistemas elétricos e fios de matriz de alumínio processados com inserção de nanotubos de carbonos multiwall" na área de engenharia aeroespacial (2024) e "Estudo dos parâmetros térmicos, estrutura e dureza da liga Al-4Cu-1Ni sob regime de solidificação direcional com fluxo transiente de extração de calor e influência de Nanotubos de Carbono em concentrações variadas" na área de Metalurgia de Transformação (2024/2025), pelo Grupo de Pesquisa em Materiais-IFPa (GRUPMAT-IFPA). Participa como pesquisador voluntário dos projetos de pesquisas "AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES E DA PERMEABILIDADE EM ARGAMASSAS COM CINZAS DO CAROÇO DE AÇAÍ", na área de Materiais Não-Metálicos (2024/2025), "AVALIAÇÃO DA PERMEABILIDADE DO CONCRETO PRODUZIDO COM CAROÇO DE AÇAÍ IN NATURA" na área de Materiais Não-Metálicos (2024/2025), pelo Grupo de Pesquisa Grupo de Pesquisa em Tecnologia de Materiais, Estruturas e Construção (TECMEC). Participou como pesquisador bolsista do projeto de pesquisa "Impulsionando a Sustentabilidade e o Empoderamento Feminino: Bioeconomia, Tecnologia Social e Beneficiamento de Sementes para a Produção de Biojoias com Protótipos de Máquinas", pelo grupo de Pesquisa em Química do IFPA/Belém - PIBIC na área da Engenharia/Tecnologia/Gestão (2023/2024). Participou como pesquisador voluntário no projeto de extensão "Estudo Da Resistência De Concreto Com Concentrações Variadas De Vidro Reciclado E Triturado, Como Substituição Agregados: Um Estudo Extensionista Para Estudantes De Ensino Superior De Belém - Pa", pelo grupo de pesquisa de Materiais do IFPA (GRUPMATE-IFPA) (2023). Monitor de evento da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência - São Paulo, monitor de evento da Universidade Federal do Pará. Tem experiência na área de Metais com ênfase em Caracterização e Solidificação, Nanomateriais com ênfase em Nanotubo, e Tecnologia social com ênfase em Artesanato de biojoias, atualmente principalmente nos seguintes temas: processamento de materiais, metalografia, solidificação direcional em regime transiente, Nanocompósitos desenvolvimento de protótipos de máquinas. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8492463171286834>.



Editora
MultiAtual

ISBN 978-656009216-7



9 786560 092167