



REVISTA DA UNIFEFE

**TECNOLOGIAS, ENGENHARIA,
PRODUÇÃO E CONSTRUÇÃO**



Revista de Divulgação Científica do Centro Universitário da Fundação Educacional de Brusque n. 32, 2025.1 | ISSN 1679-8708

Rua Vendelino Maffezzolli, nº 333 - Bairro Santa Terezinha - 88352-360 - Brusque/SC

Telefone (47) 3211-7000 | unifebe.edu.br

Produção Editorial

Equipe da Editora UNIFEBE

Equipe da Pró-Reitoria de
Pós-Graduação, Pesquisa,
Extensão e Cultura

Coordenação Editorial

Arina Blum
Rosemari Glatz

Supervisão de Design

Arina Blum

Projeto Gráfico

João Guilherme Cabral Marchi
Maria Alice Mattoso Camargo
Peterson Paulo Vanzuita
Arina Blum

Diagramação

João Guilherme Cabral Marchi
Maria Alice Mattoso Camargo

Foto da Capa

Robson Souza dos Santos

Revisão

Rosana Paza

Conferência

Fabiana Booz Vasquez

Rosemari Glatz

Presidente da FEBE
Reitora da UNIFEBE

Sergio Rubens Fantini

Vice-Presidente da FEBE
Vice-Reitor e Pró-Reitor de
Administração da UNIFEBE

Sidnei Gripa

Pró-Reitor de Graduação

Edinéia Pereira da Silva

Pró-Reitora de
Pós-graduação, Pesquisa,
Extensão e Cultura

Conselho Editorial da Revista UNIFEBE

Daniel Goulart
Angela Sikorski Santos
Aline Battisti Pereira
Andreia Martins
Anna Lúcia Martins Mattoso
Arina Blum
Carla Zenita do Nascimento
Edinéia Pereira da Silva
Eliane Kormann
Fernando Luís Merízio
Gissele Prette
Günther Lothar Pertschy
João Derli de Souza Santos
Josely Cristiane Rosa
Juliana Chaves Costa Pinotti
Leilane Marcos
Leonardo Rigon Kasmarek
Leonardo Ristow
Marcelius Oliveira de Aguiar
Rafaela Bohaczuk Venturelli Knop
Raquel Maria Cardoso Pedroso
Roberto Carlos Klann
Roberto Heinze
Rosana Paza
Thiago dos Santos
Wallece Nobrega Lopo
Vivian Siffert Wildner
Henrique de Souza Goulart

◀ SUMÁRIO

A APLICAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS NA INDÚSTRIA DE VESTUÁRIO DE MODA.....	5
A APRENDIZAGEM BASEADA EM TAREFAS (TBL) NA FORMAÇÃO DOCENTE: UMA EXPERIÊNCIA NO ESTÁGIO SUPERVISIONADO EM TECNOLOGIAS EDUCACIONAIS	29
A INFLUÊNCIA DAS TECNOLOGIAS DIGITAIS NO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM NO 3º ANO DO ENSINO FUNDAMENTAL.....	45
ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE RECICLADO SUBMETIDO AO ENSAIO DE NÉVOA SALINA	65
ANÁLISE DE PARÂMETROS FÍSICOS E MECÂNICOS DE AGREGADO MIÚDO RESIDUAL PARA PRODUÇÃO DE BLOCO DE ANCORAGEM DE CONCRETO	79
ANÁLISE DE PRODUTO RESIDUAL DE ÁCIDO SULFÚRICO COMO COAGULANTE NO TRATAMENTO DE EFLUENTES GALVÂNICOS.....	104
APLICAÇÃO DO SOFTWARE QGIS NO TRATAMENTO DE PONTOS DE LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO GEORREFERENCIADOS: UM BANCO DE DADOS DIGITAL	119
COMPARAÇÃO DE VOLUMES DE CORTES E ATERROS UTILIZANDO SOFTWARE DE MODELAGEM TOPOGRÁFICA BIM	139
DESENVOLVIMENTO DE ALGORITMO PARA OTIMIZAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE VIGAS LONGARINAS DE PONTES DE CONCRETO ARMADO.....	164
EXTRAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS PARA USO COMO ANTIOXIDANTES NATURAIS EM ÓLEOS VEGETAIS.....	193
MELHORIAS NO BIOPOLIMENTO: DESAFIOS E SOLUÇÕES PARA UMA LAVANDERIA INDUSTRIAL.....	217

◀ SUMÁRIO

NOVAS SIMULAÇÕES DE ESTABILIDADE DE TALUDE A PARTIR DE ESTUDO GEOTÉCNICO PREEXISTENTE EM GASPAR - SC.....	231
O IMPACTO DO ESTUDO GEOTÉCNICO NOS SERVIÇOS DE TERRAPLENAGEM – ESTUDO DE CASO.....	258
O USO DA REALIDADE VIRTUAL COMBINADA COM EXERCÍCIOS FÍSICOS NO TRATAMENTO DA FIBROMIALGIA.....	281
PROJETO E ANÁLISE DE UM EDIFÍCIO DE CONCRETO ARMADO COMPARANDO QUATRO RESISTÊNCIAS CARACTERÍSTICAS À COMPRESSÃO.....	293
REAPROVEITAMENTO DO BAGAÇO DE MALTE NA ELABORAÇÃO DE ALIMENTOS FUNCIONAIS.....	312
REVISÃO DE MODELOS E NORMAS EM GESTÃO DE RISCOS CIBERNÉTICOS	338
VIABILIDADE DO USO DO SISTEMA DE ENERGIA SOLAR EM RESIDÊNCIAS NA CIDADE DE UNAÍ – MG.....	356

A APLICAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS NA INDÚSTRIA DE VESTUÁRIO DE MODA

THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PRODUCT DEVELOPMENT WITHIN THE FASHION APPAREL INDUSTRY

Geovana Aparecida Bohn¹
Daniel Goulart²

RESUMO: A Inteligência Artificial (IA) tem se tornado cada vez mais presente na indústria de vestuário de moda, contribuindo para a inovação e melhoria dos processos de criação, produção e personalização de produtos. Este estudo teve como objetivo analisar como a IA pode contribuir para o processo de criação de roupas na indústria do vestuário de moda. A pesquisa utilizou uma abordagem teórica para entender os conceitos fundamentais da IA e a sua viabilidade no setor têxtil, destacando as vantagens e desafios da implementação dessa tecnologia, especialmente para pequenas e médias empresas. A análise apontou que, embora a IA traga grandes benefícios, como maior eficiência e sustentabilidade, obstáculos como o alto custo e a falta de capacitação ainda limitam a sua adoção generalizada na indústria da moda.

Palavras-chave: inteligência artificial; moda; criação.

ABSTRACT: *Artificial Intelligence (AI) has become increasingly present in the fashion apparel industry, contributing to innovation and improvement in product design, production, and customization processes. This study aimed to investigate how AI can enhance the clothing design process in the fashion apparel industry. The research employed a theoretical approach to clarify the fundamental concepts of AI and its applicability in the textile sector, highlighting the advantages and challenges of implementing this technology, particularly for small and medium-sized companies. The analysis indicates that while AI offers significant benefits, including enhanced efficiency and sustainability, challenges such as high costs and inadequate training continue to hinder its widespread adoption in the fashion industry.*

KEYWORDS: artificial intelligence; fashion; design.

¹ Acadêmica do Curso de MBA em Gestão da Cadeia Têxtil. E-mail: geovana.bohn@outlook.com

² Professor Orientador Mestre em Design de vestuário e Moda. E-mail: daniel_gou@unifebe.edu.br

1 INTRODUÇÃO

A inteligência artificial é um campo da ciência da computação que se dedica ao estudo e ao desenvolvimento de máquinas e programas computacionais capazes de reproduzir o comportamento humano na tomada de decisões e na realização de tarefas, desde as mais simples até as mais complexas (Guitarrara, 2025). A indústria da moda, por sua vez, tem sido reconhecida historicamente pela sua capacidade de liderança em inovação e também pela prontidão em adotar tecnologias de ponta.

Sempre em sintonia com as mudanças nas preferências dos consumidores, as tendências emergentes e os avanços nos métodos de fabricação, ela tem se adaptado de forma ágil e proativa. Com a ascensão da inteligência artificial (IA), pode-se testemunhar uma nova e significativa revolução em toda a indústria da moda. Essa transformação está redefinindo profundamente a inovação de produtos, *marketing*, vendas e a experiência do cliente. Os consumidores exigem conveniência, personalização e rapidez. Dessa forma, o presente estudo indaga: como ela pode contribuir no processo de criação de roupas?

Perante o referido questionamento, o estudo teve como objetivo analisar como a IA pode contribuir para o processo de criação de roupas na indústria do vestuário de moda.

Os seus objetivos específicos são: a) Descrever os conceitos-base da IA; b) Identificar a usabilidade da IA dentro da indústria da moda; c) Apontar os processos tradicionais de criação de moda utilizados atualmente; d) Avaliar o quanto a IA pode melhorar o processo de criação de moda; e) Conhecer a viabilidade do uso da IA na moda.

A Inteligência Artificial se apresenta como realidade para alguns campos de atuação, dessa forma, justifica-se abordar a temática relacionada com a indústria de vestuário e moda, considerando os ganhos que toda a indústria e o consumidor podem ter com a sua aplicação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para fundamentar a presente pesquisa, realizou-se o estudo de materiais já publicados em *sites*, revistas científicas e livros. Dessa forma, o presente capítulo conceitua o que é a Inteligência Artificial e a sua usabilidade na indústria de vestuário, contrapondo o desenvolvimento industrial convencional, aquele aplicado pela grande parte das empresas atualmente.

2.1 CONCEITOS E A EVOLUÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A Inteligência Artificial (IA) é um campo da ciência da computação que busca criar sistemas capazes de simular a inteligência humana, permitindo que máquinas realizem tarefas como aprendizado, raciocínio, reconhecimento de padrões e tomada de decisões (Russell; Norvig, 2021). O seu avanço tem sido impulsionado pelo aumento do poder computacional e pela disponibilidade de dados. O seu conceito surgiu em meados da década de 1950, quando Alan Turing propôs a possibilidade de máquinas pensarem de forma semelhante aos seres humanos (Turing, 1950). A partir daí, a evolução da IA passou por diferentes abordagens, desde os primeiros sistemas baseados em regras até os modelos atuais baseados em aprendizado de máquina e redes neurais profundas (Goodfellow; Bengio; Courville, 2016).

A aplicação da IA na indústria está diretamente ligada às transformações tecnológicas das últimas décadas. A chamada Indústria 4.0, conceito cunhado na Alemanha em 2011, representa a integração de tecnologias digitais avançadas, como Internet das Coisas (IoT), Big Data, Computação em Nuvem e IA, nos processos produtivos (Schwab, 2016). Essa revolução trouxe a automação inteligente, permitindo maior eficiência, flexibilidade e personalização na manufatura.

A partir de 2020, surge o conceito de Indústria 5.0, que complementa os avanços da Indústria 4.0, enfatizando a colaboração entre humanos e máquinas inteligentes. Diferente da automação total da quarta revolução industrial, a Indústria 5.0 propõe um equilíbrio entre tecnologia e o fator humano, priorizando a sustentabilidade, a personalização extrema e a responsabilidade social (Breque; De Nul; Perez, 2021). Nessa nova fase, a IA não apenas otimiza processos produtivos, mas também atua como facilitadora da criatividade humana, promovendo inovação e desenvolvimento sustentável.

Portanto, a IA se consolida como um pilar essencial da transformação industrial, impulsionando a competitividade e a inovação em setores como o têxtil, onde pode ser aplicada no desenvolvimento de novos materiais, *design* preditivo e otimização da cadeia produtiva.

2.2 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA INDÚSTRIA DE VESTUÁRIO

Na indústria do vestuário, a IA está se tornando uma ferramenta essencial para otimizar processos, melhorar a eficiência e inovar em produtos. Com algoritmos avançados e análise de dados em grande escala, a IA pode transformar a maneira como as empresas operam, desde o *design* até a produção e distribuição (Nunes, 2025).

A indústria têxtil sempre esteve ligada às inovações tecnológicas. Desde a Revolução Industrial, quando o tear mecânico automatizou parte do processo produtivo, até os avanços da automação nas décadas de 1970 e 1980, a tecnologia tem sido um motor de produtividade no setor (Sen, 2008). No século XXI, a digitalização tem remodelado toda a cadeia produtiva, permitindo maior integração entre os processos, eficiência operacional e customização dos produtos.

Contudo, é importante destacar que o setor de vestuário vai além da indústria têxtil. Embora esta última seja responsável pela produção das matérias-primas, como fios, tecidos e acabamentos, o vestuário envolve também atividades de criação, modelagem, confecção, logística, comercialização e consumo final. Nesse contexto ampliado, a IA tem um papel ainda mais abrangente, atuando no desenvolvimento de coleções personalizadas, por meio da análise de preferências dos consumidores, na predição de tendências com base em dados de mercado e na gestão inteligente de estoques e cadeias de suprimento (Silva; Oliveira, 2022).

Além disso, tecnologias como visão computacional e aprendizado de máquina estão sendo aplicadas no controle de qualidade automatizado, no reconhecimento de padrões para corte e costura e até mesmo na recomendação de roupas personalizadas em plataformas de *e-commerce*. A IA, portanto, não apenas reforça a eficiência da indústria do vestuário, como também amplia as possibilidades de inovação em toda a cadeia de valor do vestuário, contribuindo para um modelo de produção mais ágil, inteligente e centrado no consumidor (Ferreira; Nascimento, 2023).

2.3 A UTILIZAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA INDÚSTRIA DE VESTUÁRIO NO BRASIL

A indústria de vestuário brasileira desempenha um papel fundamental na economia, sendo um dos principais geradores de empregos e inovação no setor industrial (ABIT, 2021). A evolução tecnológica na indústria brasileira acompanha as revoluções industriais, desde a mecanização dos processos até a adoção de tecnologias avançadas, como a implementação da Inteligência Artificial.

No Brasil, o desenvolvimento industrial têxtil e de vestuário iniciou-se no final do século XIX e início do século XX, impulsionado pelo crescimento da economia cafeeira e pela urbanização (Lima, 2015). O surgimento das primeiras fábricas têxteis no país, principalmente em São Paulo e Minas Gerais, marcou a transição da produção artesanal para a manufatura mecanizada.

Com a Segunda Revolução Industrial, chegou a eletrificação e novos processos produtivos, tornando as fábricas mais eficientes. No Brasil, esse período foi caracterizado pela industrialização acelerada na década de 1930, com a criação da Companhia Nacional de Álcalis e incentivos governamentais para a modernização do setor (Silva; Gonçalves, 2020).

Já a Terceira Revolução Industrial, que ocorreu na segunda metade do século XX, foi marcada pela automação e pelo uso de eletrônica e informática nos processos produtivos. No Brasil, a introdução de máquinas automatizadas e sistemas informatizados ocorreu principalmente a partir da década de 1980, com a modernização das tecelagens e confecções (Carvalho; Souza, 2018).

A automação proporcionou ganhos de produtividade e qualidade, reduzindo a necessidade de mão de obra intensiva e aumentando a eficiência dos processos. Empresas brasileiras começaram a investir em equipamentos computadorizados, como teares eletrônicos e sistemas de corte automatizado, melhorando a competitividade do setor (ABIT, 2021).

A chegada da Indústria 4.0 trouxe uma nova era para o setor de vestuário, baseada na digitalização e na integração de tecnologias inteligentes. No Brasil, essa revolução tecnológica vem sendo adotada gradualmente, com a implementação de sistemas conectados, análise de big data e IA para otimização dos processos produtivos (Martins; Ferreira, 2022). Para Souza e Andrade (2021), as empresas brasileiras investem em inovação para aumentar a eficiência e reduzir desperdícios, aplicando inteligência artificial na previsão de tendências de moda, otimização do uso de matéria-prima e personalização da produção. Além disso, a digitalização permite um maior controle sobre a cadeia produtiva, promovendo práticas mais sustentáveis e responsivas às demandas do mercado.

E atualmente, com a transição para a Indústria 5.0, a tendência é que a indústria de vestuário brasileira reforce a colaboração entre humanos e máquinas inteligentes, priorizando a customização em massa e a sustentabilidade. O uso de materiais inteligentes, impressão 3D de tecidos e inteligência artificial aplicada ao design no vestuário são algumas das inovações que devem moldar o futuro do setor no Brasil (Costa; Oliveira, 2023).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo caracterizou-se como uma pesquisa de natureza básica, ao buscar aprofundar o conhecimento sobre a aplicação da IA no desenvolvimento de novos produtos na indústria do vestuário têxtil, sem um objetivo imediato de aplicação prática, mas com a intenção de contribuir para futuras inovações e estudos no setor

(Gil, 2019). A pesquisa visa ampliar o entendimento teórico e conceitual sobre as transformações e os desafios da adoção da IA na indústria de vestuário, além de analisar e investigar como a IA pode contribuir no processo de criação de moda.

Quanto à abordagem do problema, a pesquisa foi qualitativa, uma vez que se baseia na análise de dados secundários provenientes de literatura acadêmica, relatórios do setor e estudos de caso sobre a implementação da IA. Segundo Minayo (2012), a pesquisa qualitativa é apropriada para estudar fenômenos sociais e tecnológicos complexos por permitir uma interpretação mais profunda das dinâmicas envolvidas. Além disso, essa abordagem possibilita uma análise detalhada dos desafios enfrentados pelo setor na adoção da IA e das oportunidades que essa tecnologia pode proporcionar.

No que se refere aos objetivos, tratou-se de uma pesquisa explicativa, ao visar não apenas descrever a situação atual da indústria de vestuário, mas também analisar as possibilidades que a IA oferece para o desenvolvimento de novos produtos. Além disso, a pesquisa investiga os fatores que ainda limitam a implementação dessa tecnologia no setor e como sua adoção pode ocorrer no futuro. Para Gil (2019), a pesquisa explicativa visa identificar os fatores que determinam ou influenciam um fenômeno, sendo essencial para compreender as barreiras tecnológicas, econômicas e culturais da adoção da IA na indústria do vestuário brasileiro.

Como procedimento técnico, a pesquisa foi bibliográfica, desenvolvida por meio da análise de livros, artigos científicos, relatórios setoriais, publicações institucionais e fontes acadêmicas confiáveis. Segundo Lakatos e Marconi (2019), a pesquisa bibliográfica permite a construção de conhecimento a partir de estudos já realizados, possibilitando uma fundamentação teórica sólida sobre o tema. No contexto deste trabalho, foram utilizadas referências que descrevem os conceitos-base da IA, além de identificar a usabilidade e a viabilidade da aplicação da IA no desenvolvimento de novos produtos.

A seleção das referências bibliográficas seguiu critérios de relevância, atualidade e adequação ao tema proposto. Foram priorizados estudos nacionais que discutem a modernização da indústria têxtil no Brasil, bem como pesquisas que analisam a inserção da IA na cadeia produtiva do setor. Dessa forma, visou-se construir um panorama abrangente e bem fundamentado sobre o tema, contribuindo para as futuras pesquisas e para o avanço do conhecimento na área (ABIT, 2021; Martins; Ferreira, 2022).

Contudo, é importante destacar que o setor de vestuário vai além da indústria têxtil. Embora esta última seja responsável pela produção das matérias-primas, como fios, tecidos e acabamentos, o vestuário envolve também atividades de criação,

modelagem, confecção, logística, comercialização e consumo final. Nesse contexto, para Silva e Oliveira (2022), a IA tem um papel ainda mais abrangente, atuando no desenvolvimento de coleções por meio da análise de preferências dos consumidores e na predição de tendências com base em dados de mercado.

Além disso, tecnologias como visão computacional e aprendizado de máquina estão sendo aplicadas no controle de qualidade automatizado, no reconhecimento de padrões para corte e costura e até mesmo na recomendação de roupas personalizadas em plataformas de e-commerce. A IA, portanto, não apenas reforça a eficiência da indústria do vestuário têxtil, como também amplia as possibilidades de inovação em toda a cadeia de valor do vestuário, contribuindo para um modelo de produção mais ágil, inteligente e centrado no consumidor (Ferreira; Nascimento, 2023).

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A indústria do vestuário no Brasil está passando por uma transformação significativa, impulsionada pela adoção de tecnologias avançadas, como a Inteligência Artificial (IA). Essas inovações estão redefinindo processos produtivos, melhorando a qualidade dos produtos e proporcionando experiências mais personalizadas aos consumidores.

Com o setor do vestuário se adaptando às novas demandas do mercado, a IA vem sendo utilizada para transformar operações em algo mais ágil e preciso. A IA vem transformando a indústria da moda, abrangendo diversas áreas do vestuário, desde a criação e *design* até a concepção do produto, visto que a IA pode processar grandes volumes de dados e gerar soluções rápidas.

4.1 PROCESSO ATUAL DE DESENVOLVIMENTO DE VESTUÁRIO

O desenvolvimento tradicional de vestuário segue um processo linear, começando pela pesquisa de tendências, seguida por criação, modelagem, prototipagem, produção e, por fim, comercialização. Esse modelo depende fortemente da intuição dos *designers* e de pesquisas empíricas em desfiles, feiras e revistas de moda.

Segundo Castilho *et al.* (2021), essa abordagem pode ser ineficiente, com falhas na previsão de demanda, levando à superprodução ou à falta de alinhamento com os desejos reais dos consumidores. O processo também é marcado por um alto consumo de recursos e tempo, especialmente nas etapas de modelagem e prototipagem física. O autor enfatiza ainda que “A moda é um setor que tradicionalmente depende da criatividade humana e da observação empírica das tendências, o que pode gerar inconsistências entre o que é produzido e o que o consumidor deseja” (Castilho *et al.*, 2021, p. 78).

A produção ainda enfrenta desafios logísticos e ambientais, uma vez que decisões tomadas sem apoio de dados frequentemente resultam em sobras de estoque e desperdício de materiais (Miranda; Souza, 2019).

Segundo Treptow (2012), o desenvolvimento de produtos de moda pode ser definido como um processo sistemático que integra pesquisa, planejamento e criação. A autora defende que o ponto de partida deve ser uma análise detalhada do mercado e do comportamento do consumidor, orientando todas as decisões criativas e técnicas ao longo do processo. No planejamento da coleção, Treptow propõe a escolha de um tema central que guie a seleção de materiais, cartela de cores, modelagens e estilos. Cada etapa é planejada para manter a coerência da identidade da marca e atender às expectativas do público-alvo. Ela ressalta que a organização do cronograma de desenvolvimento é essencial para respeitar os prazos de lançamento e garantir competitividade no mercado (Treptow, 2012).

O processo, segundo Treptow, inclui:

- Pesquisa de tendências e comportamento;
- Definição do público e proposta de coleção;
- Desenvolvimento de croquis e fichas técnicas;
- Modelagem, confecção de pilotos e provas;
- Ajustes e validação dos produtos;
- Início da produção em série.

A autora também aponta a importância da integração entre áreas, como criação, *marketing* e produção, para que o desenvolvimento do vestuário ocorra de forma eficiente e coordenada. A metodologia propõe uma abordagem que valoriza tanto a criatividade quanto a gestão técnica dos processos (Treptow, 2012).

4.2 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE VESTUÁRIO COM USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A inteligência artificial vem transformando diversas etapas da cadeia produtiva do vestuário. Com o avanço das tecnologias, a IA é aplicada para otimizar e acelerar processos de criação, personalização e produção de vestuário. Diversos conceitos-chave, como análise preditiva, *Machine Learning*, algoritmos de recomendação e modelagem 3D, estão sendo utilizados para aprimorar a indústria, proporcionando maior eficiência, redução de custos e personalização no desenvolvimento de novos produtos.

A seguir, são apresentados conceitos essenciais que fundamentam o uso da IA na moda:

a) Análise Preditiva:

A análise preditiva, utilizando dados históricos e algoritmos avançados, é uma técnica essencial para prever resultados futuros. Essa abordagem é amplamente aplicada na indústria da moda, permitindo antecipar tendências de consumo, comportamentos de compra e demandas futuras, proporcionando decisões mais informadas e melhorando a otimização de processos. A análise preditiva pode auxiliar as empresas do setor a planejarem melhor suas coleções e a prever a demanda com maior precisão, reduzindo o risco de superprodução e desperdício de recursos (SGASoft, 2021).

b) *Machine Learning*:

O aprendizado de máquina (*Machine Learning*) é uma área da inteligência artificial, que permite que sistemas aprendam com a experiência e melhorem seu desempenho ao longo do tempo, sem a necessidade de programação explícita. No contexto da moda, essa tecnologia é utilizada para analisar grandes volumes de dados, identificar padrões de comportamento de consumo, prever tendências e personalizar a experiência do cliente. Plataformas como o Azure Machine Learning, por exemplo, facilitam o desenvolvimento e a gestão de modelos de aprendizado de máquina que impulsionam inovações no design de moda (Microsoft, 2022).

c) Algoritmos de Recomendação:

Os algoritmos de recomendação são fundamentais para personalizar a experiência de compra dos consumidores, analisando seu comportamento e sugerindo produtos que atendam às suas preferências. No setor da moda, esses algoritmos são amplamente usados em plataformas de *e-commerce* para aprimorar a personalização. A plataforma Stitch Fix, por exemplo, combina dados de clientes e algoritmos para sugerir peças de roupas que se alinhem com o estilo e as preferências de cada usuário, criando uma experiência de compra única e eficiente (Souza, 2020).

d) Modelagem 3D:

A modelagem 3D é um processo que permite a criação de representações digitais tridimensionais de objetos, como roupas, proporcionando simulações visuais realistas. Essa tecnologia permite que *designers* visualizem e ajustem as peças de vestuário antes da produção física, otimizando o processo de desenvolvimento. *Softwares* como o CLO 3D são amplamente utilizados na indústria da moda para simular o caimento de roupas, ajustar tecidos e estampas e reduzir desperdícios, tornando o processo de criação mais eficiente e sustentável (CLO, 2021).

Silva e Oliveira (2022) destacam que a IA permite interpretar grandes volumes de dados sobre preferências dos consumidores, comportamentos de compra, climas e tendências globais, fornecendo informações valiosas para a criação de produtos mais alinhados com a demanda. Dessa forma, “A inteligência artificial permite transformar dados não estruturados em *insights* para o desenvolvimento de produtos alinhados às expectativas do consumidor, reduzindo erros e desperdícios” (Silva; Oliveira, 2022, p. 112).

Além disso, a IA permite a personalização em escala, com algoritmos que sugerem produtos de acordo com medidas, estilo e preferências individuais dos consumidores, como já é aplicado em grandes varejistas do setor (Mattos; Rodrigues, 2021). Os autores destacam que “o uso de inteligência artificial na moda permite uma customização em massa, aumentando o valor percebido pelo cliente e otimizando a cadeia de suprimentos” (Mattos; Rodrigues, 2021, p. 143).

A personalização proporcionada pela inteligência artificial potencializa significativamente o valor percebido pelos consumidores, criando uma experiência de compra mais alinhada às suas expectativas e desejos. Segundo Sampaio e Perin (2019), o valor percebido está diretamente relacionado à capacidade da marca de oferecer soluções que superem as necessidades básicas, agregando aspectos emocionais e simbólicos aos produtos. Nesse contexto, marcas que investem em personalização por meio da IA conseguem fortalecer seu posicionamento competitivo e criar vínculos mais sólidos com seus clientes.

Além disso, como reforçam Dornelas e Castro (2020), o uso estratégico da tecnologia impacta positivamente a cadeia de suprimentos, otimizando processos, reduzindo estoques e encurtando os ciclos de desenvolvimento e entrega. A eficiência logística proporcionada pela integração de dados em tempo real se traduz em uma resposta mais rápida às demandas do mercado, aumentando a satisfação do cliente e a sustentabilidade do negócio.

A adoção da inteligência artificial no setor de vestuário representa, portanto, uma ruptura com os métodos tradicionais. Trata-se de uma abordagem baseada em dados, mais dinâmica e sustentável, que se mostra coerente com as exigências contemporâneas de mercado e com os princípios da Indústria 4.0.

Apesar de sua histórica dependência de mão de obra intensiva e da necessidade de elevados investimentos para modernização de seus parques fabris, a indústria do vestuário tem incorporado tecnologias de forma gradativa. Segundo Tigre (2006), setores tradicionais tendem a absorver inovações de forma mais lenta devido a barreiras estruturais e culturais, como o alto custo de automação e a resistência à mudança.

No entanto, observa-se que o avanço da inteligência artificial e de tecnologias digitais proporciona novas formas de execução das etapas produtivas, desde o desenvolvimento de produtos até a gestão de estoques e a personalização em larga escala (Moura; Barbosa, 2020). Esse movimento, ainda em amadurecimento, evidencia que mesmo setores altamente dependentes de trabalho manual podem se beneficiar da integração de soluções inteligentes, aumentando sua eficiência, sustentabilidade e capacidade de resposta ao mercado.

4.3 COMPARATIVO ENTRE O PROCESSO TRADICIONAL E O USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO DESENVOLVIMENTO DE VESTUÁRIO

O desenvolvimento de vestuário é um processo complexo que envolve uma série de etapas interligadas, desde a pesquisa de tendências até a produção final. Historicamente, esse processo se baseou em métodos manuais e intuitivos, nos quais as decisões são predominantemente tomadas por *designers* e outros profissionais da área. Contudo, com o advento da tecnologia, especialmente da inteligência artificial (IA), novas possibilidades são exploradas para otimizar e aprimorar cada fase do ciclo de desenvolvimento.

A aplicação de IA no setor têxtil promete transformar como as coleções de moda são concebidas, criando um ambiente mais ágil, eficiente e adaptado às demandas do mercado. Esta seção tem como objetivo realizar um comparativo detalhado entre o processo tradicional de desenvolvimento de vestuário e as vantagens oferecidas pela utilização de IA, evidenciando as transformações tecnológicas e os impactos no setor.

O Quadro 1 apresenta um comparativo entre o processo tradicional e o processo com utilização de inteligência artificial no desenvolvimento de vestuário:

Quadro 1 – Comparativo entre o processo tradicional e o uso de IA no desenvolvimento de vestuário

ETAPA	PROCESSO TRADICIONAL	PROCESSO IA
Pesquisa de tendências	Observação empírica e subjetiva	Análise de dados e predição via algoritmos
Criação/design	Intuição e experiência do <i>designer</i>	Geração de <i>designs</i> assistidos por IA
Modelagem	Manual e artesanal	Modelagem 3D e automatizada
Pilotagem	Manual e artesanal	Digital, rápida e sustentável
Produção	Baseada em previsões imprecisas	Produção orientada por dados de consumo

Fonte: elaborado pela autora (2025).

O Quadro 1 apresenta, de maneira concisa, as principais etapas envolvidas no processo de desenvolvimento de vestuário. A seguir, apresenta-se a descrição detalhada de cada uma dessas etapas, considerando tanto a abordagem tradicional quanto a aplicação de recursos baseados em inteligência artificial.

4.3.1 Pesquisa de Tendências

Na moda tradicional, a pesquisa de tendências é feita por observação subjetiva de desfiles, comportamento de consumo, revistas especializadas e viagens a centros de moda. Essa análise depende muito da intuição e experiência dos profissionais. Nesse sentido, para Castilho *et al.* (2021, p. 80). “A captação de tendências no setor da moda ainda é baseada, na maioria, na experiência de profissionais e em fontes empíricas, o que pode gerar interpretações diferentes e imprecisas”.

Treptow (2012) complementa essa análise ao afirmar que a pesquisa de tendências é uma etapa fundamental no desenvolvimento de produtos de moda, mas que tradicionalmente está baseada em métodos qualitativos e na sensibilidade dos criadores. Para a autora, identificar tendências requer um olhar atento às transformações culturais, sociais e comportamentais, exigindo dos profissionais uma capacidade de interpretação e adaptação rápida às mudanças do mercado.

No entanto, Caldas (2004) traz uma perspectiva mais analítica ao definir tendências como movimentos socioculturais que se manifestam de maneira progressiva e que podem ser previstos por meio da observação estruturada de sinais emergentes. Para Caldas, o estudo de tendências deve ser sistematizado, com metodologia própria, permitindo uma leitura mais precisa do futuro e reduzindo a margem de erro nas decisões de desenvolvimento de produtos. Dessa forma, ambos

os autores ressaltam que, embora a pesquisa de tendências tenha uma base intuitiva, a adoção de métodos mais científicos e estruturados é essencial para a competitividade das marcas no cenário contemporâneo.

Com o uso de IA, é possível realizar análises em tempo real de grandes volumes de dados (*big data*), extraídos de redes sociais, buscadores, *e-commerce* e influenciadores digitais, para identificar tendências emergentes com base em comportamento de consumo real. “A inteligência artificial permite prever tendências a partir da análise de dados comportamentais, oferecendo maior assertividade para o setor de moda” (Silva; Oliveira, 2022, p. 113).

Atualmente, é possível encontrar com facilidade serviços especializados que unem a busca empírica tradicional à análise de dados tecnológicos. Profissionais e empresas de pesquisa de tendências têm incorporado metodologias que combinam a observação qualitativa — baseada em comportamento de consumo, cultura e estilo de vida — com a análise quantitativa de *big data* extraído de plataformas digitais. Essa fusão de abordagens, conforme apontam Silva e Oliveira (2022), potencializa a assertividade das previsões de tendências, uma vez que permite captar sinais emergentes a partir de comportamentos reais e mensuráveis em tempo quase imediato. Assim, a inteligência artificial atua como ferramenta complementar à sensibilidade humana, oferecendo suporte para decisões mais estratégicas e embasadas no desenvolvimento de novos produtos de moda.

De forma resumida, no que diz respeito à pesquisa de tendências e à utilização de inspirações para o desenvolvimento de novos produtos em empresas de vestuário, observa-se que a aplicação da inteligência artificial contribui de maneira significativa para a obtenção dos resultados desejados. A capacidade de processar grandes volumes de dados e identificar padrões emergentes permite que as marcas alinhem suas criações às expectativas do mercado de forma mais precisa e rápida. Além disso, como apontam Silva e Oliveira (2022), o uso da IA favorece a expansão das estratégias de mercado, ampliando o alcance das marcas e fortalecendo seu posicionamento em um contexto competitivo marcado pelo capitalismo de consumo. Dessa forma, a tecnologia não apenas otimiza o desenvolvimento de produtos, como também potencializa a construção de valor de marca e a fidelização de clientes em escala global.

4.3.2. Criação/Design

A criação/*design* é guiada tradicionalmente pelo olhar artístico e criativo dos estilistas, com base em referências culturais, experiências pessoais e tendências percebidas subjetivamente. “A fase criativa no desenvolvimento de produtos de moda ainda é predominantemente artesanal, baseada na inspiração e criatividade humana” (Gomes; Moreira, 2018, p. 97).

Com o uso da IA e suas ferramentas, possibilita a geração de novas combinações cromáticas, estampas e formas, além de auxiliar na criação de *designs* a partir de dados históricos de vendas e preferências dos consumidores. “A IA pode colaborar na fase criativa, sugerindo possibilidades visuais baseadas em análises estatísticas e histórico de aceitação de produtos anteriores” (Mattos; Rodrigues, 2021, p. 139).

Assim como na busca por tendências, é importante destacar que a inteligência artificial não substitui a interpretação emotiva e criativa do designer no desenvolvimento de novos produtos. A criação na moda envolve tanto a junção de elementos visuais e funcionais quanto a expressão de valores culturais, emocionais e simbólicos (Treptow, 2012).

Dessa forma, a IA atua como ferramenta de apoio, ampliando o repertório criativo por meio da geração de combinações inovadoras de cores, formas e padrões com base em dados objetivos, mas sem eliminar a sensibilidade humana essencial ao processo. Exemplos desse uso já são observados em marcas internacionais como a Tommy Hilfiger, que desenvolveu coleções utilizando *insights* gerados por inteligência artificial em parceria com o IBM Watson, e a Stitch Fix, empresa americana que utiliza algoritmos para sugerir designs e estilizações personalizadas para seus clientes (Silva; Oliveira, 2022).

No cenário nacional, iniciativas ainda emergentes apontam para a integração da IA no suporte ao design, especialmente em marcas que buscam se posicionar de maneira inovadora diante das rápidas transformações do mercado. Portanto, o conceito de criação na era digital passa a incorporar uma dimensão híbrida, na qual a inspiração humana e a inteligência das máquinas se complementam para potencializar o desenvolvimento de produtos mais assertivos e alinhados às expectativas contemporâneas.

4.3.3. Modelagem

A modelagem no vestuário é o processo técnico responsável por transformar as ideias criativas em peças concretas, considerando aspectos como proporções, caimento e conforto. Segundo Treptow (2012), a modelagem é uma etapa crucial no desenvolvimento de produtos de moda, por ser ela quem define a estrutura das peças, garantindo que os conceitos criados pelos estilistas possam ser materializados de forma eficiente e funcional. A autora destaca que a modelagem deve considerar tanto as exigências estéticas do design quanto as necessidades de conforto e usabilidade do consumidor.

Nos dias atuais, a tecnologia revoluciona a prática de modelagem, especialmente com o uso de modelagem 3D e *softwares* de inteligência artificial, permitindo maior precisão no desenvolvimento das peças e tornando o processo mais ágil e menos sujeito a erros. A modelagem, portanto, não é apenas uma atividade técnica, mas um elo essencial entre a criatividade e a produção, que alinha a inovação estética às exigências do mercado.

O processo de modelagem pode ser realizada manualmente ou computadorizada, no entanto, exige conhecimento técnico e execução de vários testes físicos para validar esse desenvolvimento. O processo é trabalhoso e propenso a erros de ajuste, aumentando o tempo de produção. “A modelagem tradicional exige várias provas físicas e ajustes, o que torna o processo demorado e custoso” (Santos; Nascimento, 2020, p. 49).

A modelagem informatizada em três dimensões, assim como a modelagem manual, proporciona maior precisão ao molde, ao ser realizada considerando altura, largura e profundidade do corpo que irá utilizar aquele vestuário. Segundo Treptow (2012), a modelagem no vestuário é o processo técnico responsável por transformar as ideias criativas em uma forma física, garantindo que as peças de roupa possuam os ajustes necessários para se adequar ao corpo de quem as usará, considerando tanto os aspectos estéticos quanto as exigências de conforto.

Com o uso de *softwares* de modelagem 3D, como CLO 3D e TUKAtech, é possível simular o caimento da roupa em tempo real, otimizando medidas, matéria-prima e reduzindo o tempo de produção. Essa tecnologia não só aprimora a precisão do desenvolvimento de modelos, como também permite simulações que antes exigiriam a confecção de protótipos físicos, proporcionando agilidade no processo criativo e na correção de erros antes da produção final e etapas físicas. “A modelagem tridimensional permite visualização e ajustes imediatos, eliminando etapas intermediárias e reduzindo o ciclo de desenvolvimento” (Santos; Nascimento, 2020, p. 51).

No entanto, a tecnologia de modelagem 3D vem sendo adotada de forma gradual na indústria de vestuário, devido a fatores como o alto custo inicial de implementação, a complexidade dos *softwares* e a necessidade de uma mão de obra altamente especializada, que limitam a sua adoção em larga escala. Embora os *softwares* de modelagem bidimensional, como Audaces, Lectra, entre outros, ofereçam soluções eficazes, permitindo uma produção mais ágil e com custos reduzidos, a transição para a modelagem 3D ainda é um desafio para muitas empresas.

As plataformas bidimensionais, por sua vez, têm evoluído continuamente, incorporando ferramentas que promovem maior automação e velocidade na execução dos moldes, além de otimizar o uso de materiais e tempo de produção. Entretanto, é importante destacar que, mesmo com essas inovações, a prototipagem física continua sendo um passo essencial no processo de desenvolvimento. Após a criação do molde bidimensional, a confecção de um protótipo físico é fundamental para validar a modelagem, testar o caimento da peça e realizar ajustes necessários antes de iniciar a produção em grande escala. Dessa forma, a tecnologia, embora avançada, ainda precisa ser complementada com práticas tradicionais para garantir a qualidade e a funcionalidade das peças.

4.3.4 Pilotagem

A pilotagem ou prototipagem convencional requer a confecção de amostras físicas (pilotos), testadas e ajustadas manualmente. Isso consome tempo, matéria-prima e, conseqüentemente, aumenta os custos, especialmente em coleções com muitas peças. Para Miranda e Souza (2019, p. 64), “A produção de pilotos físicos representa um custo elevado e um dos pontos críticos para o tempo de lançamento no mercado”. Após a etapa de modelagem, um protótipo é confeccionado e testado em um modelo ou manequim de prova. Com base nessa análise, é realizada uma avaliação do caimento e do ajuste da peça, podendo resultar em aprovação ou na solicitação de ajustes. Caso seja necessário, um novo protótipo será desenvolvido e novamente avaliado até que o resultado final esteja aprovado para produção.

No entanto, com o uso da IA, a pilotagem digital, por meio de uma simulação 3D, permite a visualização realista da peça no corpo do usuário, com ajustes de tecido, estampa e movimento, antes da confecção física do produto. “A prototipagem virtual é uma alternativa sustentável, pois reduz significativamente o uso de tecido e o descarte de amostras” (Santos; Nascimento, 2020, p. 54).

Essa inovação representa uma mudança substancial nas etapas de desenvolvimento de produtos de moda, oferecendo uma solução interativa e mais sustentável. Contudo, ela também implica uma transformação na cultura produtiva do setor, exigindo uma adaptação por parte das empresas para integrar essas novas ferramentas digitais ao processo tradicional de criação e produção, o que pode envolver tanto desafios quanto novas oportunidades para a indústria.

4.3.5 Produção

A produção de vestuário depende tradicionalmente de previsões de demanda que, muitas vezes, são imprecisas, podendo acarretar superprodução, perdas financeiras e impactos ambientais. Miranda e Souza (2019) explicam que a imprecisão nas previsões de demanda resulta em altos níveis de estoque obsoleto, gerando

prejuízos significativos para as empresas de moda. Essa imprecisão pode levar as marcas a acumular produtos que não correspondem à real necessidade do mercado, aumentando custos e afetando negativamente a sustentabilidade da produção.

A inteligência artificial possibilita uma previsão mais acurada da demanda de produtos ao examinar extensos conjuntos de dados históricos, que incluem hábitos de consumo, vendas anteriores, tendências do mercado e dados em tempo real obtidos de plataformas digitais, redes sociais e interações dos consumidores. Utilizando algoritmos de aprendizado de máquina, a IA é capaz de reconhecer padrões frequentes nas preferências dos clientes e nas vendas de coleções passadas, adaptando, assim, as previsões de demanda de forma dinâmica. “A IA otimiza o planejamento produtivo ao antecipar padrões de consumo, promovendo uma produção mais enxuta e eficiente” (Silva; Oliveira, 2022, p. 115).

Isso não só reduz o risco de superprodução e o acúmulo de estoques obsoletos, mas também torna o processo mais eficiente ao identificar quais estilos, cores e tamanhos têm maior potencial de venda, com base no histórico de vendas e nas tendências emergentes. Dessa forma, a IA contribui para um planejamento mais enxuto, com a produção ajustada ao comportamento real dos consumidores, otimizando o uso de matérias-primas e reduzindo desperdícios.

4.4 FATORES QUE IMPEDEM A ADOÇÃO DA IA NO VESTUÁRIO

Embora a inteligência artificial (IA) tenha o potencial de revolucionar a indústria têxtil e de vestuário, sua adoção em larga escala ainda enfrenta diversos desafios, especialmente no contexto da realidade brasileira. As tecnologias emergentes oferecem soluções inovadoras para otimizar o desenvolvimento de produtos, reduzir desperdícios e melhorar a personalização, mas, apesar disso, muitos obstáculos limitam sua implementação por empresas de diferentes portes.

Esta seção visa analisar os principais fatores que dificultam a adoção generalizada da IA no setor de vestuário, abordando questões econômicas, estruturais, culturais e regulatórias. Ao compreender essas barreiras, é possível identificar estratégias para superar os desafios e avançar na transformação digital da cadeia produtiva têxtil.

A seguir, são apresentados os principais obstáculos enfrentados pelas empresas de vestuário para integrar soluções de IA em seus processos, com base em estudos e observações recentes sobre o tema. Cada desafio é explorado para destacar suas implicações no setor têxtil, além das dificuldades regulatórias, econômicas e culturais que precisam ser superadas para a IA poder alcançar seu potencial máximo:

a) Alto Custo de Implementação:

A adoção de inteligência artificial nas empresas de vestuário exige investimentos consideráveis, tanto em softwares especializados quanto em infraestrutura tecnológica e capacitação da equipe. Esses custos podem ser um obstáculo significativo, especialmente para pequenas e médias empresas (PMEs). O alto custo de aquisição de tecnologias de IA, aliado à necessidade de reestruturar processos internos, representa um desafio importante, dificultando a adoção da tecnologia, principalmente para as microempresas, que enfrentam maiores dificuldades financeiras.

As pequenas e médias empresas do setor têxtil muitas vezes não conseguem arcar com esses investimentos iniciais, limitando a adoção de soluções tecnológicas avançadas. Isso é especialmente problemático em um setor como o têxtil, que possui uma vasta rede de fornecedores e consumidores, onde a inovação tecnológica poderia representar uma vantagem competitiva significativa. Contudo, o custo elevado da implementação de IA pode ser um fator limitante, gerando uma desigualdade na adoção de tecnologias entre grandes e pequenas empresas (Silva; Oliveira, 2022). Para muitas dessas empresas, a adoção gradual ou o uso de tecnologias mais acessíveis pode ser a única forma de acompanhar a evolução digital do setor.

b) Falta de Capacitação e Conhecimento Técnico:

A escassez de profissionais qualificados para trabalhar com IA é outro obstáculo importante para a modernização do setor. A falta de mão de obra especializada e a resistência de gestores à adoção de novas tecnologias dificultam a implementação eficaz da IA nas empresas de vestuário. Muitos gestores não possuem uma visão clara de como a inteligência artificial pode ser aplicada em seus processos produtivos, gerando resistência e desconfiança em relação a esses novos sistemas. Isso resulta em uma adoção lenta e muitas vezes incompleta de tecnologias inovadoras, o que impede que o setor avance de maneira significativa.

A necessidade de um aumento na capacitação profissional e no entendimento sobre as vantagens da IA é um dos principais fatores para acelerar a digitalização da cadeia têxtil (Miranda; Souza, 2019). No entanto, não se trata apenas da falta de profissionais qualificados, mas também da resistência cultural nas organizações, onde muitos profissionais podem temer que a automação

substitua postos de trabalho. Esse medo pode ser atenuado por meio de programas de capacitação e de conscientização, que mostrem como a IA pode ser uma ferramenta de aprimoramento, e não de substituição, do trabalho humano.

c) Infraestrutura Tecnológica Limitada:

A adoção de IA também é dificultada pela infraestrutura tecnológica insuficiente em muitas empresas de vestuário. Para que sistemas de inteligência artificial funcionem de maneira eficiente, é essencial que as empresas possuam uma infraestrutura robusta que suporte a implementação de novas tecnologias. Contudo, muitas empresas, especialmente em regiões menos industrializadas, enfrentam dificuldades para investir em melhorias no sistema de TI, impedindo a integração de soluções de IA com os processos produtivos existentes. Sem uma estrutura tecnológica adequada, a empresa não consegue aproveitar plenamente os benefícios da IA, como a automação e a otimização dos processos de produção e gestão de estoque.

A falta de investimentos em infraestrutura tecnológica impede que as empresas acompanhem a evolução da Indústria 4.0 (Santos; Nascimento, 2020). Além disso, em muitos casos, a atualização da infraestrutura não é uma solução simples, já que envolve não apenas a compra de equipamentos, mas também a integração de sistemas novos com os antigos, o que pode gerar custos adicionais e desafios operacionais. Portanto, a falta de infraestrutura tecnológica eficaz representa um dos maiores obstáculos para a transformação digital do setor têxtil, exigindo investimentos substanciais e uma gestão estratégica a longo prazo.

d) Desconhecimento sobre Benefícios e Aplicações:

A falta de conhecimento sobre os benefícios e as aplicações práticas da IA é um fator importante que impede muitas empresas de vestuário de adotarem essas tecnologias. Embora a inteligência artificial tenha um enorme potencial para otimizar processos em diversas áreas, como design, produção e gestão de estoque, muitos empresários ainda veem a IA como algo distante ou exclusivo de grandes empresas. Isso ocorre porque muitos gestores não compreendem como a IA pode ser aplicada de forma prática e acessível em suas operações. A falta de informação e a percepção equivocada sobre o alto custo de implementação da IA resultam em uma subutilização dessa tecnologia, limitando as oportunidades de inovação e crescimento no setor têxtil.

Para superar esse desafio, é fundamental aumentar a conscientização sobre as vantagens práticas e acessíveis da IA (Mattos; Rodrigues, 2021). Um dos caminhos para superar esse obstáculo pode ser a promoção de mais eventos e treinamentos específicos sobre o uso da IA para empresas menores. Com o aumento do conhecimento, seria possível desmistificar o conceito de que a tecnologia é exclusivamente destinada a grandes corporações, promovendo uma maior democratização das ferramentas digitais e estimulando uma adoção mais ampla entre todos os segmentos do setor têxtil.

e) Fragmentação da Cadeia Produtiva:

A indústria têxtil brasileira enfrenta um desafio adicional devido à alta fragmentação de sua cadeia produtiva. O setor é composto por uma grande quantidade de pequenos fornecedores e produtores, dificultando a padronização de processos e a integração de dados entre as empresas. Para a IA ser aplicada eficientemente, é necessário haver uma integração entre os diferentes elos da cadeia, exigindo que as empresas adotem sistemas comuns de coleta e análise de dados. No entanto, a falta de colaboração e a dificuldade de padronização dificultam essa integração, reduzindo o impacto da IA na otimização da produção e da gestão de estoques.

A fragmentação da cadeia dificulta a implementação de sistemas de IA que exigem dados consolidados e processos uniformes (Castilho *et al.*, 2021). Essa falta de uniformidade não se limita apenas aos processos produtivos, mas também à gestão de fornecedores, que operam muitas vezes com diferentes tecnologias e sistemas, dificultando a troca eficiente de informações. Uma solução potencial seria a implementação de plataformas de integração que facilitem o compartilhamento de dados entre os fornecedores e a centralização das informações, criando uma rede de comunicação mais fluida no setor têxtil.

f) Desafios Regulatórios e Éticos:

Por fim, um grande obstáculo para a adoção de IA na indústria de vestuário são os desafios regulatórios e éticos. O uso de dados pessoais dos consumidores, especialmente em sistemas de recomendação e personalização de vestuário, levanta questões sobre privacidade e segurança. A falta de regulamentação clara sobre o uso ético desses dados dificulta a

implementação de soluções de IA no setor, uma vez que as empresas não têm diretrizes precisas sobre como lidar com a coleta e o processamento desses dados. Além disso, a ausência de normas específicas sobre o uso de dados pessoais no setor têxtil aumenta as preocupações com a proteção da privacidade dos consumidores, podendo resultar em restrições legais à implementação de IA.

A criação de um quadro regulatório claro e eficiente é essencial para garantir que as soluções de IA sejam utilizadas de maneira ética e segura (Silva; Oliveira, 2022). A regulamentação do uso de dados pessoais é, sem dúvida, uma questão fundamental não apenas para garantir a segurança dos consumidores, mas também para promover a confiança em tecnologias inovadoras. O estabelecimento de normas claras também pode criar um ambiente mais favorável para a inovação, no qual as empresas apliquem a IA sem o receio de violar os direitos dos consumidores.

A análise desses fatores descritos acima, que impedem a adoção ampla da Inteligência Artificial no setor de vestuário, revela uma série de desafios significativos tanto técnicos quanto organizacionais. A resistência à mudança, a falta de conhecimento especializado, a complexidade de integração de novas tecnologias com sistemas legados e o alto custo inicial são barreiras frequentemente encontradas pelas empresas no Brasil.

Contudo, a adoção de IA no desenvolvimento de vestuário oferece um vasto potencial para transformação, inovação e sustentabilidade no setor. Como descrito nas etapas de desenvolvimento do vestuário, que envolvem desde a pesquisa e desenvolvimento de design até a produção, a IA consegue otimizar cada uma dessas fases, proporcionando ganhos de eficiência, personalização e redução de custos. A implementação da IA nas diferentes etapas do processo pode promover uma verdadeira revolução na maneira como as empresas atuam, mas isso só será possível caso os desafios estruturais e culturais sejam superados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi analisar como a IA pode contribuir para o processo de criação de roupas na indústria do vestuário de moda.

A pesquisa foi orientada por objetivos específicos, como a descrição dos conceitos fundamentais da IA e a identificação de sua aplicação na indústria da moda, a análise dos processos tradicionais de criação de moda atualmente em uso, a avaliação de como a IA pode melhorar esses processos e a compreensão da viabilidade de sua adoção na indústria têxtil.

Ao longo deste estudo, foi possível constatar que a IA oferece uma série de vantagens no processo de criação de roupas, principalmente no que se refere à otimização de recursos, personalização em massa e aumento da eficiência na gestão de produção e estoque. Com o uso de algoritmos avançados, como aprendizado de máquina e análise de dados em grande escala (big data), a IA consegue prever tendências, ajustar modelos e até mesmo sugerir novos designs com base em dados históricos de vendas e comportamento dos consumidores. Essas tecnologias proporcionam uma abordagem mais assertiva e eficaz do que os processos tradicionais, que dependem muitas vezes de intuições e métodos empíricos.

Além disso, a pesquisa revelou que, apesar de as inúmeras possibilidades que a IA oferece, sua implementação ainda enfrenta desafios consideráveis, como o alto custo de aquisição de tecnologias, a escassez de profissionais qualificados, e a resistência cultural à adoção de novas soluções tecnológicas. A fragmentação da cadeia produtiva e as questões regulatórias e éticas relacionadas ao uso de dados pessoais também se mostram obstáculos relevantes. Esses fatores tornam a adoção de IA mais difícil, principalmente para pequenas e médias empresas do setor.

Em relação à viabilidade do uso da IA na moda, ficou claro que, embora o setor esteja em processo de transformação digital, a adoção completa dessa tecnologia dependerá de uma maior capacitação profissional, investimento em infraestrutura tecnológica e uma mudança de mentalidade por parte dos gestores. A IA tem o potencial de transformar significativamente a indústria têxtil, mas sua implementação bem-sucedida exigirá uma integração cuidadosa e planejada entre as tecnologias existentes e as novas ferramentas digitais.

Com base nos resultados desta pesquisa, um estudo futuro de grande relevância poderia focar na análise dos impactos sociais e econômicos da IA na indústria têxtil, especialmente em relação às pequenas empresas. Um estudo sobre como essas tecnologias podem ser democratizadas e adaptadas para empresas menores pode ser crucial para fomentar a inovação no setor sem criar disparidades significativas entre grandes e pequenas marcas. Além disso, um olhar mais atento sobre as implicações éticas do uso de IA, principalmente em relação à privacidade do consumidor e ao uso de dados pessoais, também deve ser considerado em pesquisas futuras para garantir que a inovação aconteça de forma responsável e sustentável.

REFERÊNCIAS

- ABIT – Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção. **Relatório da Indústria Têxtil Brasileira 2021**. São Paulo: ABIT, 2021.
- BREQUE, M.; DE NUL, L.; PEREZ, C. **Industry 5.0: Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry**. European Commission, 2021.
- CALDAS, Dario. **Observatório de sinais: teoria e prática da pesquisa de tendências**. São Paulo: Anhembi Morumbi, 2004.
- CARVALHO, J. P.; SOUZA, L. M. Automação e inovação no setor têxtil brasileiro: desafios e oportunidades. **Revista Brasileira de Indústria e Tecnologia**, v. 12, n. 1, p. 45-58, 2018.
- CASTILHO, L. A.; MARTINS, R. L.; TEIXEIRA, V. C. O uso da tecnologia no desenvolvimento de coleções de moda. **Revista Brasileira de Moda**, v. 9, n. 2, p. 75–89, 2021.
- CLO. **Modelagem 3D: A revolução digital na moda**. 2021. Disponível em: <https://www.clo3d.com/pt>. Acesso em: 27 abr. 2025.
- COSTA, M. A.; OLIVEIRA, R. L. A Indústria 5.0 e os desafios da manufatura avançada no Brasil. **Revista de Engenharia de Produção**, v. 19, n. 2, p. 75-89, 2023.
- DORNELAS, J. C. A.; CASTRO, F. C. **Inovação na cadeia de suprimentos: estratégias e tecnologias para vantagem competitiva**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2020.
- FERREIRA, L. M.; NASCIMENTO, T. A. Aplicações de Inteligência Artificial na Cadeia de Moda: desafios e oportunidades no mercado brasileiro. **Revista Brasileira de Moda e Tecnologia**, v. 12, n. 1, p. 45-60, 2023.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.
- GOODFELLOW, I.; BENGIO, Y.; COURVILLE, A. **Deep Learning**. MIT Press, 2016.
- GOMES, A. P.; MOREIRA, L. F. Design de Moda: inovação, criação e cultura. **Revista Interfaces Científicas – Design**, v. 6, n. 1, p. 94–106, 2018.
- GUITARRARA, Paloma. **Inteligência artificial**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/informatica/inteligencia-artificial.htm#Resumo+sobre+intelig%C3%A2ncia+artificial>. Acesso em: 22 fev. 2025.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2019.
- LIMA, C. A. O desenvolvimento da indústria têxtil no Brasil: uma perspectiva histórica. **Revista Brasileira de Economia**, v. 69, n. 4, p. 621-640, 2015.
- MARTINS, P. R.; FERREIRA, T. S. Transformação digital na indústria têxtil: um estudo sobre a adoção da Indústria 4.0 no Brasil. **Revista de Gestão Industrial**, v. 18, n. 3, p. 98-112, 2022.
- MINAYO, M. C. S. **O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde**. 14. ed. São Paulo: Hucitec, 2012.
- MATTOS, F. A.; RODRIGUES, C. S. Inteligência Artificial na Indústria 4.0: Aplicações no setor têxtil e de confecção. **Cadernos de Inovação e Tecnologia**, v. 15, n. 1, p. 133–147, 2021.
- MICROSOFT. **Fashable reimagina o futuro do design de moda com Azure Machine Learning e PyTorch**. 2022.

Disponível em:

<https://pulse.microsoft.com/pt-pt/transform-pt-pt/na/fa2-a-fashable-reimagina-o-futuro-do-design-de-moda-com-o-azure-machine-learning-e-pytorch>.

Acesso em: 27 abr. 2025.

MIRANDA, J. A.; SOUZA, L. M. Sustentabilidade e ineficiência na cadeia da moda: desafios para a indústria têxtil brasileira. **Revista Economia e Desenvolvimento**, v. 18, n. 2, p. 55–72, 2019.

MOURA, G. R.; BARBOSA, L. C. Transformações digitais na indústria da moda: perspectivas e desafios para a inovação tecnológica. **Revista de Administração e Inovação**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 23-40, 2020.

NUNES, R. M. Inteligência Artificial e a Transformação Digital na Indústria Têxtil Brasileira. **Revista Gestão Têxtil e Moda**, v. 8, n. 2, p. 22-35, 2025.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. **Artificial Intelligence: A Modern Approach**. 4th ed. Pearson, 2021.

SAMPAIO, C. H.; PERIN, M. G. **Comportamento do consumidor: conceitos e aplicações à gestão de marketing**. São Paulo: Atlas, 2019.

SANTOS, A. C.; GOMES, D. R. A Indústria 4.0 no Setor Têxtil e de Confecção: impactos e perspectivas no Brasil. **Caderno de Ciências Sociais Aplicadas**, v. 19, n. 3, p. 101-117, 2021.

SANTOS, F. R.; RIBEIRO, J. P. A evolução da indústria têxtil e suas transformações tecnológicas ao longo dos séculos. **Revista de História Econômica**, v. 14, n. 2, p. 201-219, 2019.

SANTOS, T. A.; NASCIMENTO, D. A. A modelagem tridimensional como ferramenta de inovação na moda. **Revista de Design, Tecnologia e Sociedade**, v. 13, n. 1, p. 45–60, 2020.

SCHWAB, K. **The Fourth Industrial Revolution**. World Economic Forum, 2016.

SGASoft. **Transforme seus negócios com análise preditiva na indústria da moda**. 2021. Disponível em: <https://sgasoft.com.br/transforme-seus-negocios-com-analise-preditiva-na-industria-da-moda>. Acesso em: 27 abr. 2025.

SILVA, D. A.; GONÇALVES, E. M. Industrialização brasileira e o papel do setor têxtil: uma abordagem histórica. **Estudos Econômicos**, v. 50, n. 1, p. 99-117, 2020.

SILVA, M. J.; OLIVEIRA, P. R. Moda e Inteligência Artificial: um panorama das tecnologias emergentes no design e na produção de vestuário. **Revista Brasileira de Design da Moda**, v. 9, n. 2, p. 78-92, 2022.

SILVA, R. T.; OLIVEIRA, M. S. **Tecnologias digitais aplicadas à gestão da moda**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2022.

SOUZA, A. **A personalização da moda: como os algoritmos de recomendação estão mudando o mercado**. 2020. Disponível em: <https://periodicos.udesc.br/index.php/ensinarmode/article/download/25085/17044>. Acesso em: 27 abr. 2025

SOUZA, A. C.; ANDRADE, G. H. O impacto da digitalização no setor têxtil e a sustentabilidade na produção de moda no Brasil. **Cadernos de Moda e Tecnologia**, v. 7, n. 1, p. 55-70, 2021.

TIGRE, Paulo Bastos. **Gestão da inovação: a economia da tecnologia no Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

TREPTOW, Doris. **Desenvolvimento de Produto de Moda: Planejamento, criação e desenvolvimento de coleção**. 2. ed. São Paulo: Estação das Letras e Cores, 2012.

TURING, A. **Computing Machinery and Intelligence**. *Mind*, v. 59, n. 236, p. 433-460, 1950.

A APRENDIZAGEM BASEADA EM TAREFAS (TBL) NA FORMAÇÃO DOCENTE: UMA EXPERIÊNCIA NO ESTÁGIO SUPERVISIONADO EM TECNOLOGIAS EDUCACIONAIS

*TASK-BASED LEARNING IN THE TRAINING OF TEACHERS: A CASE STUDY
FROM THE SUPERVISED INTERNSHIP IN EDUCATIONAL TECHNOLOGIES*

Fábio Júlio Pereira Briks¹

Juliana Pedroso Bruns²

RESUMO: Este artigo analisa a aplicação da abordagem aprendizagem baseada em tarefas (TBL, do inglês *Task-Based Learning*) na disciplina de Estágio Supervisionado I, do curso de Tecnologias Educacionais da UNIFEBE. Com base em uma Unidade Didática composta por cinco tarefas, os estudantes desenvolveram, em trios (ou uma dupla), um projeto de intervenção para organizar sistematicamente todo o semestre da disciplina, incluindo as suas atuações nas escolas-campo. O projeto contemplava a fundamentação teórica, o planejamento das atividades, as datas para aulas simuladas, a regência, a entrega do trabalho final (coletânea dos materiais produzidos) e a realização do seminário. A adoção da TBL como eixo metodológico buscou tornar o estágio um espaço de prática formativa ativa, colaborativa e crítica, em consonância com as diretrizes nacionais para a formação docente. As tecnologias digitais foram utilizadas de forma transversal, tanto nas propostas para a escola quanto nas práticas da própria disciplina, favorecendo a coerência entre o que se vivenciava e o que se planejava. Os resultados demonstraram que os acadêmicos conseguiram elaborar projetos viáveis e teoricamente fundamentados, fortalecendo competências, como o planejamento didático, a integração crítica de tecnologias e a organização do trabalho docente. Conclui-se que a articulação entre TBL, tecnologias digitais e experiências reais de ensino contribui significativamente para a formação inicial de professores reflexivos, autônomos e comprometidos com a qualidade da educação.

Palavras-chave: aprendizagem baseada em tarefas; estágio supervisionado; tecnologias digitais; formação docente; educação básica.

ABSTRACT: *This article analyzes the implementation of the Task-Based Learning (TBL) approach in the Course Estágio Supervisionado I, part of the undergraduate Educational Technologies program at Centro Universitário de Brusque (UNIFEBE), Brazil. Structured around a Didactic Unit composed of five tasks, students worked in trios (or pairs) to develop a single pedagogical project aimed at organizing the entire semester of the course, including their teaching activities in partner schools. The project included theoretical grounding, planning of activities, scheduling of simulated lessons, teaching practice, submission of a final portfolio (comprising all materials produced), and participation in a seminar. The adoption of TBL as the methodological framework aimed to transform the internship into a space of active, collaborative, and critical training, aligning with national guidelines for teacher education. We used Digital*

¹ Doutor em Estudos da Tradução pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Docente no Centro Universitário de Brusque - UNIFEBE. *E-mail:* fabiojulio@unifebe.edu.br

² Doutora em Educação pela Universidade Regional de Blumenau (FURB). Docente no Centro Universitário de Brusque – UNIFEBE. *E-mail:* juliana.bruns@unifebe.edu.br

technologies transversally — both in the students' proposals and in the instructional design of the course itself — ensuring coherence between what we taught and what we practiced. The results showed that students were able to develop theoretically grounded and feasible projects, strengthening competencies such as didactic planning, critical integration of technologies, and educational organization. We concluded that integrating TBL, digital technologies, and real-world teaching experiences significantly enhances the initial training of reflective, autonomous, and dedicated teachers

Keywords: *task-based learning; supervised internship; digital technologies; teacher education; primary education.*

1 INTRODUÇÃO

O estágio como práxis exige ser necessariamente construído como uma ação pedagógica cuja finalidade é promover a formação dos professores, seja a formação dos estudantes dos cursos de licenciatura, ou dos professores da Educação Básica, e, assim, contribuir para a aprendizagem dos alunos das escolas básicas. Por essa perspectiva, o estágio, por meio de práticas pedagógicas crítico-colaborativas, poderá contribuir para a transformação do agir em sala de aula, fomentando, inclusive, diferentes modos de agir e recriar situações no contexto escolar de Educação Básica.

Sob essa ótica, infere-se que o estágio supervisionado é formativo, já que possibilita ao futuro professor desenvolver a sua identidade docente, uma vez que é na formação inicial que ocorre o momento formal de consolidação dessa identidade, a qual se estende ao longo de todo o percurso profissional do professor (Garcia, 2010).

Vale destacar que “a identidade profissional é um processo evolutivo de interpretação e reinterpretação de experiências, uma noção que se corresponde com a ideia de que o desenvolvimento do professorado nunca se detém e que se entende como uma aprendizagem ao longo da vida” (Garcia, 2010, p. 19).

Dessa forma, com base na compreensão de que o estágio deve possibilitar a práxis docente (Pimenta; Lima, 2006), elucidamos que no curso de Tecnologias Educacionais do Centro Universitário de Brusque (UNIFE), a disciplina Estágio Supervisionado I foi estruturada a partir de uma proposta inovadora, a qual possibilitou a articulação da teoria apreendida nos diferentes componentes curriculares, culminando, posteriormente, na ação docente no campo de estágio.

Sob essa ótica, o Estágio Supervisionado do referido curso assume características particulares. Por se tratar de um curso que articula tecnologia e educação, o estágio não se restringe à observação da realidade escolar e à replicação de práticas pedagógicas. Ao contrário, estimula os acadêmicos a planejar, executar e avaliar intervenções inovadoras, fundamentadas teoricamente e

mediadas por tecnologias digitais. Essa ênfase torna-se ainda mais relevante no cenário pós-pandêmico, no qual as competências digitais se consolidaram como dimensões fundamentais do trabalho docente.

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC), na sua introdução, ressalta a importância das tecnologias digitais para o desenvolvimento pleno dos estudantes: “É fundamental garantir que todos os estudantes desenvolvam competências específicas para lidar com as tecnologias digitais de forma crítica, significativa e ética, como condição para inserção ativa na sociedade contemporânea” (Brasil, 2018, p. 8).

Essa perspectiva demanda que os cursos de licenciatura formem professores não apenas capazes de utilizar ferramentas tecnológicas, mas que saibam integrá-las de modo intencional, ético e pedagógico às propostas de ensino. A disciplina Estágio Supervisionado I, ofertada no quinto semestre do curso, responde a essa demanda ao propor uma estrutura formativa baseada na elaboração e desenvolvimento de um projeto de intervenção que organiza sistematicamente todo o semestre.

Diferentemente de propostas fragmentadas ou centradas em aulas expositivas, a organização da disciplina foi fundamentada na abordagem da aprendizagem baseada em tarefas (TBL, do inglês *Task-Based Learning*), que prevê a realização de tarefas autênticas, progressivas e interdependentes. Essa abordagem metodológica permitiu aos acadêmicos refletirem sobre o Ensino Fundamental, analisarem teorias da aprendizagem, estudarem tecnologias educacionais, diagnosticarem a escola-campo e, por fim, planejarem todas as etapas da atuação docente, desde as aulas simuladas até a apresentação do seminário final.

A construção do projeto único não se restringiu à elaboração de um documento pontual. Ao contrário, tratou-se de um plano articulador de toda a vivência no semestre: nele constavam a fundamentação teórica, os objetivos gerais e específicos, o cronograma detalhado de cada etapa — como confecção dos planos de aula, simulações, datas de regência, produção da coletânea final e organização do seminário —, além da metodologia e das referências. O projeto funcionou, portanto, como eixo integrador da disciplina, orientando todas as atividades e decisões pedagógicas ao longo dos encontros.

Ao promover uma proposta formativa desse tipo, a disciplina contrapõe-se ao modelo tradicional de estágio que, segundo Hernández (1998), muitas vezes se limita à reprodução de práticas escolares já consolidadas, sem espaço para experimentação, autoria ou problematização. A proposta aqui analisada assume o estágio como campo de investigação, criação e protagonismo docente, em consonância com as exigências de uma educação comprometida com a transformação social.

Diante disso, o presente artigo tem como objetivo analisar essa experiência formativa a partir dos fundamentos teóricos que a sustentam, da organização metodológica empregada e dos resultados obtidos a partir da elaboração e aplicação do projeto de intervenção. Defende-se que a integração entre a aprendizagem baseada em tarefas, o uso significativo das tecnologias digitais e o planejamento pedagógico real representa um caminho promissor para a formação inicial de professores autônomos, criativos e comprometidos com a qualidade social da educação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção apresenta os principais fundamentos que sustentam a proposta didático-pedagógica da disciplina Estágio Supervisionado I. A organização está estruturada em cinco eixos articulados: (i) a aprendizagem baseada em tarefas como metodologia ativa; (ii) o papel das tecnologias digitais na formação docente; (iii) o conceito de Unidade Didática como estrutura organizadora do ensino; (iv) as competências profissionais exigidas dos futuros professores conforme as diretrizes nacionais; e (v) as contribuições da aprendizagem significativa e do ensino por projetos como elementos estruturantes do processo formativo

2.1 A APRENDIZAGEM BASEADA EM TAREFAS NA FORMAÇÃO DOCENTE

A TBL é uma abordagem metodológica que organiza o processo de ensino e aprendizagem por meio da realização de tarefas autênticas, situadas e com objetivos definidos. Embora a sua origem esteja associada ao ensino de línguas estrangeiras (Willis, 1996; Ellis, 2003), a sua aplicação vem sendo ampliada para outros contextos educacionais, especialmente na educação superior e na formação de professores (Nunan, 2004).

A TBL estrutura-se em três momentos principais: *pre-task*, quando se apresenta o problema ou desafio; *task*, que envolve a realização da tarefa com base em dados e conhecimentos prévios; e *post-task*, em que se realiza uma análise crítica dos resultados, com possibilidade de revisão, argumentação e aperfeiçoamento da produção. Essa sequência não apenas favorece o desenvolvimento cognitivo, mas também estimula a colaboração, a autoria e a tomada de decisões pedagógicas fundamentadas.

No caso da disciplina analisada, a abordagem baseada em tarefas permitiu que os acadêmicos se envolvessem ativamente na construção do conhecimento, planejando as suas ações com base em situações reais da escola, de forma progressiva, integrada e reflexiva.

2.2 TECNOLOGIAS EDUCACIONAIS E O ESTÁGIO SUPERVISIONADO

As tecnologias digitais assumem um papel estruturante na educação contemporânea, não apenas como ferramentas complementares, mas como linguagens, ambientes e recursos que transformam as práticas pedagógicas, o ensino e a aprendizagem, as formas de comunicação e os processos de construção do conhecimento. Para Kenski (2012), “as tecnologias digitais, ao ampliarem os modos de acesso à informação, impõem aos sujeitos novos modos de pensar, agir e aprender”. A sua integração ao cotidiano escolar exige professores capazes de selecionar, adaptar e utilizar esses recursos com intencionalidade pedagógica e criticidade.

Essas novas maneiras de compreender o ensino e a aprendizagem na educação contemporânea, de acordo com Valente (2005), passam pela utilização de metodologias ativas, relacionadas com práticas pedagógicas nas quais os estudantes se tornam protagonistas do seu próprio processo de aprendizagem. Dessa forma, essas metodologias buscam criar situações de aprendizagem que incentivam os estudantes a agir, refletir sobre o que fazem, conceituar as suas ações e construir conhecimentos acerca dos conteúdos envolvidos nas atividades que realizam.

A disciplina Estágio Supervisionado I foi planejada para que os acadêmicos não apenas incluíssem tecnologias digitais nas suas intervenções nas escolas, mas também vivenciassem, ao longo do semestre, experiências de aprendizagem mediadas por recursos digitais. Plataformas de edição colaborativa, ambientes virtuais de aprendizagem, ferramentas de produção audiovisual e sistemas de organização de tarefas foram utilizados na própria disciplina, tornando o uso das tecnologias uma prática pedagógica incorporada à formação e não um conteúdo isolado.

O uso das tecnologias, nesse contexto, assume duas dimensões complementares: como meio para ampliar possibilidades didáticas e como objeto de reflexão crítica, considerando os seus impactos socioculturais, éticos e formativos.

2.3 UNIDADE DIDÁTICA COMO ESTRUTURA PEDAGÓGICA

A Unidade Didática (UD) é uma forma de organizar o ensino a partir de uma sequência lógica, progressiva e interligada de atividades que buscam desenvolver competências específicas em determinado período. Para Hurtado Albir (2015), a UD

é um instrumento que favorece o planejamento pedagógico, ao estruturar os conteúdos, os objetivos, os critérios de avaliação e as metodologias de forma integrada. No campo da educação básica, Damis (2006) e Carvalho (1962) defendem que a UD deve considerar as dimensões lógica, psicológica e contextual do ensino, promovendo uma aprendizagem significativa e contextualizada.

Na proposta analisada, a disciplina foi organizada como uma Unidade Didática composta por cinco tarefas interdependentes. Cada uma delas constituiu um passo no processo de construção do projeto de intervenção que organizaria todo o semestre letivo do estágio. Essa organização permitiu que os estudantes compreendessem a lógica interna do processo pedagógico e desenvolvessem gradualmente autonomia para planejar, fundamentar, executar e avaliar a sua própria prática.

2.4 UNIDADE DIDÁTICA COMO ESTRUTURA PEDAGÓGICA

As Diretrizes Curriculares Nacionais para os cursos de licenciatura, estabelecidas pela Resolução CNE/CP n.º 2/2015, orientam que a formação docente deve garantir o desenvolvimento de competências que articulem domínio de conteúdo, didática, gestão de sala de aula e compromisso ético com a aprendizagem dos estudantes. O artigo 3.º da Resolução afirma:

As Diretrizes Curriculares Nacionais para a formação inicial em nível superior dos profissionais do magistério da Educação Básica [...] têm por objetivo assegurar uma formação sólida, articulando teoria e prática, com base em princípios éticos, políticos e estéticos que sustentam a educação nacional. (Brasil, 2015, p. 2).

De forma alinhada, a Base Nacional Comum para a Formação de Professores da Educação Básica (BNC-Formação), de 2019, determina que os professores devem ser capazes de planejar, implementar e avaliar propostas pedagógicas com base em evidências, integrando o uso crítico e criativo das tecnologias digitais.

A experiência descrita neste artigo demonstrou que a estruturação da disciplina em torno de um único projeto articulador do semestre contribuiu diretamente para o desenvolvimento de competências como:

- Planejamento didático de longo prazo;
- Tomada de decisões pedagógicas embasadas teoricamente;
- Articulação entre diferentes etapas formativas;
- Uso intencional de recursos tecnológicos;
- Trabalho em equipe, comunicação e colaboração.

2.5 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E ENSINO POR PROJETOS

A estrutura da disciplina também dialoga com os princípios da aprendizagem significativa, conforme proposto por Ausubel (1963). Segundo o autor, o aprendizado torna-se significativo quando o novo conhecimento é relacionado, de maneira não arbitrária, com aquilo que o aprendiz já sabe. No caso dos futuros professores, isso significa construir novos conhecimentos pedagógicos por meio da relação com a sua vivência escolar, a sua trajetória acadêmica e as demandas concretas da sala de aula.

Zabala e Arnau (2010) afirmam que o ensino por competências exige propostas de aprendizagem que sejam contextualizadas, complexas, abertas e integradoras. É nesse sentido que a metodologia da aprendizagem baseada em tarefas e o desenvolvimento de um projeto de intervenção assumem relevância, pois promovem um processo formativo ancorado na resolução de problemas, na pesquisa e na autoria docente.

Hernández (1998), ao defender os projetos de trabalho como estratégia para a transformação das práticas escolares, argumenta que os projetos criam situações de aprendizagem mais próximas da realidade e da complexidade da vida. A disciplina Estágio Supervisionado I, ao adotar essa lógica, contribuiu para que os acadêmicos deixassem de ser apenas aprendizes de técnicas pedagógicas e passassem a ser sujeitos do seu processo de formação, com voz, autoria e responsabilidade sobre o que planejam e realizam.

3 METODOLOGIA

Este estudo se caracterizou como uma pesquisa qualitativa de caráter descritivo-interpretativo, com elementos quantitativos complementares. A investigação foi conduzida com base na análise do processo formativo desenvolvido na disciplina Estágio Supervisionado I, ofertada no segundo semestre de 2024 para uma turma do quinto semestre do curso de Tecnologias Educacionais do Centro Universitário de Brusque (UNIFE). Participaram da disciplina 23 acadêmicos, organizados em sete trios e uma dupla, totalizando oito grupos de trabalho.

A disciplina foi ministrada de forma presencial, com encontros semanais de três horas e meia de duração. Os conteúdos foram organizados fundamentado na abordagem da TBL, estruturada como uma UD composta por cinco tarefas sequenciais e interdependentes. A metodologia adotada tinha como objetivo conduzir os acadêmicos à elaboração de um projeto único, responsável por organizar sistematicamente todo o semestre letivo da disciplina, desde a fundamentação teórica até a socialização final da experiência.

3.1 ESTRUTURA DAS TAREFAS

As tarefas propostas ao longo da disciplina foram:

- **Tarefa 1 – Produção de texto dissertativo sobre o Ensino Fundamental:** leitura de documentos oficiais e textos teóricos, seguida de produção escrita em que os acadêmicos refletiam sobre os desafios e especificidades do trabalho com crianças nos anos iniciais da escolarização.
- **Tarefa 2 – Estudo sobre ensino e aprendizagem:** leitura e análise comparativa de conceitos desenvolvidos por autores como Piaget, Vygotsky, Ausubel e Zabala, com sistematização dos principais pressupostos teóricos de cada autor em um quadro comparativo.
- **Tarefa 3 – Levantamento e análise de tecnologias educacionais:** os acadêmicos realizaram uma pesquisa sobre recursos digitais aplicáveis à educação básica, categorizando-os por área de conhecimento, faixa etária e objetivo pedagógico.
- **Tarefa 4 – Elaboração do projeto de intervenção:** planejamento completo do semestre, incluindo: (i) tema e justificativa; (ii) objetivos gerais e específicos; (iii) fundamentação teórica; (iv) metodologia; (v) cronograma de todas as etapas do semestre (aulas simuladas, regência, trabalho final e seminário); e (vi) referências.
- **Tarefa de campo – Diagnóstico da escola-campo:** análise do Projeto Político-Pedagógico da escola, observação das turmas e identificação de possibilidades de articulação com o projeto elaborado.

A sequência de tarefas foi concebida com intencionalidade pedagógica, de modo que cada etapa servisse como base para a construção da etapa seguinte, até a consolidação do projeto final.

3.2 USO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS NA DISCIPLINA

Ao longo da disciplina, os estudantes utilizaram diferentes ferramentas digitais como parte integrante do processo formativo. Dentre os recursos empregados, destacam-se:

- **Google Docs** – para produção escrita colaborativa e acompanhamento em tempo real;
- **Google Drive** – para organização de materiais e compartilhamento de referências;
- **Canva** – para elaboração de apresentações visuais e planos de aula;

- **Formulários *on-line*** – para autoavaliação e avaliação entre pares;
- **Ambiente virtual institucional (AVA)** – para registro das atividades e comunicação com os professores.

Essas ferramentas foram utilizadas não apenas como suporte técnico, mas como recursos didáticos que os acadêmicos também poderiam aplicar nas futuras práticas escolares, promovendo uma coerência metodológica entre o que vivenciavam como estudantes e o que propunham como futuros professores.

3.3 AVALIAÇÃO DOS PROJETOS

O projeto final foi avaliado com base nos seguintes critérios:

- Coerência entre objetivos, fundamentação e metodologia;
- Clareza na organização do cronograma e nas etapas do plano de ação;
- Qualidade da redação e domínio da norma culta;
- Uso adequado de referências teóricas e formatação conforme ABNT;
- Integração efetiva de tecnologias digitais ao planejamento;
- Viabilidade da proposta no contexto escolar.

Cada grupo recebeu uma nota de 0 a 10, atribuída após correção conjunta dos docentes da disciplina. Posteriormente, os dados quantitativos foram organizados em planilha para cálculo da média e do desvio padrão, com o intuito de verificar a homogeneidade no desempenho dos grupos.

3.4 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados analisados nesta pesquisa provêm dos projetos elaborados pelos acadêmicos, dos registros das tarefas intermediárias e das notas atribuídas aos trabalhos finais. A abordagem qualitativa foi adotada para identificar padrões, dificuldades recorrentes, estratégias desenvolvidas pelos grupos e coerência na aplicação dos conceitos teóricos ao planejamento.

Complementarmente, foram utilizados procedimentos estatísticos simples (média e desvio padrão) com o intuito de quantificar a distribuição das notas e observar a consistência geral dos desempenhos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise dos projetos finais e das tarefas intermediárias revelou que a maioria dos acadêmicos conseguiu integrar, de forma coerente, os elementos teóricos, metodológicos e práticos previstos na proposta da disciplina. As notas atribuídas aos oito grupos indicaram uma média geral de 7,83, com desvio padrão⁵ de 0,37, evidenciando baixa dispersão entre os resultados e um desempenho relativamente homogêneo entre os participantes.

Os projetos apresentaram estrutura clara, com objetivos bem definidos, fundamentação teórica consistente e cronogramas viáveis. Em geral, os acadêmicos demonstraram compreensão da lógica do planejamento de médio prazo e conseguiram propor intervenções adequadas ao contexto das escolas-campo. Além disso, os planos continham sugestões criativas de uso de tecnologias digitais nas atividades didáticas, de forma coerente com a proposta do curso.

A realização das tarefas em sequência – da análise teórica à atuação prática – contribuiu para o desenvolvimento de competências que dificilmente seriam consolidadas em propostas desarticuladas. Observou-se, ainda, que o fato de os acadêmicos saberem que o projeto serviria de guia para o semestre inteiro favoreceu o comprometimento, a organização e a reflexão crítica durante o processo.

4.1 EXEMPLOS DE PROJETOS DESENVOLVIDOS

A seguir, destacam-se seis exemplos de projetos elaborados pelos grupos, evidenciando a diversidade de temas, metodologias e recursos tecnológicos integrados às propostas:

- **Grupo 1 – Aplicativo de alfabetização interativa:** sequência de atividades com o app “Ler e Contar”, direcionada a alunos do 1.º ano, com foco no reconhecimento de sílabas e palavras. Avaliação por meio de portfólios e observação direta.
- **Grupo 2 – Jogo de tabuleiro digital sobre geografia local:** criação de um jogo interativo sobre o município, explorando mapas, pontos turísticos e dados históricos, com o uso da ferramenta Wordwall.
- **Grupo 3 – Quiz ambiental com Kahoot:** sequência didática sobre reciclagem e consumo consciente para alunos do 3.º ano, encerrando com um quiz digital e exposição de cartazes.

⁵ O desvio padrão é uma medida estatística que expressa o grau de dispersão dos dados em relação à média. Um valor baixo, como neste caso, indica que as notas ficaram próximas entre si.

- **Grupo 4 – Podcast sobre alimentação saudável:** alunos do 2.º ano gravaram áudios com dicas nutricionais. Os arquivos foram enviados às famílias via WhatsApp da escola, promovendo integração entre escola e comunidade.
- **Grupo 5 – Vídeos tutoriais de matemática:** produção de vídeos curtos explicativos com QR Codes colados nos cadernos dos alunos, abordando operações básicas de adição e subtração.
- **Grupo 6 – Histórias em quadrinhos no Canva:** estudantes do 4.º ano criaram HQs digitais com base em temas estudados. O objetivo foi integrar linguagem verbal e visual, incentivando a autoria dos alunos.

Esses projetos demonstram a capacidade de os acadêmicos integrar diferentes linguagens, tecnologias e metodologias ao planejamento didático, com intencionalidade pedagógica e respeito ao contexto das turmas.

4.2 DIFICULDADES OBSERVADAS DURANTE O PROCESSO

Apesar dos resultados positivos, algumas dificuldades foram identificadas ao longo do processo formativo. A primeira delas refere-se à definição de objetivos específicos nos projetos. Muitos grupos apresentaram inicialmente objetivos genéricos, como “melhorar a aprendizagem dos alunos”, sem indicar com precisão o conteúdo, o método ou o resultado esperado. Esse aspecto foi corrigido com mediação docente e revisão entre pares.

Outra dificuldade frequente foi a fragilidade argumentativa na fundamentação teórica. Em diversos momentos, os textos careciam de articulação entre autores, conceitos e a proposta pedagógica. Essa limitação, recorrente na formação inicial, evidencia a necessidade de trabalhar continuamente a leitura crítica e a escrita acadêmica nos cursos de licenciatura.

Também se observou que alguns grupos superestimaram a viabilidade de certas atividades tecnológicas, propondo o uso de recursos digitais indisponíveis ou pouco acessíveis na escola-campo. Isso gerou replanejamentos e adaptações, que foram bem conduzidos, mas revelaram a importância de um diagnóstico mais aprofundado do contexto escolar.

Por fim, a gestão do tempo e a divisão de tarefas entre os membros do grupo também representaram desafios para alguns estudantes. A necessidade de conciliar produção teórica, organização prática e comunicação entre pares exigiu maturidade, autonomia e cooperação – competências ainda em processo de consolidação na formação inicial.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A experiência formativa analisada neste artigo evidenciou o potencial da abordagem da TBL como eixo estruturante da disciplina Estágio Supervisionado I no curso de Tecnologias Educacionais da UNIFE. A organização da disciplina em torno de um único projeto articulador, desenvolvido ao longo de cinco tarefas interdependentes, possibilitou que os acadêmicos vivenciassem um processo de formação coerente, progressivo e contextualizado.

Os resultados obtidos, tanto quantitativos quanto qualitativos, demonstram que os estudantes foram capazes de elaborar projetos didáticos fundamentados, organizados e viáveis, articulando teorias da aprendizagem, tecnologias educacionais e práticas pedagógicas ajustadas ao contexto das escolas-campo. A proposta contribuiu para o fortalecimento de competências como o planejamento didático, a escrita acadêmica, o trabalho colaborativo e o uso intencional de tecnologias digitais.

Ao assumir o projeto como eixo organizador do semestre, a disciplina proporcionou um modelo formativo mais próximo do que se espera da prática docente: um trabalho que demanda pesquisa, adaptação, fundamentação e compromisso com o processo de aprendizagem. Ao longo do semestre, os acadêmicos deixaram de ser apenas executores de tarefas e passaram a ser autores de um planejamento global, o que gerou envolvimento mais profundo e desenvolvimento da autonomia profissional.

Embora tenha havido dificuldades – especialmente relacionadas à precisão na escrita de objetivos e à fundamentação teórica – tais desafios são esperados na formação inicial e indicam aspectos que devem ser continuamente trabalhados ao longo do curso.

5.1 IMPLICAÇÕES PARA A FORMAÇÃO DOCENTE

A experiência relatada aponta para algumas implicações importantes no campo da formação de professores. Primeiramente, evidencia-se a necessidade de que o estágio supervisionado seja compreendido não apenas como espaço de prática, mas como espaço de autoria e reflexão docente. A elaboração de um projeto articulador do semestre favorece a visão do professor como sujeito que planeja com base em dados, contextos e princípios pedagógicos, e não como mero executor de planos alheios.

Em segundo lugar, a integração efetiva das tecnologias digitais, tanto na vivência da disciplina quanto nas propostas para as escolas, mostra que é possível construir experiências formativas coerentes com a realidade escolar contemporânea. Não se trata de “ensinar tecnologia”, mas de formar sujeitos capazes de pensar e usar a tecnologia a serviço da aprendizagem.

Além disso, ao organizar a formação a partir da resolução de problemas reais e da elaboração de propostas completas de intervenção, a disciplina contribuiu para consolidar uma identidade docente crítica, colaborativa e criativa. Isso está em sintonia com as diretrizes da BNC-Formação (2019) e com as expectativas sociais contemporâneas em relação à atuação do professor.

Finalmente, a experiência também suscita reflexões institucionais: como ampliar esse modelo para outras disciplinas de estágio? Como transformá-lo em política de formação institucional, e não apenas em uma boa prática isolada? Tais questões permanecem em aberto, mas o caminho trilhado neste semestre aponta que mudanças metodológicas e curriculares são possíveis, desde que haja intencionalidade, acompanhamento e abertura à inovação.

6 CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS COMPLEMENTARES

A estruturação da disciplina Estágio Supervisionado I por meio da TBL revelou-se metodologicamente consistente com os princípios do curso de Tecnologias Educacionais e com os desafios contemporâneos da formação docente. Ao adotar uma Unidade Didática composta por tarefas interdependentes, a proposta rompeu com a lógica fragmentada de conteúdos e proporcionou aos acadêmicos um percurso formativo coerente, no qual cada atividade se conectava a um objetivo maior: a elaboração de um projeto completo e aplicável de organização do semestre.

Do ponto de vista da mediação docente, o uso da TBL exigiu uma postura ativa por parte dos professores da disciplina, que precisaram atuar como orientadores, avaliadores e provocadores permanentes da reflexão dos estudantes. O acompanhamento contínuo de cada tarefa, o fornecimento de devolutivas individualizadas e a mediação de conflitos entre teoria e prática demandaram tempo, escuta atenta e capacidade de adaptação ao ritmo dos grupos.

Outro aspecto metodológico relevante foi a coerência entre o que se ensinava e o que se vivenciava. Os mesmos princípios defendidos nas aulas — planejamento articulado, uso pedagógico de tecnologias, foco no processo e não apenas no produto — estavam presentes na própria estrutura da disciplina. Essa coerência favoreceu a internalização dos conceitos e ampliou o engajamento dos acadêmicos, que perceberam sentido naquilo que estavam aprendendo.

Cabe destacar, ainda, que a adoção de uma metodologia como a TBL, associada à produção de um projeto integrador, não implica ausência de rigor. Ao contrário, exige planejamento minucioso, clareza de objetivos e acompanhamento

pedagógico sistemático. A liberdade de criação oferecida aos estudantes vem acompanhada da responsabilidade de fundamentar escolhas, justificar decisões e articular teoria e prática com coerência.

Por fim, a experiência vivenciada aponta para a importância de pensar o estágio supervisionado não apenas como etapa final do curso, mas como espaço privilegiado de experimentação, autoria e desenvolvimento profissional. Com ajustes e acompanhamentos adequados, a metodologia adotada pode ser replicada em outras disciplinas e contextos formativos, contribuindo para uma formação mais integrada, crítica e responsiva às demandas da educação básica.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Osmar Hélio Alves. O estágio como *práxis*, a pedagogia e a didática: que relação é essa? **Revista Eletrônica de Educação**, v. 14, p. 1-15, jan./dez, 2020. Disponível em: <https://www.reveduc.ufscar.br/index.php/reveduc/article/view/3096/931>. Acesso em: 16 abr. 2025.
- ALBIR, Amparo Hurtado. **A aquisição de competências em tradução**: ensino e avaliação. São Paulo: Parábola, 2015.
- AUSUBEL, David Paul. **The psychology of meaningful verbal learning**. New York: Grune & Stratton, 1963.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: <https://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em: 15 jan. 2025.
- BRASIL. **Resolução CNE/CP n.º 2, de 20 de dezembro de 2019**. Define as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação Inicial de Professores para a Educação Básica e institui a Base Nacional Comum para a Formação Inicial de Professores da Educação Básica (BNC-Formação). Brasília: Ministério da Educação; Conselho Nacional da Educação, 2019c. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/docman/dezembro-2019-pdf/135951-rcp002-19/file>. Acesso em: 18 abr. 2024.
- BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. **Resolução CNE/CP n.º 2, de 1.º de julho de 2015**. Define as Diretrizes Curriculares Nacionais para a formação inicial em nível superior (cursos de licenciatura, de formação pedagógica para graduados e de segunda licenciatura) e para a formação continuada. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília-DF, n. 124, p. 8-12, 2 jul. 2015.
- BRIKS, Fábio Júlio Pereira. **Formação de Tradutores**: uma perspectiva para o ensino de inglês no contexto universitário. 2024. Tese (Doutorado em Estudos da Tradução) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2024.
- CARVALHO, José de Souza. **Planejamento escolar**: teoria e prática. São Paulo: Atlas, 1962.
- DAMIS, Odete Maria. **Unidades didáticas**: reflexões sobre a organização do ensino-aprendizagem. São Paulo: Avercamp, 2006.
- ELLIS, Rod. **Task-based language learning and teaching**. Oxford: Oxford University Press, 2003.
- GARCIA, Carlos Marcelo. O professor iniciante, a prática pedagógica e o sentido da experiência. **Form. Doc.**, Belo Horizonte, v. 02, n. 03, p. 11- 49, ago./dez, 2010. Disponível em: <https://revformacaodocente.com.br/index.php/rbfp/article/view/17>. Acesso em: 16 abr. 2025.
- HERNÁNDEZ, Fernando. **Transgressão e mudança na educação**: os projetos de trabalho. Porto Alegre: Artmed, 1998.
- KENSKI, Vani Moreira. **Tecnologias e ensino presencial e a distância**. 6. ed. Campinas: Papyrus, 2012.
- LARSEN-FREEMAN, Diane; ANDERSON, Marti. **Techniques and principles in language teaching**. 3. ed. Oxford: Oxford University Press, 2014.
- MORAN, José Manuel. **A educação que desejamos**: novos desafios e como chegar lá. Campinas: Papyrus, 2007.
- NUNAN, David. **Task-based language teaching**. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.

PIMENTA, Selma Garrido. LIMA, Maria Socorro Lucena. Estágio e docência: diferentes concepções. **Revista Poiesis**, v. 3, n. 3, p. 5-24, 2006. Disponível em: <https://periodicos.ufcat.edu.br/poiesis/articloe/view/10542/7012>. Acesso em: 16 abr. 2025.

VALENTE, José Armando. Tecnologia educacional: uma ferramenta de apoio à aprendizagem. *In*: VALENTE, José Armando (org.). **Ensino e novas tecnologias**. Campinas: UNICAMP/NIED, 2005. p. 15-30.

WILLIS, Jane. **A framework for task-based learning**. Harlow: Longman, 1996.

ZABALA, Antoni; ARNAU, Laia. **Como aprender e ensinar competências**. Porto Alegre: Artmed, 2010.

A INFLUÊNCIA DAS TECNOLOGIAS DIGITAIS NO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM NO 3º ANO DO ENSINO FUNDAMENTAL

THE INFLUENCE OF DIGITAL TECHNOLOGIES ON THE TEACHING AND LEARNING PROCESS IN THE 3RD YEAR OF ELEMENTARY EDUCATION

Jamile Valverde Marcos¹

Priscila de Souza²

Laura Fernandes de Oliveira³

Juliana Pedroso Bruns⁴

Fábio Júlio Pereira Briks⁵

RESUMO: O presente artigo teve como objetivo analisar a influência das tecnologias digitais no processo de ensino e aprendizagem de uma turma de estudantes do 3.º ano dos Anos Iniciais do Ensino Fundamental, em uma escola da Rede Municipal de Ensino localizada no Vale do Itajaí–SC. Salienta-se que este estudo foi desenvolvido a partir do Estágio Supervisionado I, realizado no curso de Licenciatura em Tecnologias Educacionais do Centro Universitário de Brusque – UNIFEBE. A pesquisa, de abordagem qualitativa e caracterizada como "pesquisa-ação", apresenta 20h de atividades desenvolvidas pelas acadêmicas no campo de estágio. As atividades integraram a utilização das tecnologias digitais, alinhadas às diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Os dados são analisados por meio de uma análise descritiva realizada no diário de bordo das acadêmicas. Os resultados indicam que o uso de tecnologias digitais fortalece a interação dos alunos, tornando o ensino e a aprendizagem mais dinâmicos e acessíveis. Ao mesmo tempo, observa-se que as atividades realizadas durante a aplicação no estágio supervisionado evidenciaram o potencial das tecnologias digitais na construção de aprendizagens significativas. As ferramentas digitais facilitaram a compreensão de conteúdos complexos e estimularam o engajamento dos estudantes. Conclui-se, portanto, que o estágio foi um espaço de grande aprendizado para as acadêmicas, permitindo uma reflexão profunda sobre as práticas pedagógicas e o uso de tecnologias digitais no ensino e na aprendizagem dos estudantes.

Palavras-chave: tecnologias digitais; educação; ensino aprendizagem; estágio supervisionado.

¹ Graduanda em Licenciatura em Tecnologia Educacional. Centro Universitário de Brusque – UNIFEBE. *E-mail:* jamile.valverde@unifebe.edu.br

² Graduanda em Licenciatura em Tecnologia Educacional. Centro Universitário de Brusque – UNIFEBE – *E-mail:* priscila.souza1549@unifebe.edu.br

³ Graduanda em Licenciatura em Tecnologia Educacional. Centro Universitário de Brusque – UNIFEBE. *E-mail:* laura.fernandes@unifebe.edu.br

⁴ Doutora em Educação pela Universidade Regional de Blumenau (FURB). Docente no Centro Universitário de Brusque - UNIFEBE. *E-mail:* juliana.bruns@unifebe.edu.br

⁵ Doutor em Estudos da Tradução pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Docente no Centro Universitário de Brusque - UNIFEBE. *E-mail:* fabio.julio@unifebe.edu.br

ABSTRACT: *This article aimed to analyze the influence of digital technologies on the teaching and learning process of a third-grade class in the early years of Elementary Education at a public school in the Vale do Itajaí region (SC), Brazil. We developed this study within the context of the Supervised Internship I, carried out by students of the Bachelor's Degree in Educational Technologies at Centro Universitário de Brusque – UNIFE. It is a qualitative, action-research-based study involving 20 hours of pedagogical activities conducted during the internship. The activities incorporated the use of digital technologies aligned with the guidelines of the Brazilian National Common Curricular Base (BNCC). We analyzed the data through descriptive records written by the students in their field journals. The results show that the integration of digital technologies enhanced student interaction, making the teaching and learning process more dynamic, accessible, and meaningful. Digital tools facilitated the understanding of complex content and fostered student engagement. We concluded that the internship provided a valuable learning experience for the student teachers, promoting critical reflection on pedagogical practices and the use of digital technologies in the educational context.*

Keywords: *Educational Technology; Education; Teaching-learning.*

1 INTRODUÇÃO

O presente artigo tem por objetivo analisar a influência das tecnologias digitais no processo de ensino e aprendizagem de uma turma de estudantes do 3º ano dos Anos Iniciais do Ensino Fundamental, em uma escola da Rede Municipal de Ensino localizada no Vale do Itajaí–SC. Para tanto, por meio do Estágio Supervisionado I, realizado no curso de Licenciatura em Tecnologias Educacionais do Centro Universitário de Brusque – UNIFE, as três primeiras autoras deste estudo desenvolveram atividades integrando a utilização das tecnologias digitais em consonância com a BNCC (Brasil, 2018). Vale ressaltar que o curso de licenciatura é recente na instituição, sendo esta a primeira turma a ter a oportunidade de cursá-lo por meio do Programa de Bolsas Universitárias de Santa Catarina (UNIEDU).

Os Anos Iniciais referem-se às etapas do 1.º ao 5.º ano do Ensino Fundamental, atendendo crianças em fase de alfabetização e consolidação das aprendizagens básicas. Em consonância com a Base Nacional Comum Curricular (Brasil, 2018), esses anos têm como prioridade a valorização de situações de aprendizagem que estabeleçam uma conexão essencial com as vivências da Educação Infantil. Essa conexão deve garantir o processo de organização das experiências e o desenvolvimento, pelos alunos, de novas formas de se relacionar com o mundo, como ler e formular hipóteses sobre fenômenos, testá-las, refutá-las e chegar a conclusões, de maneira ativa na construção do conhecimento.

Nessa direção, não há dúvida de que o estágio oferece uma oportunidade única de conectar a teoria à prática, permitindo a aplicação concreta dos conceitos aprendidos. Na perspectiva de Lima e Pimenta (2006, p. 13), observa-se que “[...] a finalidade do estágio é a de propiciar ao aluno uma aproximação à realidade na qual atuará”.

Logo, o estágio docente tem um impacto profundo na formação profissional do professor, pois muitos profissionais da área, que estão cursando alguma licenciatura, só terão contato com a realidade do cotidiano escolar por meio dessa experiência prática. O convívio desses futuros professores com o ambiente escolar traz uma riqueza de conhecimentos, uma vez que, tendo contato com experiências práticas, é possível relacionar a teoria com as vivências experienciadas no cotidiano escolar.

Nesse contexto, compreende-se que o estágio docente permite a vivência prática do ambiente escolar. E as tecnologias digitais se tornam ferramentas para inovar o ensino. Estamos diante da primeira geração que domina as poderosas ferramentas digitais utilizadas para acessar e processar a informação que interfere na vida econômica, política e social, e ela faz isso melhor do que os mais velhos: pais, mães e professores (Pérez Gómez, 2015, p. 27).

Logo, a tecnologia educacional pode ser entendida como um recurso que contribui para tornar o ambiente de aprendizagem mais acessível e eficiente. De acordo com Gebran (2009), a tecnologia é uma aplicação do conhecimento científico para criar soluções que atendam às necessidades humanas, auxiliando na resolução de problemas antigos e novos. Assim sendo, se a tecnologia sempre teve o propósito de facilitar a vida humana, não diferiria na educação, cujo papel é transformar e aprimorar o processo de ensino e aprendizagem.

Considerando também os benefícios da tecnologia na educação, Chiofi e Oliveira (2014, p. 5) asseveram que:

[...] há de considerar os benefícios didáticos da tecnologia na escola. Nesse sentido, mais que a inclusão digital, a tecnologia educacional nas escolas públicas pode promover uma grande oportunidade para a vida dos alunos da Educação Infantil ao Ensino Médio, trazendo inovações na relação ensino-aprendizagem e conectando o estudante ao mundo de hoje por meio da tecnologia.

Dessa forma, por meio do estágio realizado, compreende-se que os estudantes se beneficiam da aplicação da tecnologia no ambiente escolar. Ela traz o engajamento e fortalece a interação e o aprendizado. O uso de recursos digitais permite adaptar o ensino às necessidades e interesses dos alunos, preparando-os para os desafios do mundo. Quando integradas corretamente às tecnologias educacionais, essas ferramentas auxiliam os estudantes a desenvolver competências essenciais para a vida.

Tecidas essas compreensões iniciais, a seguir, será apresentada a fundamentação teórica da pesquisa. Em seguida, será abordado o percurso metodológico adotado para o desenvolvimento deste artigo. Após isso, serão analisados os dados da pesquisa, seguido das considerações finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A UTILIZAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DIGITAIS NO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM NOS ANOS INICIAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL

Com os avanços recentes na educação, observa-se um aumento gradativo nas discussões sobre as tecnologias educacionais. Segundo Gebran (2009, p. 10), “Em outro conceito prático de tecnologia, pode-se dizer que é tudo aquilo que o ser humano cria para: expandir os seus conhecimentos; tornar o seu trabalho mais fácil; fazer a sua vida mais agradável”. Aplicando esse pressuposto ao contexto educacional, é possível entender que as tecnologias educacionais seguem o mesmo princípio, mas adaptadas às necessidades da educação. Para aprofundar essa compreensão do que são tecnologias educacionais, serão analisados os seguintes aspectos: definições, benefícios e exemplos.

Definimos tecnologia educacional como tudo aquilo que, de alguma forma, facilita o ambiente de aprendizagem. Dessa forma, pode-se declarar que as tecnologias englobam os recursos analógicos e os digitais. Segundo Chiofi e Oliveira (2014, p. 333), “Ao utilizar a tecnologia a favor da educação de qualidade, contribuímos na promoção do desenvolvimento socioeducativo, além da socialização do saber e da informação pelo aluno”. Por isso, o uso de tecnologias educacionais visa melhorar a qualidade da educação, promovendo maior interatividade, personalização do ensino, acessibilidade ao conteúdo e eficiência na gestão do processo educativo.

Logo, os benefícios do uso das tecnologias educacionais são vastos e transformadores. As ferramentas possibilitam uma abordagem mais personalizada e interativa. A escolha apropriada de tecnologias pode enriquecer a experiência educacional, permitindo que os alunos construam o seu próprio conhecimento e explorem diversas formas de inteligência em uma variedade de atividades. Além disso, o uso das tecnologias não só facilita a compreensão do conteúdo programático, mas também promove o desenvolvimento de competências. O ambiente de ensino se torna mais envolvente e motivador, incentivando a colaboração e a comunicação entre estudantes e educadores, e oferecendo oportunidades para uma aprendizagem mais rica e adaptada às necessidades individuais.

Sabe-se que o professor não será substituído pela tecnologia, mas ambos juntos podem adentrar na sala de aula levando aprendizado e conhecimento para os alunos, pois basta que ele comece a pensar como introduzir no cotidiano escolar de forma decisiva para que após essa etapa passe a construir conteúdos didáticos renovados e dinâmicos, que estabeleça todo o potencial necessário que essa tecnologia oferece (Vieira, 2011, p. 134).

Como podemos perceber, as tecnologias digitais não consistem apenas no digital; o giz de cera, por exemplo, é considerado uma tecnologia, pois há poucos anos, foi um grande invento nas salas de aula, facilitando a aprendizagem. Ao passar dos anos, as invenções se deram o nome de inovações. Na área da educação, essas inovações apareceram em forma de dispositivos eletrônicos, plataformas digitais, assim como ambientes virtuais de aprendizagem, entre muitos outros, dando à educação um vasto campo para a aprendizagem.

Nesse contexto, a teoria construcionista de Seymour Papert oferece um exemplo ilustrativo. Papert (1986), educador e matemático conhecido por criar a linguagem LOGO, posteriormente adaptada para a plataforma *Scratch*, via as ferramentas digitais como catalisadoras da criatividade infantil. Ele acreditava que os computadores poderiam ir além de meros transmissores de informações e instruções, oferecendo às crianças a oportunidade de experimentar, explorar e expressar-se de maneira inovadora. Como destacado pelo *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) em 2016, Papert (1986) reconheceu o potencial dos computadores para capacitar as crianças a desenvolver habilidades criativas e investigativas, promovendo um aprendizado mais ativo e envolvente.

Em conclusão, os avanços recentes na educação ampliam o papel das tecnologias educacionais, que se mostram importantes para a evolução do processo educativo.

Na sequência, discorrer-se-á sob o conceito de ensino-aprendizagem.

2.2 CONCEITUANDO ENSINO E APRENDIZAGEM

Os conceitos de ensino e aprendizagem são centrais para a prática educativa e têm recebido destaque nas discussões pedagógicas contemporâneas. Tais processos envolvem tanto o docente quanto o discente, numa relação dialógica na qual o educador também aprende com os educandos, e estes assumem um papel ativo na construção do próprio conhecimento.

Silva e Nunes (2020, p. 5) afirmam que “o processo de ensino e aprendizagem não é estático, ou seja, está em constante mudança e assim as mudanças deveriam ocorrer também com todos os processos que fazem parte desse processo maior”.

Embora “ensino” e “aprendizagem” ocorram paralelamente, cada um deles possui especificidades teóricas. Para a teoria de aprendizagem, destacam-se, neste

estudo, as contribuições teóricas de Ausubel (1963), Vygotsky (1984) e Vygotsky (1973). Como teoria de ensino, destaca-se o currículo integralizador, conforme aprofundado por Briks (2024) na sua proposta de desenho curricular.

Ausubel (1963) traz contribuições sobre a aprendizagem significativa. Segundo Farias (2022, p. 61), “as pesquisas de Ausubel concentram-se na aprendizagem sistemática e na aprendizagem por descoberta”. Junior, Souza e Felinto (2020, p. 552) contribuem dizendo que “o aluno realmente aprende o conteúdo quando está disposto e quando o conteúdo tem significado lógico e psicológico para ele”. Dessa forma, o indivíduo deve ser um participante ativo do processo de aprendizagem, tendo fatores como o contexto social, cultural e econômico considerados para as condições possibilitarem a aprendizagem significativa.

Vygotsky (1984), por sua vez, é conhecido por sua teoria histórica e cultural, a qual identifica a importância das relações sociais para o desenvolvimento da aprendizagem. Para Vygotsky (1998), existe uma distância entre o que o indivíduo já sabe e o que ele ainda não sabe. A essa distância, o teórico nomeou como Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP). Nessa perspectiva, o professor faz o papel de mediador para o aprendiz poder interagir com os outros e consigo mesmo, atingindo o seu verdadeiro potencial. Nas suas palavras:

[...] a distância entre o nível de desenvolvimento real, que se costuma determinar por meio da solução independente de problemas, e o nível de desenvolvimento potencial, determinado por meio da solução de problemas sob orientação de um adulto ou em colaboração com companheiros mais capazes (Vygotsky, 2007, p. 58).

Vygotsky (1973), a seu tempo, enxerga a aprendizagem como um processo construtivista, que corresponde ao nível de desenvolvimento do aprendiz, além de ações e práticas pedagógicas. Segundo Piaget (1967, p. 14): “cada estágio constitui então, pelas estruturas que o definem, uma forma particular de equilíbrio, efetuando-se uma evolução mental no sentido de uma equilibração sempre mais completa”.

No que diz respeito ao ensino, este trabalho evidencia o currículo integralizador como modelo teórico. Diferentemente de propostas fragmentadas, o currículo integralizador propõe uma abordagem sistêmica, que considera simultaneamente os objetivos, os conteúdos, os métodos e os instrumentos de avaliação como elementos igualmente relevantes no processo educativo.

Conforme Briks (2024), o currículo integralizador deve responder às seguintes questões: *o que será ensinado, para quem, em que contexto, como, quando, por quem e com quais resultados*. Essa abordagem amplia o foco do ensino, articulando dimensões cognitivas, afetivas e psicomotoras, e reconhecendo o papel central dos estudantes como protagonistas da aprendizagem.

Nesse modelo, os objetivos são elementos norteadores do processo de ensino e aprendizagem e são claramente definidos e desdobrados em objetivos de ensino (intenção do docente) e de aprendizagem (resultados esperados do discente). As *metodologias* são compreendidas como um conjunto de estratégias e recursos ajustados ao perfil dos alunos e à natureza dos conteúdos. Cada metodologia faz um apanhado de procedimentos, ferramentas e caminhos para atingir uma finalidade. A escolha da metodologia deve ser feita adequadamente, de acordo com os objetivos de ensino e com o perfil da turma ou grupo em que será aplicada.

A avaliação, por sua vez, é processual e formativa, funcionando como instrumento de regulação das práticas pedagógicas. Por meio dela, o professor pode definir o aproveitamento de determinado estudante em relação ao conteúdo apresentado durante o processo. As avaliações ditam o ritmo do ensino, servindo como um “*feedback*” para o professor, sendo uma ferramenta que, além de avaliar o aluno, define o andamento do processo, demonstrando a necessidade de retomar ou avançar o conteúdo.

Já o conteúdo é concebido não apenas como informação a ser transmitida, mas como elemento articulador de competências manifestadas em diferentes áreas do saber. Trata-se de um elemento que encaminha o aluno para um raciocínio que leva ao conhecimento.

Com base nas teorias de Ausubel (1963), Vygotsky (1984) e Vygotsky (1973), é possível afirmar que a aprendizagem não é um processo isolado, mas sim uma construção social, cognitiva e individual que exige a participação ativa do discente e o papel mediador do docente. Ao adotar o currículo integralizador, reconhece-se que ensinar é mais do que transmitir conhecimentos: é construir caminhos formativos coerentes com as necessidades dos estudantes, com o contexto educacional e com os objetivos formativos definidos.

Na sequência, elucida-se sobre as competências gerais da BNCC com ênfase nas tecnologias digitais.

2.3 COMPETÊNCIAS GERAIS DA BNCC NO ENSINO FUNDAMENTAL – ANOS INICIAIS: ENFOQUE NA TECNOLOGIA DIGITAL

A educação básica é o nível de ensino inicial na educação formal. Assim como definido pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação - LDB (Lei n.º 9394, Brasil, 1996), a educação básica é fundamental para o desenvolvimento integral dos indivíduos. Ela visa formar cidadãos e prepará-los para o trabalho e estudos posteriores. De modo geral, a educação básica subdivide-se nas seguintes etapas: Educação Infantil; Ensino Fundamental e Ensino Médio. O Ensino Fundamental engloba a maioria da formação da educação básica, subdividindo-se nos anos iniciais (primeiro ao quinto ano), no qual recai a ênfase deste artigo, e nos anos finais, que contemplam do sexto ao nono ano.

Os Anos Iniciais do Ensino Fundamental são a etapa responsável pelo processo de ensino e aprendizagem dos alunos de 6 a 11 anos, período em que estão explorando novas formas de se relacionar com o mundo, envolvendo o desenvolvimento de habilidades sociais, cognitivas e motoras. Segundo Brasil (2018, p. 56), “Nesse período da vida, as crianças estão vivendo mudanças importantes em seu processo de desenvolvimento que repercutem nas suas relações consigo mesmas, com os outros e com o mundo”.

Dessa forma, foram estabelecidas competências gerais que devem ser desenvolvidas de forma integral, sem a limitação de conteúdo ou matéria. As competências gerais da Base Nacional Comum Nacional desenvolvidas por Brasil (2018, p. 8) podem ser definidas como “a mobilização de conhecimentos (conceitos e procedimentos), habilidades (práticas, cognitivas e socioemocionais), atitudes e valores para resolver demandas complexas da vida cotidiana, do pleno exercício da cidadania e do mundo do trabalho”.

No documento, apresentam-se 10 competências básicas que devem ser desenvolvidas nos anos da educação básica, sendo elas: conhecimento, pensamento científico, crítico e criativo; repertório cultural; comunicação; cultura digital; trabalho e projeto de vida; argumentação; autoconhecimento e autocuidado; empatia e cooperação; responsabilidade e cidadania.

A primeira competência propõe que devemos não apenas reconhecer e valorizar o conhecimento que já possuímos sobre o mundo físico, social, cultural e digital, mas também incentivar a busca contínua por aprendizado e evolução ao longo da vida. Este enfoque visa construir uma sociedade fundamentada na justiça, democracia e inclusão, cujo conhecimento acumulado serve como base para promover a equidade e a participação ativa de todos os indivíduos. O aprimoramento constante das nossas competências é essencial para a criação de um ambiente mais justo e inclusivo, no qual a evolução pessoal e coletiva contribui para o fortalecimento da convivência social e das instituições democráticas.

A segunda competência enfoca a importância da curiosidade intelectual, da análise crítica e da criatividade como pilares para o desenvolvimento pessoal e profissional. Incentiva a exploração ativa e a aplicação de métodos científicos para investigar causas, testar hipóteses e resolver problemas complexos. Ao cultivar uma atitude curiosa e crítica, é possível gerar soluções inovadoras, incluindo avanços tecnológicos, que respondam de forma eficaz aos desafios contemporâneos.

A terceira competência aborda o repertório cultural, enfatizando a importância de cultivar um senso estético apurado para reconhecer, valorizar e apreciar tanto as manifestações artísticas e culturais locais quanto as globais. Essa competência envolve o desenvolvimento da capacidade de entender e interpretar diversas formas de expressão cultural, apreciando a sua diversidade e relevância em contextos históricos e sociais variados. Ao aprimorar esse repertório, o indivíduo não apenas enriquece o seu conhecimento e experiência cultural, mas também contribui para a construção de um diálogo mais profundo e respeitoso entre diferentes tradições e perspectivas culturais.

A quarta competência concentra-se na comunicação, destacando a importância de utilizar diversas linguagens para expressar e compartilhar informações, ideias e sentimentos de forma eficaz. Essa competência envolve a capacidade de adaptar a comunicação a diferentes contextos, seja por meio da linguagem verbal, não verbal, visual ou digital, para garantir que a mensagem seja compreendida e interpretada corretamente pelos interlocutores. Ao dominar essas múltiplas formas de comunicação, o indivíduo melhora a sua habilidade de transmitir as suas próprias ideias e também facilita o entendimento mútuo e a colaboração em ambientes variados.

A competência cinco expõe sobre a cultura digital. Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais. Dessa forma:

[...] não basta reconhecer a importância das tecnologias e estar motivado para sua utilização, mas é imprescindível ter algum conhecimento tecnológico, sem o qual será difícil uma tomada de decisão fundamentada e esclarecida. Tratar-se-ia, neste caso, de procurar saber que tecnologias existem, o que permitem fazer, qual seu grau de dificuldade em termos de aprendizagem, que requisitos técnicos são necessários para poderem ser utilizadas pelos alunos, para referirmos apenas alguns dos aspectos essenciais ao seu uso efetivo (Costa *et al.*, 2012, p. 24).

Na competência de número seis, considerando que a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) n.º 9.394, de 20 de dezembro de 1996, assegura o acesso universal à educação básica no Brasil, observamos que as nossas escolas refletem uma rica diversidade de saberes e experiências culturais desde os primeiros anos. Aproximar-se dessas variadas fontes de conhecimento e vivências permite criar um ambiente escolar inclusivo. Além disso, é possível integrar o projeto de vida dos alunos com liberdade, autonomia, consciência e responsabilidade.

A sétima competência proposta pela BNCC (Brasil, 2018) ressalta a importância da argumentação fundamentada, que exige a utilização de fatos e dados confiáveis para defender ideias e tomar decisões. Ela enfatiza que, ao articular e defender os nossos pontos de vista, devemos fazê-lo com um posicionamento ético, considerando o impacto das nossas ações sobre nós mesmos, os outros e o meio ambiente. Esse enfoque promove não apenas a clareza e a precisão nas argumentações, mas também a responsabilidade e a consciência social, assegurando que os nossos argumentos estejam alinhados com princípios de cuidado e respeito pelo planeta e pelas pessoas ao nosso redor.

A oitava competência é voltada para o desenvolvimento do autoconhecimento e do autocuidado, aspectos essenciais para uma vida equilibrada e saudável. Ela nos incentiva a explorar e entender as nossas próprias emoções, necessidades e limites, ao mesmo tempo que promove o cuidado pessoal e o respeito por nós mesmos e pelos outros. Além disso, essa competência valoriza a compreensão da diversidade humana, reconhecendo e celebrando as diferenças individuais como parte integrante da nossa identidade e das interações sociais.

A nona competência é fundamental para a construção de uma sociedade mais justa e harmoniosa, por focar no desenvolvimento da empatia e da cooperação. Ela visa incentivar as pessoas a praticarem a empatia, ou seja, a capacidade de se colocar no lugar do outro, compreendendo e respeitando diferentes perspectivas e sentimentos. Além disso, promove a importância do diálogo aberto e construtivo, essencial para a resolução pacífica de conflitos. Essa competência também destaca a necessidade de cooperação, na qual o trabalho conjunto e a colaboração são valorizados, independentemente de qualquer tipo de preconceito.

A décima competência enfatiza a importância de agir de forma tanto individual quanto coletiva, exercendo autonomia e responsabilidade em cada ação. Isso significa que as decisões tomadas devem sempre estar ancoradas em princípios sólidos, como a ética, a democracia, a inclusão, a sustentabilidade e a solidariedade. Esses valores norteiam não apenas as escolhas pessoais, mas também as interações e colaborações em uma comunidade, promovendo um ambiente em que todos têm a oportunidade de participar e contribuir de maneira justa e consciente

para o bem comum. Assim, a competência visa formar cidadãos que atuem com integridade, respeitando e valorizando a diversidade e o equilíbrio nas relações humanas e ambientais.

Enfim, a análise das competências gerais da BNCC (Brasil, 2018) revela a importância de um ensino fundamental que desenvolva conhecimento, habilidades e atitudes essenciais para a formação integral dos alunos. O foco na quinta competência, que enfatiza a criação e o uso crítico de tecnologias digitais, é particularmente relevante na era atual. Ela é essencial para o sucesso social, acadêmico e profissional.

Em seguida, apresentam-se os procedimentos metodológicos da pesquisa.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Durante o estágio, as duas primeiras autoras, sob a orientação da terceira autora e quarto autor, realizaram, na escola analisada, 20 horas de observação, 20 horas de regência e 16 horas de análise documental. O foco deste artigo está nas 20 horas de aplicação de atividades com uma turma do 3.º Ano dos Anos Finais do Ensino Fundamental, no período vespertino. A turma era composta por 23 alunos, sendo 12 meninas e 11 meninos com idades entre 8 e 9 anos. A semana de aplicação em sala de aula, na condição de professoras regentes, ocorreu na semana do dia 30 de outubro a 5 de novembro de 2024, concluindo 20h de aplicação. As atividades pedagógicas foram desenvolvidas com a utilização das tecnologias digitais em consonância com a BNCC (Brasil, 2018) e em diálogo com a professora regente de turma que recebeu as acadêmicas em sala.

Para o desenvolvimento deste artigo, salienta-se que a pesquisa é de abordagem qualitativa e tem como foco a "pesquisa-ação". Segundo Carspecken (2011), a pesquisa qualitativa é fundamentada em uma teoria epistemológica e social que explora a relação entre conhecimento, ação, identidade, poder, liberdade e mudança social. Ou seja, esse tipo de pesquisa busca entender e analisar como as pessoas e as comunidades se relacionam com o conhecimento e como esse conhecimento pode influenciar as suas ações, identidades e a dinâmica de poder. Essa abordagem não se limita a observar a realidade ou apenas números e dados coletados, ela tenta entender melhor o contexto de cada situação.

Já a pesquisa-ação, na visão de Engel (2000), é uma abordagem de pesquisa participativa na qual o pesquisador participa ativamente da prática que está estudando, isso se opõe à pesquisa tradicional. Ela busca integrar conhecimento e prática, desenvolvendo a compreensão no contexto da ação. Assim sendo, a pesquisa-ação envolve um processo contínuo de reflexão e ação, no qual o

pesquisador e os participantes trabalham juntos para identificar problemas, testar soluções e promover mudanças.

O método adotado na pesquisa foi o descritivo, considerando que esse foi o primeiro contato com as estagiárias com a docência. O fato de ser tudo novo levou-as a registrar em um “diário de bordo” cada momento vivenciado nesse período de estágio. Os registros das atividades desenvolvidas e das observações das interações dos estudantes diante das atividades propostas, direcionaram a cada aula o planejamento das atividades, em consonância com a professora regente de classe, proporcionando uma base para a aplicação dos conteúdos de forma mais eficiente.

Nesse sentido, corrobora-se com Pedroso, Silva e Santos (2018), quando argumenta que a pesquisa descritiva visa descrever um fenômeno ou situação em detalhes, proporcionando uma compreensão clara das características de um indivíduo, grupo ou contexto, além de revelar as relações entre os eventos. A sua finalidade é observar e registrar os fenômenos, sem entrar em uma análise profunda.

Com base nas atividades desenvolvidas durante o estágio e, por meio da pesquisa qualitativa e da pesquisa-ação, foi possível identificar como a integração das tecnologias digitais ao ensino impactou positivamente a aprendizagem dos alunos. Observou-se um aumento no engajamento dos estudantes, na participação ativa durante as atividades e na construção do conhecimento de maneira mais interativa e dinâmica.

Os registros realizados ao longo do processo evidenciam que a utilização das ferramentas tecnológicas, alinhadas à BNCC (Brasil, 2018), favoreceu a personalização do ensino, permitindo que os alunos explorassem diferentes formas de aprender e desenvolver competências essenciais para sua formação acadêmica e cidadã.

Dessa forma, o estágio supervisionado demonstrou-se um espaço fundamental para conectar a teoria à prática e ampliar a compreensão sobre o uso pedagógico das tecnologias educacionais.

A seguir, apresenta-se a análise dos dados, com as atividades desenvolvidas pelas acadêmicas no campo de estágio.

4 ANÁLISE DOS DADOS

Desenvolveram-se planos de aula para cinco dias de atividades desenvolvidas com os estudantes do 3.º Ano dos Anos Iniciais do Ensino Fundamental – Anos Iniciais. Cada um incorpora diferentes tecnologias digitais, visando tornar o ensino mais dinâmico e significativo. Focados no 3.º ano do Ensino Fundamental, estes planos contemplam os componentes curriculares de Língua Portuguesa, Matemática, Geografia, História e Ciências. Para o desenvolvimento das atividades, foram

utilizadas plataformas digitais, aplicativos e jogos educativos, com vistas a enriquecer a aprendizagem dos estudantes. Desse modo, na sequência, será discorrido sobre as atividades desenvolvidas em diferentes componentes curriculares.

Durante as duas primeiras aulas de Matemática, foi ensinado a ver a hora, tanto em formato digital quanto analógico, conforme a habilidade (EF03MA23) presente na BNCC que diz: “Ler horas em relógios digitais e em relógios analógicos e reconhecer a relação entre hora e minutos e entre minuto e segundos” (Brasil, 2018, p. 289). Nessa aula, foi usado um vídeo explicativo sobre como funcionam os ponteiros e também “*Slides do Canva*”. Após a explicação do conteúdo, os alunos receberam os *Chromebooks* e realizaram uma atividade.

Nessa atividade, os alunos receberam várias horas impressas no papel. Essas horas estavam no relógio digital e eles teriam que transformá-las para o analógico por meio de um *aplicativo da web*. Enquanto a atividade era feita por eles, as acadêmicas se dirigiam até a mesa para conferir se estava correta. Se sim, eles trocavam com os colegas até tentarem o máximo de horas possíveis. A competência 5 da BNCC diz que devemos: “Utilizar processos e ferramentas matemáticas, inclusive tecnologias digitais disponíveis, para modelar e resolver problemas cotidianos, sociais e de outras áreas de conhecimento, validando estratégias e resultados” (Brasil, 2018, p. 267).

Depois disso, as acadêmicas apresentaram um jogo sobre as horas. Nesse jogo, as horas estavam em formato analógico e eles tinham que responder qual era a hora correta. Os estudantes que acertavam as horas, acumulavam moedas e podiam partir para um jogo de aventura dentro do próprio jogo.

Por meio dessa atividade, as acadêmicas compreendem que essa aula foi bem aproveitada, pois todos estavam empolgados e motivados para a realização da atividade. Por fim, elas observaram que os alunos que não sabiam ver as horas já estavam se saindo muito bem, e isso foi um sinal de que a aula planejada foi como o esperado.

Na aplicação das duas últimas aulas de Matemática, partimos para o assunto de divisão com a habilidade de resolver e elaborar problemas de divisão de um número natural por outro (até 10), com resto zero e com resto diferente de zero, com os significados de repartição equitativa e de medida, por meio de estratégias e registros pessoais, onde os alunos haviam aprendido recentemente. Nessa aula, foi feita a explicação novamente de como funciona a divisão de maneira clara, por meio de imagens geradas no Canva. Após sanar algumas dúvidas, foi dado início à atividade em sala. Nessa atividade, os alunos foram divididos em grupos, cada grupo recebeu várias questões de divisão para resolver, e o grupo que finalizasse todas as divisões corretamente primeiro ganharia um prêmio maior. Os outros grupos que

terminassem em seguida também seriam premiados. Segundo a competência geral de número oito da BNCC, é necessário:

Interagir com os seus pares de forma cooperativa, trabalhando coletivamente no planejamento e desenvolvimento de pesquisas para responder a questionamentos e na busca de soluções para problemas, de modo a identificar aspectos consensuais ou não na discussão de uma determinada questão, respeitando o modo de pensar dos colegas e aprendendo com eles. (Brasil, 2018, p. 267).

Na primeira etapa da atividade, cada grupo recebeu em torno de 15 questões e eles se organizaram para cada um fazer uma questão. Quando finalizado, eles tinham mais uma folha com 6 e depois outra com 4 e, por último, eles receberam uma questão para ser resolvida por meio do *Paint*. Essa última questão seria mais “difícil”, pois eles teriam que se organizar entre eles para resolverem-na juntos o mais rápido possível. No fim, todos se dedicaram muito para chegar ao final, vencedores. Grande parte da turma acertou todas as questões e não desistiu. Foram duas aulas de muito aprendizado. A BNCC diz que:

Na perspectiva de que os alunos aprofundem a noção de número, é importante colocá-los diante de tarefas, como as que envolvem medições, nas quais os números naturais não são suficientes para resolvê-las, indicando a necessidade dos números racionais tanto na representação decimal quanto na fracionária (Brasil, 2018, p. 269).

Na aula de Ciências, as acadêmicas trabalharam a habilidade de observar, identificar e registrar os períodos diários (dia e/ou noite) em que o Sol, demais estrelas, Lua e planetas estão visíveis no céu. Iniciou-se a aula com uma breve explicação do conteúdo. Para tanto, elas apresentaram um vídeo animado, explicando sobre rotação, translação e sobre dia e noite. Após isso, responderam a algumas dúvidas dos estudantes e apresentaram-lhes um site chamado *Stellarium*. Nesse site, puderam observar o espaço, com os planetas, constelações, estrelas. Além disso, puderam observar o movimento do planeta, olhando o movimento do céu quando amanhece e quando escurece. Cada estudante conseguiu acessar o site e aprender a manuseá-lo para conhecer mais sobre o conteúdo. A partir disso, eles receberam uma atividade impressa onde teriam que desenhar na janela o que viram durante o dia e durante a noite.

Segundo a BNCC,

a área de Ciências da Natureza tem um compromisso com o desenvolvimento do letramento científico, que envolve a capacidade de compreender e interpretar o mundo (natural, social e tecnológico), mas também de transformá-lo com base nos aportes teóricos e processuais das ciências (Brasil, 2018, p. 321).

As aulas de Língua Portuguesa ocorreram ao longo de quatro aulas de 45 minutos cada, sendo duas em um dia e duas no outro dia. O conteúdo ensinado foi

“reconhecimento e produção de notícias como gênero textual”, utilizando a habilidade de identificar gêneros textuais do discurso oral, utilizados em diferentes situações e contextos comunicativos, e suas características. Logo, encontra-se na BNCC, que:

No componente Língua Portuguesa, amplia-se o contato dos estudantes com gêneros textuais relacionados a vários campos de atuação e a várias disciplinas, partindo-se de práticas de linguagem já vivenciadas pelos jovens para a ampliação dessas práticas, em direção a novas experiências (Brasil, 2018, p. 136).

Desse modo, inicialmente, realizou-se uma aula expositiva com uso de *slides*, explicando as características das notícias e a sua importância na comunicação. Em seguida, os alunos criaram notícias em uma atividade em folha e, posteriormente, redigiram as suas próprias notícias em um Canva compartilhado. Na etapa final, foram compartilhadas as suas produções com a turma, simulando uma transmissão de notícias. O uso de tecnologia, como computadores, permitiu que os estudantes desenvolvessem habilidades de escrita e pesquisa, garantindo uma aprendizagem significativa. O documento da BNCC (Brasil, 2018) explica que ao componente de Língua Portuguesa compete oferecer aos estudantes experiências que promovam o desenvolvimento dos letramentos, possibilitando a sua participação de forma significativa e crítica nas diversas práticas sociais. Identificou-se que essa aula foi fundamental para o desenvolvimento do letramento dos estudantes da turma do 3.º ano.

A aplicação do plano de aula de Geografia e História ocorreu de forma interdisciplinar, integrando uma aula de Geografia e duas de História, cada uma com duração de 45 minutos. As habilidades trabalhadas foram relacionar a produção de lixo doméstico ou da escola aos problemas causados pelo consumo excessivo e construir propostas para o consumo consciente, considerando a ampliação de hábitos de redução, reuso e reciclagem/descarte de materiais consumidos em casa, na escola e/ou no entorno, conforme preconiza a habilidade (EF03GE08) da BNCC (Brasil, 2018).

As atividades também possibilitaram mapear os espaços públicos no lugar onde os estudantes vivem (ruas, praças, escolas, hospitais, prédios da Prefeitura e da Câmara de Vereadores etc.) e identificar as suas funções (EF03HI09). Ao mesmo tempo, eles puderam identificar as diferenças entre o espaço doméstico, os espaços públicos e as áreas de conservação ambiental, compreendendo a importância dessa distinção (EF03HI10). Utilizou-se como tecnologia o *Google Earth* para explorar o espaço geográfico.

A aula começou com uma explicação introdutória sobre o conceito de espaço geográfico e sobre o consumo e a produção de lixo. Na parte prática, utilizando

Chromebooks e o *Google Earth*, os estudantes foram desafiados a localizar as suas casas, bairros e outros pontos de interesse.

Posteriormente, em grupos, os alunos foram instruídos a continuar o uso do *Google Earth* e editar imagens com informações relevantes sobre o ambiente estudado. Cada aluno escolheu um local, público ou privado, e registrou dados essenciais, incluindo o nome do ambiente, sua classificação (público ou privado), os tipos de resíduos gerados e as medidas adotadas para reduzir o acúmulo de lixo. Essa abordagem promoveu o desenvolvimento de habilidades digitais e a conscientização ambiental, estimulando os estudantes a refletirem sobre o impacto do lixo nos espaços que frequentam e sobre os lugares que são públicos ou privados. Sob o olhar de Rodrigues e Colesanti (2008, p. 64):

Tratando-se da Educação Ambiental, o professor deve conseguir problematizar o saber ambiental apresentado no suporte digital, colocando-o em uma perspectiva onde os alunos possam se apropriar e utilizá-lo para a construção das atitudes ecológicas.

Dessa forma, a atividade não apenas contribuiu para o desenvolvimento de habilidades tecnológicas, mas também para o fortalecimento da cidadania ambiental dos estudantes, estimulando-os a refletir sobre o papel que desempenham na preservação do meio ambiente.

Por fim, concluiu-se que o estágio supervisionado proporcionou uma análise detalhada das atividades pedagógicas aplicadas com os estudantes do 3.º ano dos Anos Iniciais do Ensino Fundamental, nas áreas de Língua Portuguesa, Matemática, Geografia, História e Ciências. Cada plano de aula foi cuidadosamente estruturado, integrando diferentes tecnologias digitais para tornar o ensino mais dinâmico e significativo, conforme as diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC).

As atividades desenvolvidas em Matemática foram fundamentais para a aprendizagem dos alunos, utilizando recursos tecnológicos para o ensino de conteúdos como leitura de horas e resolução de problemas de divisão. A utilização de aplicativos, como para a conversão de horas e jogos educativos, demonstraram-se eficazes em motivar os alunos e proporcionar uma aprendizagem envolvente e significativa.

Nas aulas de Ciências, os estudantes exploraram os corpos celestes através do uso de tecnologias, como o *site Stellarium*, para observar o céu e registrar os períodos diários de visibilidade do Sol, da Lua e das estrelas.

Já nas aulas de Língua Portuguesa, o foco esteve na produção de notícias, um gênero textual encontrado com grande evidência na BNCC, relevante para o desenvolvimento da comunicação e do letramento dos estudantes. O uso de

ferramentas digitais como o Canva e o incentivo à criação e compartilhamento de notícias ajudaram a integrar teoria e prática, permitindo que os alunos vivenciassem o processo de produção textual.

Nas aulas de Geografia e História, a interdisciplinaridade possibilitou uma compreensão mais ampla do espaço geográfico e das questões socioambientais, como o consumo e a produção de lixo. A utilização do *Google Earth* para explorar e mapear os espaços públicos e privados e a reflexão sobre a importância do consumo consciente contribuem para a identificação desses espaços, a conscientização ambiental e a preservação do meio ambiente.

Em resumo, todas as atividades realizadas durante a aplicação no estágio supervisionado evidenciaram o potencial das tecnologias digitais na construção de aprendizagens significativas. As ferramentas digitais facilitaram a compreensão de conteúdos complexos e estimularam o engajamento dos estudantes. As atividades desenvolvidas demonstraram estar alinhadas às necessidades e características do mundo contemporâneo, mas sem perder o propósito educativo. O estágio, portanto, foi um espaço de grande aprendizado para as acadêmicas, permitindo uma reflexão profunda sobre as práticas pedagógicas e o uso de tecnologias no ensino.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal deste artigo foi analisar a influência das tecnologias digitais no processo de ensino e aprendizagem. A pesquisa teve como foco a observação dessa influência em uma turma de estudantes do 3.º Ano dos Anos Iniciais do Ensino Fundamental. Importante destacar que as três primeiras autoras deste estudo desenvolveram atividades que integraram a utilização das tecnologias digitais, alinhadas às diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC).

O estágio ressaltou a importância da prática docente na formação profissional das acadêmicas, oferecendo uma oportunidade para as futuras professoras aplicarem os conhecimentos teóricos adquiridos e reflitam sobre a sua prática pedagógica, visando aprimorar as suas habilidades. O contato com a realidade escolar é fundamental para a construção de uma base sólida na carreira docente. Na perspectiva de Lima e Pimenta (2006, p. 13), observa-se que “[...] a finalidade do estágio é a de propiciar ao aluno uma aproximação à realidade na qual atuará”.

Foi observado que a experiência do estágio evidenciou o papel transformador das tecnologias digitais no ensino. Assim, compreende-se que as tecnologias digitais desempenham um papel fundamental como facilitadoras no processo de aprendizagem. Elas tornam o aprendizado mais dinâmico e despertam um maior interesse nos alunos ao integrar-se aos conteúdos abordados. Esse envolvimento

contribui para o desenvolvimento da autonomia, concentração e criatividade, potencializando o desempenho dos estudantes.

Pode-se afirmar que o estágio supervisionado foi uma experiência fundamental para analisar a influência das tecnologias digitais no processo de ensino e aprendizagem, especialmente no contexto dos estudantes do 3.º Ano dos Anos Iniciais do Ensino Fundamental. Cada plano de aula integrou diferentes tecnologias digitais, visando tornar o ensino mais dinâmico e significativo, abrangendo os componentes curriculares de Língua Portuguesa, Matemática, Geografia, História e Ciências. As plataformas digitais, aplicativos e jogos educativos utilizados nas atividades demonstraram o seu potencial para enriquecer a aprendizagem, promovendo o desenvolvimento de habilidades como autonomia, concentração e criatividade nos estudantes.

Para finalizar, além de ter sido uma experiência enriquecedora para as acadêmicas, o estágio proporcionou uma compreensão mais clara e concreta sobre a futura prática profissional. Inicialmente, elas enfrentavam dificuldades para entender a realidade da docência; no entanto, por meio das vivências práticas em sala de aula, essa realidade tornou-se mais palpável e próxima do cotidiano que terão como futuras professoras. Outro ponto relevante foi o uso de tecnologias educacionais no ambiente escolar, que, apesar dos desafios e obstáculos encontrados, revelou-se eficaz e promissor no processo de ensino-aprendizagem.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar a nossa imensa gratidão ao professor Dr. Fábio Júlio Briks e à professora Dra. Juliana Pedroso Bruns pela orientação, apoio e valiosas correções durante a realização deste estudo. Agradecemos também à Escola de Ensino Fundamental localizada no município de Brusque–SC, que nos recebeu durante o nosso primeiro estágio, proporcionando um ambiente rico em aprendizado. Toda a orientação que recebemos foram essenciais para o nosso crescimento profissional, acadêmico e pessoal, impactando de forma significativa a trajetória das três primeiras autoras deste trabalho.

REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D. P. **The psychology of meaningful verbal learning**. Nova York: Grune & Stratton, 1963.

BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional Lei número 9394, 20 de dezembro de 1996**. 1996.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, DF, 2018.

BRICS, Fábio Júlio Pereira. **Formação de tradutores: uma perspectiva para o ensino de inglês no contexto universitário**. 2024. 206 f. Tese (Doutorado em Estudos da Tradução) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2024.

CARSPECKEN, Phil Francis. **Pesquisa Qualitativa Crítica: conceitos básicos**. Porto Alegre, maio/ago. 2011.

CHIOFI, Luiz Carlos. OLIVEIRA, Marta Regina Furlan. **O uso das Tecnologias Educacionais como ferramenta didática no processo de ensino e aprendizagem**. Londrina, UEL, 2014.

PEDROSO, Júlia de Souza; SILVA, Kauana Soares da ; SANTOS, Laiza Padilha dos. Pesquisa descritiva e pesquisa prescritiva. **JICEX**, v. 9, n. 9, 2017. Disponível em: <https://unisantacruz.edu.br/revistas-old/index.php/JICEX/article/view/2604>. Acesso em: 8 de abr. 2025.

Pérez Gómez, Angel. **Educação na era digital: a escola educativa**. Trad. de Marisa Guedes. Porto Alegre: Penso, 2015.

ENGEL, Guido Irineu. Pesquisa-ação. **Educar**, Curitiba, n. 16, p. 181-191, 2000. Editora da UFPR. Disponível em: http://www.educaremvista.ufpr.br/arquivos_16/irineu_engel.pdf. Acesso em: 8 de abr. 2025.

GEBRAN, Mauricio Pessoa. **Tecnologias educacionais**. Curitiba: IESDE Brasil S.A, 2009.

LIMA, Maria Socorro Lucena; PIMENTA, Selma Garrido. Estágio e docência: diferentes concepções. **Poíesis Pedagógica**, Catalão, v. 3, n. 3 e 4, p. 5-24. 2006. Disponível em: <https://periodicos.ufcat.edu.br/poiesis/article/view/10542>. Acesso em: 5 abr. 2025.

MIT NEWS. **Professor Emeritus Seymour Papert, pioneer of constructionist learning, dies at 88**. Cambridge, Massachusetts, 2016. Disponível em: <https://news.mit.edu/2016/seymour-papert-pioneer-of-constructionist-learning-dies-0801>. Acesso em: 28 mar. 2025.

PIAGET, J. **A construção do real na criança**. São Paulo: Ática, 1973.

RODRIGUES, Gelze Serrat de Souza Campos. COLESANTI, Marlene T. de Muno. Educação ambiental e as novas tecnologias de informação e comunicação. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 20 (1): 51-66, jun. 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sn/a/4fsfCKXvpV8FvdxGyjJ95LS/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 mar. 2025.

SANTOS, Letícia Rodrigues., ANDRADE, Elisângela Ladeira de Moura., FERNANDES, Juliana Cristina da Costa., LIMA, Emmanuela Ferreira de. As contribuições da Teoria da Aprendizagem de Lev Vygotsky para o desenvolvimento da competência em informação. **Revista Brasileira de Biblioteconomia e Documentação**, São Paulo, v. 7, p. 1-15, 2021. Disponível em: <https://rbbd.febab.org.br/rbbd/article/view/1489>. Acesso em: 20 mar. 2025.

SILVA, Flávia Maria da; NUNES, Cícera Alves. Avaliação e suas Dimensões no Processo de Ensino Aprendizagem: Uma

Dinâmica Pedagógica na Visão de Hoffmann, Libâneo, Luckesi, Mello e Souza e, Sousa. **Id on Line Rev.Mult. Psic.**, v.14, n. 53, p. 95-107, 2020.

Disponível em:

<https://idonline.emnuvens.com.br/id/article/view/2842>. Acesso em: 22 mar. 2025.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**. São Paulo: Martins Fontes, 1984.

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE RECICLADO SUBMETIDO AO ENSAIO DE NÉVOA SALINA

ANALYSIS OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF RECYCLED HIGH DENSITY POLYETHYLENE SUBMITTED TO SALT SPRAY TEST

Cássio Aurélio Suski ¹
Pablo Rodrigo Hoffmann ²

RESUMO: Por toda a extensão da cronologia humana, o ser humano sempre conseguiu se superar no quesito de construir e aprimorar os seus utensílios para uma melhor vivência. Todavia, gerou e continua a gerar, incessantemente, uma imensa quantidade de resíduos, que hoje ameaça a vida no nosso planeta. Este artigo teve como objetivo analisar a degradação de polímeros de alta densidade (PEAD) por meio da salinização e umidade, para estudar a influência desses parâmetros na estrutura do material e, conseqüentemente, nas suas propriedades mecânicas. Foram confeccionados corpos de prova de PEAD reciclados por meio da trituração de embalagens, prensagem a quente em molde de alumínio e usinagem, formando, assim, duas chapas nas quais foi possível fazer a usinagem dos corpos de prova de ensaio de tração. Os corpos de prova CP1 ao CP4, oriundos da primeira chapa, e os corpos de prova CP5 ao CP10, oriundos da segunda chapa, foram divididos em grupo controle (não submetidos ao ensaio de névoa salina) e grupo variável (submetidos a 1000 horas de ensaio de névoa salina). Após o ensaio de névoa salina, realizaram-se os ensaios de tração em todos os corpos de prova do grupo controle e do grupo variável, a fim de analisar a influência da névoa salina nas propriedades mecânicas do polímero. Os resultados mostram a redução das propriedades mecânicas do PEAD após exposição em câmara de névoa salina, sugerindo que houve um processo de degradação por cisão da sua cadeia polimérica.

Palavras-chave: polímero, polietileno de alta densidade, reciclagem, propriedades mecânicas, névoa salina.

ABSTRACT: *Throughout history, humans have consistently demonstrated exceptional skills in developing and refining tools to enhance their experiences. However, it has produced and continues to create a great deal of waste, endangering life on Earth today. This article analyzes the polymer degradation of high-density (HDPE) through salinization and humidity to learn the influence of these parameters on the material structure and, consequently, on its mechanical properties. Recycled HDPE specimens were created by shredding, hot pressing in an aluminum mold, and machining, resulting in two plates that allowed for the machining of tensile test specimens. The specimens CP1 to CP4, from the first plate, and the specimens CP5 to CP10, from the second plate, were divided into a control group (not subjected to the salt spray test) and a variable group (submitted to 1000 hours of testing of salt mist). After the salt*

¹ Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais. Instituto Federal de Santa Catarina. E-mail: cassio.suski@ifsc.edu.br

² Estudante de Engenharia Elétrica. Instituto Federal de Santa Catarina. E-mail: pablo.rh13@aluno.ifsc.edu.br

spray test, tensile tests were conducted on all specimens from the control group and the variable group to analyze the influence of salt spray on the mechanical properties of the polymer. The results indicate a decrease in the mechanical properties of HDPE following exposure to a salt spray test, implying that a degradation process occurred due to the scission of its polymeric chain.

Keywords: *polymer; high density polyethylene; recycling; mechanical properties; salt spray.*

1 INTRODUÇÃO

Por volta de 1780, período que ficou marcado pelo início da primeira Revolução Industrial, os resíduos produzidos nas residências eram basicamente constituídos de material orgânico, em geral, o que facilitava a eliminação. É importante ressaltar que o tamanho das cidades e o número populacional eram baixos e não havia necessidade de grandes aterros sanitários, contudo o nosso novo modelo social vem causando danos ambientais, pois o consumismo que surgiu com a globalização e inovações tecnológicas tem incentivado a sociedade a descartar grandes quantidades de entulho, muitas vezes não orgânicos (Silva *et al.*, 2013).

O final do século XX foi marcado pelo surgimento dos materiais poliméricos, o que contribuiu grandemente para o desenvolvimento de novas tecnologias. Assim sendo, a demanda por esse tipo de material triplicou no século XXI em relação ao século passado, pois o aumento da capacidade de produção resultou na queda do custo de fabricação, deixando o homem mais dependente do consumo de produtos poliméricos (Innocentini-Mei *et al.*, 2005; Agnelli *et al.*, 1992).

A participação dos polímeros na composição dos resíduos urbanos nos países desenvolvidos tem sido cada vez mais notória, dentre os outros termoplásticos, um dos que mais tem se destacado nesse meio é o polietileno de alta densidade (PEAD), uma vez que esse artefato é encontrado em abundância nos lixões e aterros sanitários por todo o mundo, já que a sua fabricação em massa tem correspondido ao seu uso e descarte excessivo (Costa *et al.*, 2015).

Nos últimos anos, produtos feitos de polímeros em geral têm ganhado importância no meio comercial devido as suas propriedades mecânicas, baixo custo de produção, durabilidade e o seu peso. No entanto, o mesmo possui grande resistência biodegradável e degradação lenta, o que torna o descarte excessivo desse material uma grande problemática que pode acarretar vários impactos ambientais (Babetto *et al.*, 2015). A degradação é definida como a quebra parcial ou completa de um polímero sob a influência de vários fatores ambientais, como calor, luz, água, ação mecânica e microbiana (Iñiguez *et al.*, 2018).

É sabido que o maior fator de degradação dos termoplásticos é a exposição aos raios ultravioletas (UV) e que as suas propriedades são alteradas, tanto aspectos visuais quanto aspectos mecânicos, causando o amolecimento da estrutura polimérica, rachaduras superficiais, perda de transparência, erosão superficial, entre outros (Belmonte, 2020; Ghazi *et al.*, 2018). Os materiais expostos por muito tempo a essa radiação podem apresentar uma taxa de degradação notória em função do tempo devido à sensibilidade a esses comprimentos de onda que causam a quebra das cadeias poliméricas.

Diversos autores têm se referido aos efeitos da radiação solar como principal agente de degradação dos materiais expostos que os polímeros, sob exposição prolongada à intempérie, sofrem degradação polimérica pelos efeitos térmicos e pela radiação ultravioleta (UV) (Ronkay *et al.*, 2021). No entanto, são raros os estudos que tenham mencionado a degradação de PEAD por meio salino e úmido, uma vez que esse tipo de ação é classificada como lenta, já que levariam anos para que tais efeitos pudessem ser observados.

Conforme a Andrady (2011), no caso de resíduos plásticos em ambientes salinos ocorrem outros processos de degradação (biodegradação, degradação termo-oxidativa, degradação térmica e hidrólise) e são várias ordens de grandeza mais lentos do que a degradação foto-oxidativa. Com base no exposto, o presente artigo tem como objetivo analisar a degradação de polímeros de alta densidade (PEAD) por meio da salinização e umidade, a fim de estudar a influência desses parâmetros na estrutura do material e, conseqüentemente, nas suas propriedades mecânicas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A população mundial apresenta crescimento contínuo, tendo alcançado 7,7 bilhões de pessoas em 2019 (United Nations, 2019). Entretanto, projeta-se que o planeta não consiga sustentar mais de 10 bilhões de habitantes caso as tendências atuais se mantenham (Kin *et al.*, 2019; Taagepera, 2014). Nesse cenário, a produção de resíduos sólidos, especialmente plásticos, torna-se um desafio crescente. Estima-se que aproximadamente 6.789 milhões de toneladas métricas de plásticos não fibrosos foram produzidas entre 1950 e 2017, com um aumento progressivo a cada ano (Geyer *et al.*, 2017; Nova-Institut, 2015).

Grande parte desses plásticos é destinada a embalagens, cujo ciclo de vida é curto, transformando-se rapidamente em resíduos. Entre 1950 e 2015, foram geradas cerca de 6.300 milhões de toneladas métricas de resíduos plásticos primários e secundários (reciclados), dos quais apenas 9% foram efetivamente reciclados, 12% incinerados e os demais 79% descartados em aterros ou no meio ambiente de forma

irregular (Geyer *et al.*, 2017). Apesar dos avanços na coleta seletiva, uma fração significativa desses resíduos ainda é inadequadamente descartada, muitas vezes por comportamentos irresponsáveis (Tuffi *et al.*, 2018). Torna-se, portanto, essencial não apenas ampliar a coleta, mas também garantir que o maior volume possível de resíduos plásticos seja encaminhado para reciclagem (Czigany, 2020).

Entre os polímeros mais amplamente utilizados encontra-se o polietileno (PE), um termoplástico versátil e de baixo custo, com aplicações diversas em embalagens, tubulações, recipientes e produtos de uso cotidiano. O polietileno apresenta diferentes formas, com destaque para o Polietileno de Alta Densidade (PEAD) e o de Baixa Densidade (PEBD), cada qual com características distintas.

O PEAD, em particular, é um material semicristalino com estrutura molecular linear e baixa ramificação, resultando em densidade elevada (entre 0,941 e 0,965 g/cm³) e excelentes propriedades mecânicas e químicas. Dentre as suas principais qualidades estão a alta resistência à tração, boa rigidez e notável resistência a agentes químicos, o que o torna apropriado para uso tanto industrial quanto doméstico (Coutinho *et al.*, 2003).

Nos últimos anos, a reciclagem do PEAD tem ganhado importância estratégica, impulsionada pela necessidade de reduzir o impacto ambiental dos resíduos plásticos. A reciclagem pode ser realizada por meio de processos mecânicos ou químicos, sendo o primeiro o mais utilizado. Embora preserve a base estrutural do polímero, a reciclagem mecânica pode ocasionar degradações parciais, afetando propriedades mecânicas e térmicas. Entre os principais fatores que comprometem a qualidade do material reciclado estão a quantidade de ciclos de processamento, a presença de impurezas e aditivos residuais.

As propriedades mecânicas do PEAD reciclado, como resistência à tração, alongamento na ruptura, módulo de elasticidade e resistência ao impacto, frequentemente se deterioram em relação ao material virgem. Essa degradação está associada à quebra das cadeias poliméricas durante o reprocessamento e à presença de contaminantes. Ainda assim, quando bem processado e aditivado, o PEAD reciclado pode apresentar desempenho satisfatório para diversas aplicações.

O ensaio de névoa salina (*salt spray test*), padronizado pela norma ASTM B117, é um método amplamente utilizado para avaliar a resistência à corrosão de materiais expostos a ambientes agressivos, especialmente salinos. Embora originalmente desenvolvido para metais, esse ensaio tem sido aplicado a polímeros empregados em ambientes externos ou marítimos. O teste consiste na exposição do material a uma névoa contínua de solução salina (normalmente 5% de NaCl) sob condições controladas de temperatura e umidade por períodos determinados.

A exposição do PEAD reciclado ao ensaio de névoa salina permite avaliar a sua estabilidade físico-química em ambientes hostis. Embora polímeros tenham baixa absorção de água e sais, a presença de fissuras, microvazios ou degradação oxidativa pode facilitar a penetração de agentes agressivos, alterando as propriedades mecânicas. Além disso, aditivos e cargas presentes no PEAD reciclado podem responder de maneira distinta ao meio salino, influenciando a sua durabilidade.

Zhong *et al.* (2020) demonstraram que a simulação de imersão em água do mar combinada com envelhecimento por lâmpadas de xenônio reduz significativamente o desempenho de materiais plásticos, comprometendo a sua integridade estrutural e provocando a formação de defeitos internos. Outros estudos também abordaram os efeitos do uso prolongado de polímeros em ambientes externos. A exposição à radiação solar, por exemplo, leva à fotooxidação e fotodegradação, causando perda de propriedades mecânicas e desbotamento da superfície (Pan *et al.*, 2013). Xiao e Li (2010) observaram que a resistência à flexão e o módulo de elasticidade do PEAD diminuem com o tempo de exposição à radiação artificial, evidenciando a degradação progressiva do material.

A presença de umidade e exposição a ambientes aquáticos, como rios e oceanos, também interfere significativamente no desempenho dos polímeros. A água do mar, com sua alta salinidade, intensifica a degradação das propriedades físicas e mecânicas dos compósitos. Estudos de Jiang *et al.* (2019) comprovaram que o PEAD submetido à água do mar simulada sofre deterioração mecânica e alteração visual, atribuídas à ação corrosiva do meio.

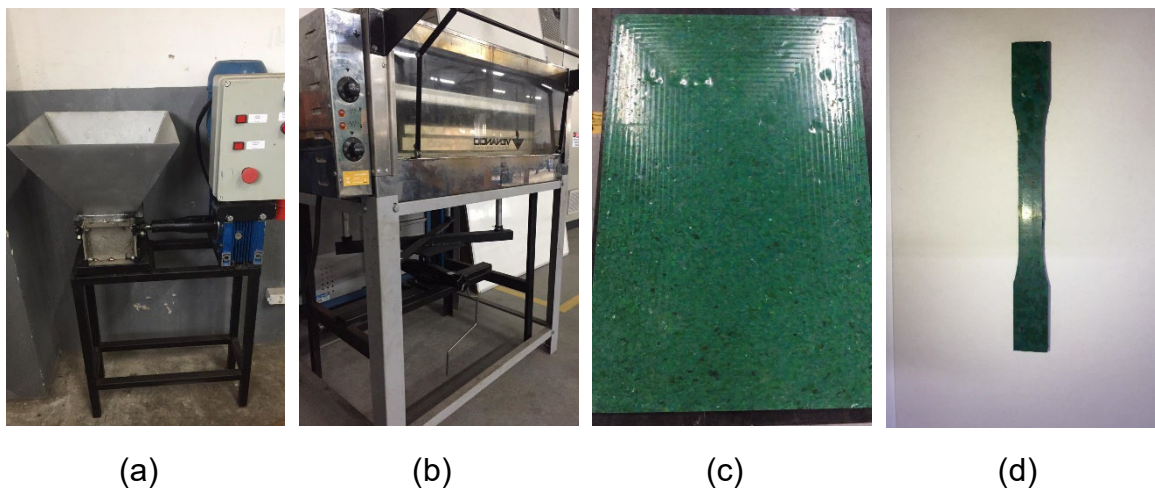
Diante disso, a análise das propriedades mecânicas do PEAD reciclado após o ensaio de névoa salina torna-se essencial para determinar a sua viabilidade em ambientes agressivos. Ensaio de tração, impacto e dureza após a exposição salina são indispensáveis para identificar alterações estruturais, prever o comportamento do material em longo prazo e garantir a sua confiabilidade em aplicações como embalagens industriais, peças automotivas, infraestrutura e produtos expostos a intempéries.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia baseou-se na análise da influência da salinidade nas propriedades mecânicas do PEAD reciclado, na qual 50% das amostras foram submetidas ao ensaio névoa salina e outros 50% sem o ensaio. Os corpos de prova foram confeccionados por meio de trituração (Figura 1a), prensagem a quente (Figura 1b) e usinagem.

Com o produto proveniente da trituração, foram produzidas duas chapas (Figura 1c) por meio da prensagem a quente em um molde de alumínio, na qual uma das chapas foi utilizada para a usinagem de 8 corpos de prova de ensaio de tração (Figura 1d) e com a segunda chapa foram usinados 12 corpos de prova de ensaio de tração, totalizando 20 corpos de prova.

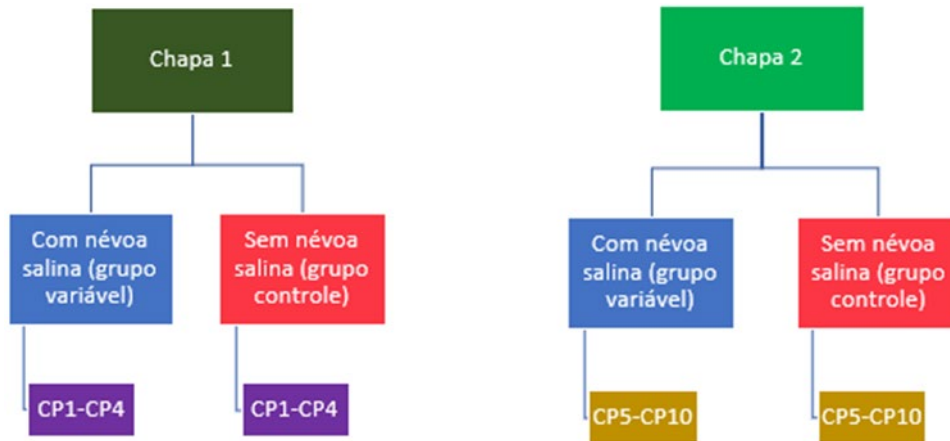
Figura 1: Triturador (a), Prensa (b), Chapa de PEAD reciclado (c) e Corpo de Prova (d).



Fonte: Autoria própria (2024).

Os corpos de prova foram separados em corpos de prova (CP1 ao CP4), oriundos da primeira chapa e em corpos de prova (CP5 ao CP10), oriundos da segunda chapa, assim como estes corpos de prova também foram divididos em grupo controle (não submetidos ao ensaio de névoa salina) e grupo variável (submetidos ao ensaio de névoa salina), conforme mostra o fluxograma da Figura 2. O ensaio de névoa salina foi realizado, no grupo variável, com 5% de NaCl, conforme a norma ABNT-NBR-8094-SS, totalizando 1.000 horas de ensaio com a temperatura da câmara sendo 35 °C, temperatura do saturador 45 °C e a pressão interna da câmara de 1 kgf/cm².

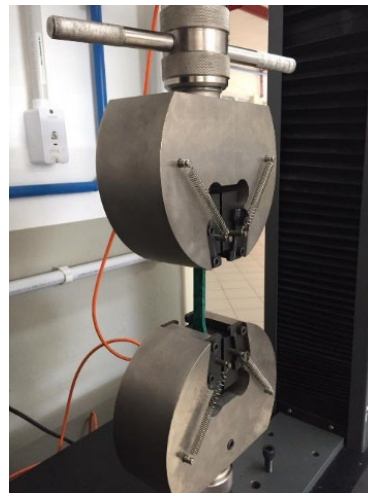
Figura 2 – Fluxograma de tipos de corpos de prova.



Fonte: Autoria própria (2024).

Após o ensaio de névoa salina, realizou-se o ensaio de tração (figura 3) em ambos os grupos de corpos de prova. Primeiramente, foram ensaiados os corpos de prova do grupo controle e, posteriormente, o grupo variável, segundo a Norma ASTM D638, a uma velocidade de 50 mm/min.

As propriedades mecânicas analisadas foram tensão de escoamento, tensão na força máxima e módulo de elasticidade. A análise dos dados obtidos foi realizada por meio de média aritmética por grupos de corpos de prova e por chapa que originou os corpos de prova, assim como foram calculados os parâmetros estatísticos, a fim de avaliar as correlações entre os grupos.



. Fonte: Autoria própria (2024).

Os parâmetros estatísticos avaliados para analisar as correlações discrepantes ou não de cada grupo foram o desvio padrão, o coeficiente de correlação de Pearson e o coeficiente de Spearman. Para o coeficiente de correlação de Spearman, enumerou-se os valores das propriedades mecânicas dos corpos de prova CP1-CP4 e CP5-CP10 com e sem névoa salina em tanques, calculou-se o coeficiente de correlação de Pearson (r) e estabelecido a quantidade de pares, graus de liberdade, p -valor e t -crítico de todos, com nível de significância de 0,05.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O ensaio de tração dos corpos de prova mostrou resultados diferentes entre as propriedades mecânicas do grupo controle e do grupo variável (quadro 1), indicando uma inexistência de correlação, especialmente pela análise da média e do desvio padrão.

Os valores médios da tensão de escoamento (MPa), da tensão na força máxima (MPa) e do módulo de elasticidade (MPa), oriundos da chapa 1 (CP1-CP4) e da chapa 2 (CP5-CP10), assim como as barras de erro atribuídas ao seu respectivo desvio padrão são observados nas Figuras 4 a 6. Pode-se observar que os desvios de cada grupo não se sobrepõem. Portanto, observa-se uma queda das propriedades mecânicas para os corpos de prova submetidos à névoa salina. A variação na tensão de escoamento, na tensão de força máxima e no módulo de elasticidade, entre o grupo controle e o grupo variável, foi de 10, 10 e 16% para os corpos de prova (CP1-CP4) e 17, 7 e 11% para os corpos de prova (CP5-CP10), respectivamente.

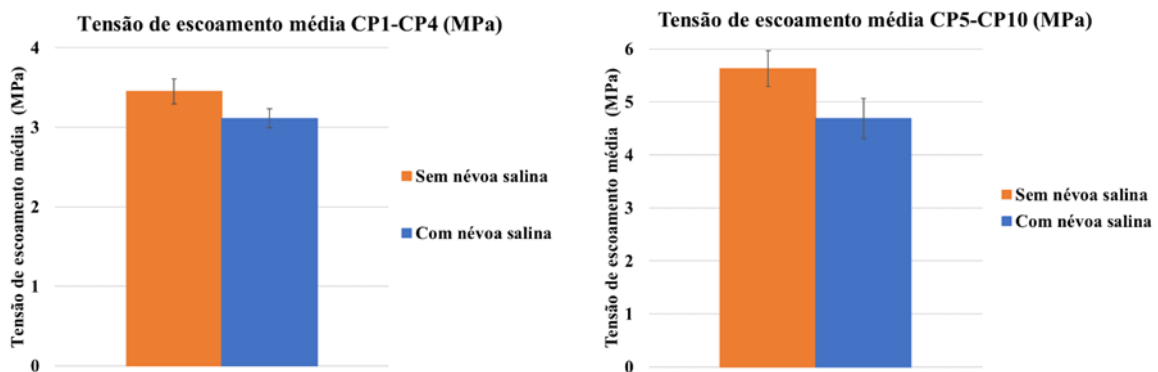
Quadro 1: Dados obtidos do ensaio de tração.

Ensaio de Tração								
Propriedades Mecânicas	Sem Névoa Salina (Grupo controle)				Com Névoa Salina (Grupo variável)			
	CP1 ao CP4		CP5 ao CP10		CP1 ao CP4		CP5 ao CP10	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Tensão de Escoamento (MPa)	3,45	0,1567	5,63	0,3358	3,11	0,1190	4,685	0,3754
Tensão de Força Máxima (MPa)	11,15	0,5938	16,01	0,3982	10,07	0,2837	14,865	0,3412
Módulo de Elasticidade (MPa)	455,34	29,9490	597,70	39,2626	384,48	29,8000	530,5533	23,5038

Fonte: Autoria própria (2024).

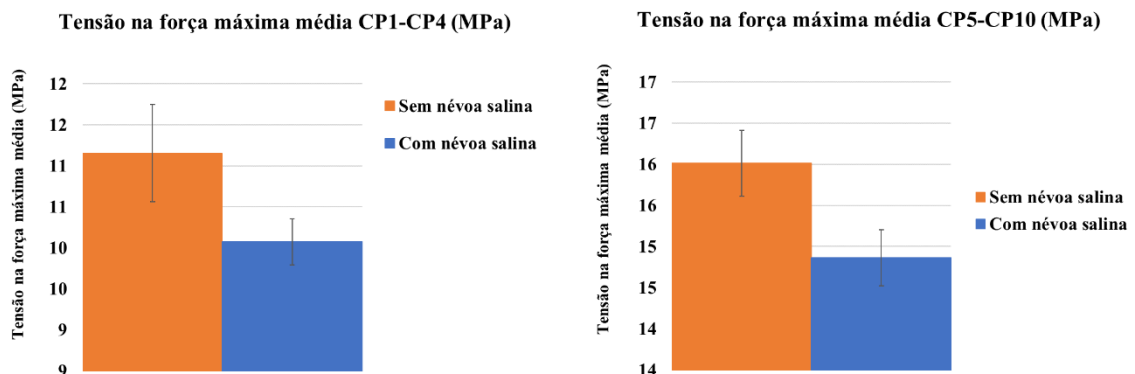
Tanto para os corpos de prova CP1-CP4 quanto para os corpos de prova CP5-CP10, com e sem névoa salina, obteve-se valores de p-valor muito maiores do que o nível de significância, indicando uma inexistência de correlação entre as amostras, descartando a possibilidade de aceitar o coeficiente de correlação de Pearson (r), conforme os Quadros 2 e 3. Ademais, para confirmar essa inexistência de correlação, foi calculado os valores de t Crítico, para comparar com o valor de t Estatístico, sendo todos os valores de t Crítico, maiores do que o t Estatístico, havendo evidência suficiente para rejeitar a hipótese de haver uma correlação.

Figura 4 - Tensão de escoamento média (MPa) dos CP1-CP4 (a) e dos CP5-CP10 (b).



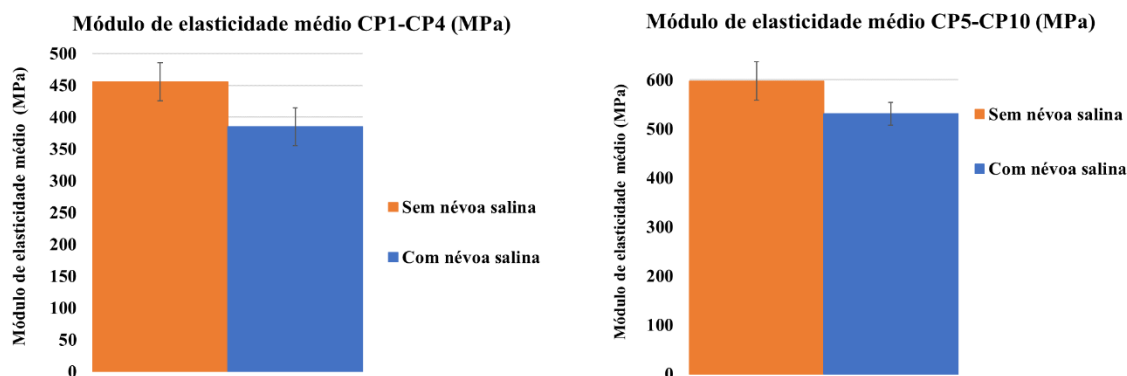
Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 5 - Tensão na força máxima média (MPa) dos CP1-CP4 (a) e dos CP5-CP10 (b).



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 6 - Módulo de elasticidade médio (MPa) dos CP1-CP4 (a) e dos CP5-CP10 (b).



Fonte: Autoria própria (2024).

Quadro 2: Cálculo do Coeficiente de Correlação de Spearman (CP1-CP4).

Coeficiente de Correlação de Spearman					
Corpos de prova 1-4					
Tensão de Escoamento		Tensão da Força Máxima		Módulo de Elasticidade	
Classificação Sem Névoa	Classificação Com Névoa	Classificação Sem Névoa	Classificação Com Névoa	Classificação Sem Névoa	Classificação Com Névoa
1,00	3,00	2,00	4,00	2,00	3,00
2,00	2,00	1,00	3,00	1,00	2,00
4,00	1,00	4,00	2,00	4,00	1,00
3,00	4,00	3,00	1,00	3,00	4,00
Coeficiente r: -0,400		Coeficiente r: -0,600		Coeficiente r: -0,200	
Nº de Pares: 4		Nº de Pares: 4		Número de Pares: 4	
t Estatístico: 0,6172134		t Estatístico: 1,060660172		t Estatístico: 0,2888675135	
Graus de Liberdade: 2		Graus de Liberdade: 2		Graus de Liberdade: 2	
p-valor: 0,6		p-valor: 0,4		p-valor: 0,8	
Nível de Significância: 0,05		Nível de Significância: 0,05		Nível de Significância: 0,05	
t Crítico: 4,30265273		t Crítico: 4,30265273		t Crítico: 4,30265273	

Fonte: Autoria própria (2024).

Quadro 3: Cálculo do Coeficiente de Correlação de Spearman (CP5-CP10).

Coeficiente de Correlação de Spearman					
Corpos de prova 5-10					
Tensão de Escoamento		Tensão da Força Máxima		Módulo de Elasticidade	
Classificação Sem Névoa	Classificação Com Névoa	Classificação Sem Névoa	Classificação Com Névoa	Classificação Sem Névoa	Classificação Com Névoa
1,00	6,00	1,00	5,00	1,00	3,00
4,00	3,00	3,00	2,00	3,00	2,00
2,00	1,00	4,00	3,00	4,00	1,00
6,00	2,00	6,00	1,00	2,00	4,00
5,00	5,00	5,00	6,00	5,00	5,00
3,00	4,00	2,00	4,00	6,00	6,00
Coeficiente r: -0,314884959		Coeficiente r: -0,371428571		Coeficiente r: 0,485714286	

Nº de Pares: 6	Nº de Pares: 6	Número de Pares: 6
t Estatístico: 0,663523459	t Estatístico: 0,800094691	t Estatístico: 1,111324766
Graus de Liberdade: 4	Graus de Liberdade: 4	Graus de Liberdade: 4
p-valor: 0,543283383	p-valor: 0,468478134	p-valor: 0,328723032
Nível de Significância: 0,05	Nível de Significância: 0,05	Nível de Significância: 0,05
t Crítico: 2,776445105	t Crítico: 2,776445105	t Crítico: 2,776445105

Fonte: Autoria própria (2024).

A queda nas propriedades mecânicas do PEAD após a exposição à névoa salina por 1.000 horas sugere um processo de degradação da sua cadeia polimérica. Estudos de degradação de polímeros (Belmonte, 2020; Ghazi *et al.*, 2018; Lodi *et al.*, 2007) mostram que as cadeias poliméricas são atacadas pela exposição aos raios ultravioletas, provocando reações que alteram a estrutura molecular do polímero, causando oxidações e/ou cisão das suas cadeias, causando interferência nos seus aspectos mecânicos, acelerando a degradação desse material. Outros estudos demonstram ensaios de névoa salina realizados em aços revestidos com epóxi poliéster, dos quais resultou a formação de bolhas, perda de massa e de aderência pelo revestimento após o ensaio de névoa salina após 2246 horas, também conforme a norma ASTM B117 (Akinci, 2009).

Além disso, outros autores utilizaram o ensaio de névoa salina em aplicações poliméricas. Segundo Duarte *et al.* (2016) e Gere e Czigany (2020), a degradação causa geralmente a cisão da cadeia polimérica, o que significa que o peso molecular diminui e, como resultado, a viscosidade diminui e também afeta as propriedades mecânicas dos polímeros.

Ronkay *et al.* (2021) desenvolveram um método de intemperismo artificial que incluiu intemperismo artificial UV com ciclos secos e úmidos e ciclos de névoa salina. O processo de intemperismo completo foi realizado nas tampas de PEAD das garrafas PET. Após 2.150 horas de intemperismo, a superfície das tampas apresentou uma leve rachadura. A superfície danificada foi examinada por microscópio eletrônico de varredura (MEV) e se descobriu que a superfície estava rachada e pequenas partículas de plástico se quebraram. Os danos foram leves, a redução de massa da tampa foi de apenas 1,5 mg (0,096% da massa total), mas as partes que se romperam ficaram na faixa de 10 a 100 µm, portanto, são consideradas microplásticos e, em resumo, a degradação diminuiu o peso molecular em função do tempo de ensaio, pode ser descrito matematicamente e resulta na redução das propriedades mecânicas das peças, o que corrobora com os resultados encontrados nesse artigo.

Iñiguez *et al.* (2018) constataram oxidação granular e escamas em superfícies de polietileno após o ensaio com água extraída do Mar Mediterrâneo e duas lâmpadas UV TUV PL-L 36W/4P (UVC 250) selecionadas para simular a luz solar natural, causando um enfraquecimento do plástico ao longo do tempo e constituindo padrões de degradação das propriedades térmicas.

Com base nos resultados obtidos nesse estudo, assim como pelos autores (Ronkay *et al.*, 2021; Iñiguez *et al.*, 2018; Andrady, 2011), citados anteriormente, sugere-se que processos de degradação por biodegradação, degradação termo-oxidativa, degradação térmica e hidrólise podem ter resultado em possível microtrincamento (cisão) da sua cadeia polimérica e na redução das propriedades mecânicas de tensão de escoamento, tensão na força máxima e módulo de elasticidade do PEAD.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve como objetivo analisar a degradação de polímeros de alta densidade (PEAD) por meio da salinização e umidade, a fim de estudar a influência desses parâmetros na estrutura do material e, conseqüentemente, nas suas propriedades mecânicas.

Neste estudo, foram triturados, prensados a quente e usinados corpos de prova de polietileno de alta densidade (PEAD) para posterior ensaio de névoa salina. Os resultados encontrados nesse estudo mostram a redução das propriedades mecânicas do PEAD após exposição de 1000 horas em câmara de névoa salina, sugerindo que houve um processo de degradação por cisão da sua cadeia polimérica, o que significa que o peso molecular diminui e, como resultado, também reduz as propriedades mecânicas de tensão de escoamento, tensão na força máxima e módulo de elasticidade do polímero estudado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio concedido pelo Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

- AGNELLI, J. A. M.; CHINELATTO, M. A. Degradação de polipropileno: aspectos teóricos e recentes avanços em sua estabilização, **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 2, n. 3, p. 27-31, 1992.
- AKINCI, A. The Salt Spray Corrosion of Polymer Coating on Steel. **Arabian Journal for Science and Engineering**, v. 34, p. 139-145, 2009.
- ANDRADY, A. L. **Microplastics in the marine environment**. Mar. Pollut. Bull. v. 62, p. 1596–1605, 2011.
- BABETTO, A. S.; AGNELLI, J. A. M.; BETTINI, S. H. P. Avaliação de sistemas pró-degradantes na degradação termooxidativa do PEAD, **Polímeros**, v. 25 p. 68–76, 2015.
- BELMONTE, G. K. **Explorando a Radiação Eletromagnética Na Modificação Superficial De Polímeros: Da Degradação À Litografia Euv**. 2020, 172p. Tese (Doutorado em Ciência dos Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul Programa – UFRS, Porto Alegre.
- COSTA, H. M.; RAMOS, V. D.; DEBOSSAM, P. P. S.; ANDRADE, M. C. Cinética de cristalização de resíduos de PEAD. **As&t**, v. 3 n. 2, 2015.
- COUTINHO, F.M.B.; MELLO, I.L.; SANTA-MARIA, L.C. "Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações", **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, 13(1), 1 (2003).
- CZIGANY, T. **Disposable or single-use plastics? Neither!!!** Recyclable or reusable plastics! Express Polym.Lett., 14 (2020), 10.3144/expresspolymlett.2020.1
- DUARTE, I. S.; TAVARES, A. A.; LIMA, P. S.; ANDRADE, D. L. A. C. S.; CARVALHO, L. H.; CANEDO, E. L.; SILVA, S. M. L. **Chain extension of virgin and recycled poly(ethylene terephthalate):** Effect of processing conditions and reprocessing, v. 124, v.26-34, 2016.
- GEYER R.; JAMBECK, J.R.; LAW, K.L. **Production, use, and fate of all plastics ever made**. Sci. Adv., 3 (2017), p. e1700782, 10.1126/sciadv.1700782
- GERE, D.; CZIGANY, T. Future Trends of Plastic Bottle Recycling: Compatibilization of PET and PLA. **Polymer Testing**, v. 81, p. 106-160, 2020.
- GHAZI, D.; EL-HITI, G. A.; YOUSIF, E.; AHMED, D. S.; ALOTAIBI, M. H. The Effect of Ultraviolet Irradiation on the Physicochemical Properties of Poly(Vinyl Chloride) Films Containing Organotin(IV) Complexes as Photostabilizers. **Molecules** (Basel, Switzerland), v. 23, p. 254, 2018.
- IÑIGHEZ, M. E.; CONESA, J. A.; FULLANA, A. Recyclability of four types of plastics exposed to UV irradiation in a marine environment, **Waste Management**, v. 79, p. 339–345, 2018.
- INNOCENTNI-MEI, L. H.; PILAR, D. S. C. **Visão geral sobre polímeros ou plásticos ambientalmente degradáveis PADs**, 2005.
- JIANG, LP, HE, CX, WANG, L. e JIANG, CY (2019). "Comparison of resistance to seawater degradation of four wood-plastic composites made of vegetable fiber/high-density polyethylene", Acta Materiae Compositae Sinica 2019, 36. DOI: 10.13801/ j.cnki.fhclxb.20181023.001
- KIN, C.S., UT, I.M., HANG, L., HOU, U.I., WENG, N.K., Ha, U.S., HIN, L.K., HENG, C.K., TIM, T.S., KUAI, C.I., SHAN, L.W., 2019. Predicting Earth's carrying capability of human population as the predator and the natural resources as the prey in the modified Lokta-Volterra equations with

time-dependent parameters. arXiv 1904.05002.

LODI, P. C.; ZORNBERG, J. G.
Degradação Ultravioleta de
Geomembranas Poliméricas, **VI
Congresso Brasileiro de Geotecnia
Ambiental e V Simpósio Brasileiro de
Geossintéticos**, p. 1–6, 2007.

NOVA-INSTITUT, 2015. Bio-based
building blocks and polymers in the world
– capacities, production and applications:
Status quo and trends toward 2020.
Nova-Institut GmbH, Hürth.

PAN, H., NI, MY, JIAN, WC e XU, CY
(2013). “Factors influencing the aging
performance of wood-plastic composites”,
**Forestry Machinery and Woodworking
Equipment 2**, 22-25.

RONKAY, F.; MOLNAR, B.; GERE, D.;
CZIGANY, T. Plastic Waste from Marine
Environment: Demonstration of Possible
Routes for Recycling by Different
Manufacturing Technologies. **Waste
Management** (New York, N.Y.), v. 119, p.
101–110, 2021.

SILVA, C. O.; SANTOS, G. M.; SILVA, L.
N. A degradação ambiental causada pelo
descarte inadequado das embalagens
plásticas: estudo de caso. **Reget**, v. 13. n.
13, p. 2683–2689, 2013.

TAAGEPERA, R. A world population
growth model: Interaction with Earth's
carrying capacity and technology in limited
space Technol. Forecast. Soc., 82 (2014),
pp. 34-41, 10.1016/j.techfore.2013.07.009

TUFFI, R.; D'ABRAMO, S.; CAFIERO,
L.M.; TRINCA, E.; VECCHIO CIPRIOTI, S.
Thermal behavior and pyrolytic
degradation kinetics of polymeric mixtures
from waste packaging plastics. Express
Polym. Lett., 12 (2018), pp. 82-99,
10.3144/expresspolymlett.2018.7

UNITED NATIONS, 2019. World
population prospects 2019: Highlights.
United Nations, Department of Economic
and Social

Affairs, Population Division, New York.

XIAO, W. e LI, DG (2010). “The effect of
accelerated aging by xenon lamp on
flexural strength and elastic modulus of
composite materials”, **Journal of Forestry
Machinery & Woodworking Equipment**
9(9), 37-39.

ZHONG, X., ZHU, Y., LIU, S., FU, J., LIN,
H., and HE, C. (2020). "Performance
analysis of four plant fiber/polyvinyl
chloride composites under two
degradation conditions with water or
seawater with xenon lamp," *BioRes.* 15(3),
4672-4688.

ANÁLISE DE PARÂMETROS FÍSICOS E MECÂNICOS DE AGREGADO MIÚDO RESIDUAL PARA PRODUÇÃO DE BLOCO DE ANCORAGEM DE CONCRETO

ANALYSIS OF PHYSICAL AND MECHANICAL PARAMETERS OF RESIDUAL FINE AGGREGATE FOR PRODUCTION OF CONCRETE ANCHOR BLOCKS

Elias Riffel¹

Marcelo Tadeu Lehmann²

Alexandre Maines³

Pedro Thiago Venzon⁴

RESUMO: A distribuição da água potável é um dos melhores investimentos em saúde pública que pode ser realizado, contribuindo para o controle e prevenção de doenças, hábitos higiênicos e limpeza pública. O abastecimento de água de uma cidade ocorre de forma contínua, por meio de redes de distribuição, compostas por tubulações que transportam água potável de forma eficiente para os consumidores. No entanto, as tubulações estão sujeitas a esforços internos e externos, que precisam ser absorvidos e transferidos para o solo. Dentre os esforços externos, destaca-se a força de empuxo, resultante da mudança de direção do fluxo da água. Para absorver essa força, uma das soluções adotadas é a construção de blocos de ancoragem, que garantem a estabilidade das tubulações. Nesse contexto, o objetivo foi avaliar a utilização do resíduo de captação de água (RCA) gerado pela estação de tratamento de água como substituto do agregado miúdo (areia industrial) natural na fabricação de concreto para produção de blocos de ancoragem na rede de distribuição de água. O trabalho foi delineado por uma pesquisa bibliográfica associada a um estudo de campo para a solução dos objetivos. Os resultados obtidos indicaram que o RCA é uma alternativa sustentável e eficaz para a fabricação dos blocos de ancoragem em sistemas de abastecimento de água, oferecendo benefícios tanto ambientais quanto estruturais.

Palavras-chave: bloco de ancoragem; empuxo hidráulico; construção sustentável.

ABSTRACT: *The distribution of drinking water is one of the most valuable investments in public health, as it plays a crucial role in controlling and preventing diseases, promoting hygiene habits, and maintaining public cleanliness. The water supply of a city occurs continuously through distribution networks composed of pipes that transport drinking water efficiently to consumers. However, the pipes are subject to internal and external forces, which could absorb and transfer to the soil. Among the external forces, the buoyancy force stands out, resulting from the change in the direction of the water flow. To counteract this force, one viable solution is constructing anchoring blocks that ensure the pipes remain stable. We examined the feasibility of utilizing water collection residue (WCR) from treatment plants as a replacement for conventional fine aggregate in concrete production for these blocks. This research combines a bibliographic review with a field study to achieve its objectives. The results indicated that WCR is a sustainable and effective alternative for the manufacturing of anchoring blocks in water supply systems, offering both environmental and structural benefits.*

¹ Mestre em Engenharia de Processos. UNIFE. E-mail: eliasriffel@unifebe.edu.br

² Bacharel em Engenharia Civil. UNIFE. E-mail: marcelo.lehmann@unifebe.edu.br

³ Doutor em Engenharia de Produção. UNIFE. E-mail: alexandremaines@gmail.com

⁴ Mestre em Engenharia Ambiental. UNIFE. E-mail: pedro.venzon@unifebe.edu.br

Keywords: anchor block; hydraulic thrust; sustainable construction.

1 INTRODUÇÃO

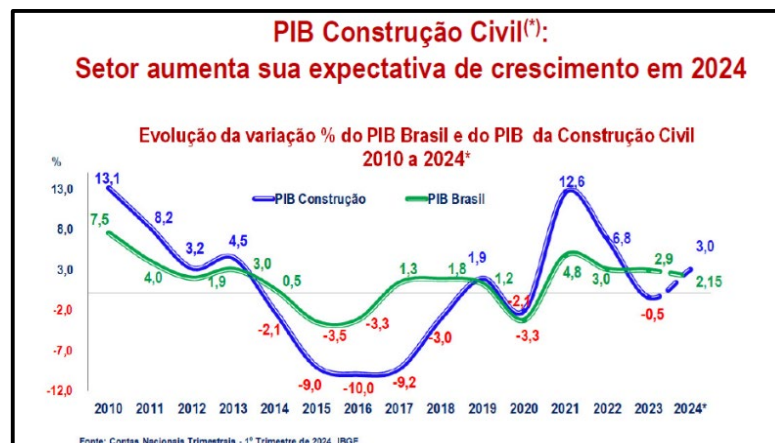
A construção civil é um setor da indústria que envolve grande quantidade de variáveis, sendo desenvolvida em um ambiente mutável e dinâmico, tornando o gerenciamento de uma obra um trabalho complexo (Pereira; Azevedo, 2020).

A construção civil no Brasil enfrenta uma série de desafios que podem moldar o cenário do segundo semestre do ano de 2024. À medida que o país busca fortalecer sua infraestrutura, várias questões desafiadoras surgem, demandando atenção e soluções estratégicas para o setor, oferecendo oportunidades para inovações (FEICON, 2024).

O setor da construção civil no Brasil se destacou entre os setores econômicos no segundo semestre de 2024, impulsionado pela resiliência do mercado de trabalho, novos programas habitacionais e leves reduções na taxa de juros que, aliados ao dinamismo do mercado atual, estimularam o bom desempenho do setor (CBIC, 2024).

Ainda, segundo o mesmo autor, o nível de atividade da construção civil no país se manteve em relação ao primeiro semestre do ano de 2023, sinalizando uma estabilidade no mercado da construção civil. Em função de certos fatores econômicos, o crescimento de 2,3% do PIB da construção civil previsto para o primeiro semestre do ano de 2024 foi revisado e a expectativa do crescimento passou para 3% neste ano, conforme representado na Figura 1.

Figura 1 - PIB da construção civil



Fonte: CBIC (2024).

De acordo com o Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (Brasil, 2024.c), é previsto um aporte de 30,5 bilhões de reais até 2026, destinados ao setor de infraestrutura hídrica, como grandes obras, sistemas de abastecimento de água e iniciativas para revitalizações de bacias hidrográficas no Brasil.

O acesso à água potável é um fator importante para a saúde pública; quando as comunidades possuem acesso à água limpa, a incidência de doenças acaba sendo significativamente reduzida, resultando em menos gastos públicos com tratamentos médicos, como afirmado pela Associação das Concessionárias Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto - ABCON SINDCON (2023).

O abastecimento de água de uma cidade é realizado em regime contínuo para a população através das redes de distribuição, sendo constituídas por tubulações e acessórios instalados nas vias públicas, fornecendo, assim, água potável em quantidade, qualidade e pressão adequadas aos consumidores (Heller; Pádua, 2010).

Segundo Tsutiya (2006), as tubulações geram esforços internos e externos que necessitam ser absorvidos e transferidos para o solo, e até mesmo para outras estruturas. Os esforços externos são provenientes da mudança de direção do fluxo do líquido, como uma curva, um tee, reduções e válvulas fechadas ou parcialmente fechadas, assim, a pressão interna não é anulada em todos os sentidos do conduto. A forma mais conhecida para absorver a força resultante desta mudança de direções é a construção de blocos de ancoragem.

O estudo tem como finalidade realizar ensaios experimentais para verificação do agregado miúdo, neste estudo denominado de RCA, como material componente de um traço experimental (TE) de concreto para produção de blocos de ancoragem com aplicação na tubulação de recalque de água para abastecimento urbano. Nesse contexto, indaga-se a seguinte questão problema: quais são os resultados dos ensaios de análise granulométrica e de resistência mecânica do RCA para aplicação no TE de concreto para produção de blocos de coroamento?

Nesse contexto, a pesquisa teve como objetivo geral avaliar a utilização do resíduo de captação de água (RCA) gerado pela estação de tratamento de água como substituto do agregado miúdo (areia industrial) natural na fabricação de concreto para produção de blocos de ancoragem na rede de distribuição de água. Com base no objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos: (i) determinar o módulo de finura (MF) por meio da composição granulométrica obtida no agitador de peneiras da série normal do agregado RCA proveniente da estação de tratamento de água; (ii) demonstrar os cálculos da força de empuxo hidráulico (FEH) na tubulação da rede de abastecimento e tratamento de água; e, (iii) realizar análise comparativa entre a força de ruptura por compressão (FRC) com a força de empuxo hidráulico (FEH) em ensaio mecânico de compressão axial.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

CONTEXTO HISTÓRICO DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA

A História da humanidade pode ser escrita baseada nas formas pelas quais o homem vem utilizando as águas do planeta, ou seja, a civilização foi dominando os diferentes processos de uso das águas. No decorrer dos séculos, o homem aprendeu a encontrar, tratar, armazenar e distribuir a água para seu próprio consumo (Pinto- Coelho; Havens, 2016). O homem, desde os seus ancestrais simiescos, provocou viver próximo a uma fonte de água qualquer. A civilização humana sempre dependeu e dependerá da água e, obviamente, foram assim com os povos da antiguidade (Rocha, 2016).

Os povos romanos destacaram-se pela construção de grandes sistemas de abastecimento de água, denominados aquedutos. Contudo, o primeiro aqueduto conhecido foi construído por Ezequiel, rei do Judá, em Jerusalém, em 700 a.C. Os aquedutos abasteciam as cidades com a água dos lagos por meio de fontes artificiais. Além disso, essas obras abasteciam as termas (banhos públicos) muito apreciadas pela população da época. Os banhos públicos eram comuns em Roma, por volta de 300 d.C. (Pinto-Coelho; Havens, 2016).

Os primeiros relatos de aquedutos sendo utilizados na Roma antiga foram por volta de 300 a.C. Os romanos desenvolveram extensos sistemas para a distribuição de água para as suas cidades. As águas eram coletadas e armazenadas em cisternas nas partes mais elevadas e distribuídas por meio de gravidade através do sistema de tubulações para os chafarizes das cidades e salas de banhos públicas, e até mesmo para algumas pessoas privilegiadas da sociedade (Cech, 2013). Ainda, conforme o mesmo autor, o sistema de infraestrutura de abastecimento de água da Roma antiga permitiu que tanto as cidades romanas quanto a população crescessem, tornando-se, assim, uma potência nos tempos passados.

No Brasil, o governo federal criou, em 1971, o Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), como um marco para o setor de água e esgoto, configurando a primeira experiência em todo o país que procurou modificar os índices precários que este setor tinha até então. O PLANASA apresentou os objetivos de erradicar o déficit e promover o equilíbrio entre oferta dos serviços de saneamento e a sua demanda urbana. Além disso, destacou a meta de que 80% da população urbana brasileira fosse atendida com abastecimento de água, e 50% com serviços de esgoto, até 1980 (Instituto Trata Brasil, 2024). De forma sucinta, o histórico do setor de saneamento básico no Brasil pode ser analisado segundo os eventos relacionados no Quadro 1.

Quadro 1 - Evolução dos marcos regulatórios de água e esgoto

Descrição do período	Período
Plano Nacional do Saneamento (Planasa)	1971-1986
Hiato Regulatório	1986-2007
Lei Federal n.º 11445 (Lei do Saneamento)	2007
Política Nacional de Saneamento Básico (Plansab)	2013
Lei Federal n.º 14026 (Novo Marco Legal do Saneamento Básico)	2020

Fonte: Adaptado de Instituto Trata Brasil (2024).

Segundo Vilarinho e Couto (2023), o ponto mais destacado da atualização do marco legal da Lei do Saneamento foram as metas de universalização dos serviços, atendendo 99% da população com água potável e abrangendo 90% com coleta e tratamento de esgotos até 31 de dezembro de 2033. No âmbito da regulação, uma das mudanças mais significativas foi a transformação da Agência Nacional de Águas (ANA) em Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANASB).

DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA NO BRASIL

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), define-se saneamento como o controle dos fatores do meio físico do ser humano, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem-estar físico, mental e social. Pode-se também dizer que saneamento é o conjunto de medidas realizadas, visando a preservação das condições ambientais, de modo a melhorar a qualidade de vida da população e facilitar a atividade econômica (Brasil, 2021).

Segundo a Lei n.º 11445 de 2007, atualizada pela Lei n.º 14026 de 2020, define-se saneamento básico como o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, além de esgotamento sanitário. A prestação dos serviços é orientada pela visão integrada dos quatro componentes e a sua articulação com políticas de desenvolvimento urbano e regional, de habitação, de combate à pobreza e a sua erradicação, de promoção da saúde, dos recursos hídricos, de proteção ambiental e de outras áreas de interesse social relevante, destinadas à melhoria da qualidade de vida para as quais o saneamento básico seja fator determinante (Brasil, 2023).

O sistema de abastecimento de água pode ser projetado e concebido para atender a grandes cidades ou a pequenos povoados, variando nas características e no porte das suas instalações. O sistema constitui-se das seguintes etapas: captação da água da natureza, adequação da sua qualidade ao padrão potável, transporte até os aglomerados humanos e fornecimento à população em quantidade compatível com as suas necessidades (Instituto Trata Brasil, 2012).

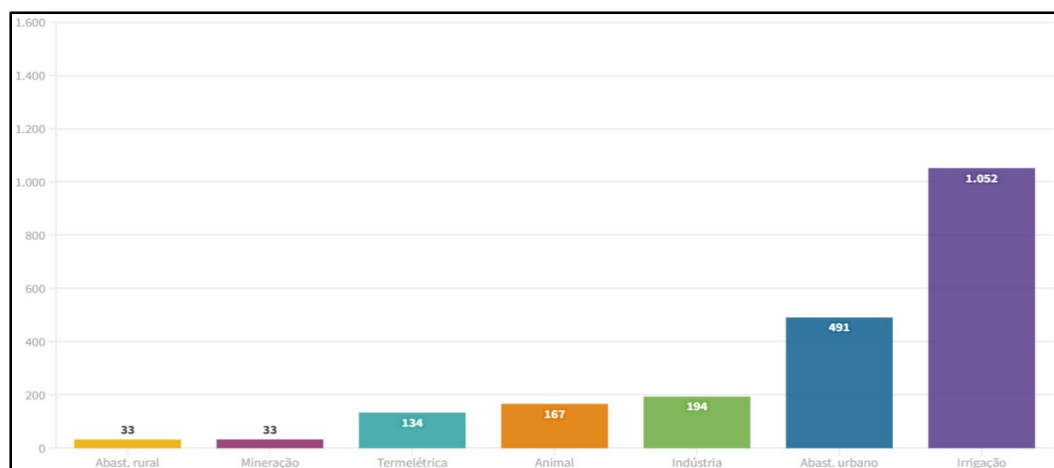
Consoante os dados de 2018 do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), cerca de 83,6% dos brasileiros possuem acesso básico ao serviço de abastecimento de água (ANA, 2025).

Os principais usos consuntivos setoriais da água no Brasil são o abastecimento humano (entre urbano e rural) e animal, a indústria de transformação, a mineração, a termoelectricidade e a agricultura irrigada. Atualmente, a retirada total de água no Brasil é de 88,8 trilhões de litros ao ano ($2.816 \text{ m}^3/\text{s}$), sendo 27% de evaporação líquida e 73% por setores específicos (usos setoriais). Dentre os setores, a agricultura irrigada, o abastecimento urbano e a indústria de transformação somam cerca de 85% do total.

A evolução dos usos da água foi expressiva nas últimas décadas - a retirada para os usos setoriais expandiu em 550 bilhões de litros médios anuais entre 1940 e 1980, acelerando para 830 bilhões entre 1980 e 2000 e para 1,30 trilhões entre 2000 e 2021 (Brasil, 2024.b).

A Figura 2 demonstra a evolução dos usos setoriais relativos a 2023.

Figura 2 - Retirada em m^3/s dos usos setoriais



Fonte: Brasil (2024.a)

A demanda de água no Brasil passou por diversas transformações ao longo da história, impulsionadas pela urbanização, crescimento populacional, desenvolvimento industrial e mudanças no estilo de vida da sociedade. A demanda no país vem crescendo continuamente ao longo dos anos, com destaque para o abastecimento das cidades, da agricultura irrigada e da indústria de transformação, que somam cerca de 83% do total. A demanda de água pode sofrer alterações por conta de fatores relacionados a questões econômicas, climáticas ou ambientais. Um dos principais aspectos está relacionado ao crescimento populacional, pois o aumento do número de habitantes resulta em maior necessidade de água, seja para uso direto das pessoas, seja para produção de bens de consumo e serviços (Brasil, 2024.a).

SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

Segundo a ABNT (NBR 12218, 2017) o sistema de distribuição de água é definido como o conjunto das tubulações e os seus acessórios, destinado a fornecer água potável à disposição dos consumidores, de forma contínua, em quantidade e pressão recomendadas.

Heller e Pádua (2010) definem rede de distribuição como a forma com que as tubulações são instaladas, formando assim a rede de condutos interligados entre si e possibilitando diversas derivações para a distribuição de água potável aos imóveis abastecidos.

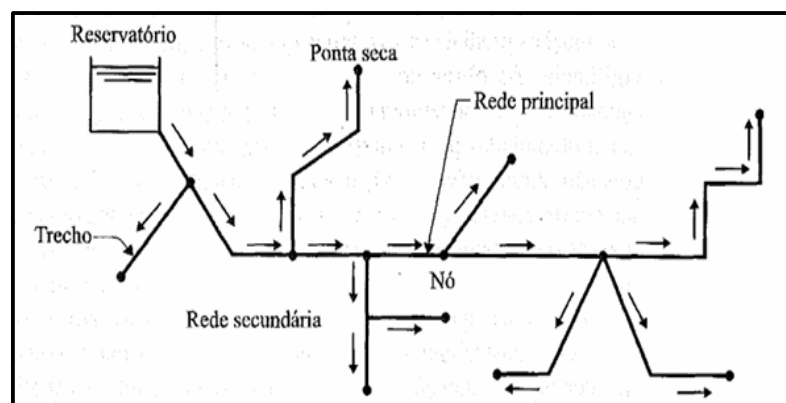
Um sistema de abastecimento de água é constituído por dois tipos de canalizações. A canalização principal, que também é denominada conduto tronco, são tubulações de maior diâmetro cuja finalidade é abastecer as canalizações secundárias, que são tubulações de menor diâmetro e a sua função é abastecer diretamente os pontos de consumo do sistema de abastecimento (Tsutiya, 2006).

As redes de distribuição de água podem ser classificadas com a disposição das tubulações principais e secundárias em redes ramificadas, redes malhadas ou mistas.

2.3.1 Rede de distribuição ramificada

Este tipo de rede é classificado como ramificada quando o abastecimento ocorre por meio de uma tubulação tronco, alimentada por um reservatório e a distribuição é feita diretamente para os condutos secundários, tendo o conhecimento do sentido da vazão em todo o trecho da tubulação (Tsutiya, 2006). A Figura 3 mostrou esta tipologia.

Figura 3 - Rede de distribuição ramificada

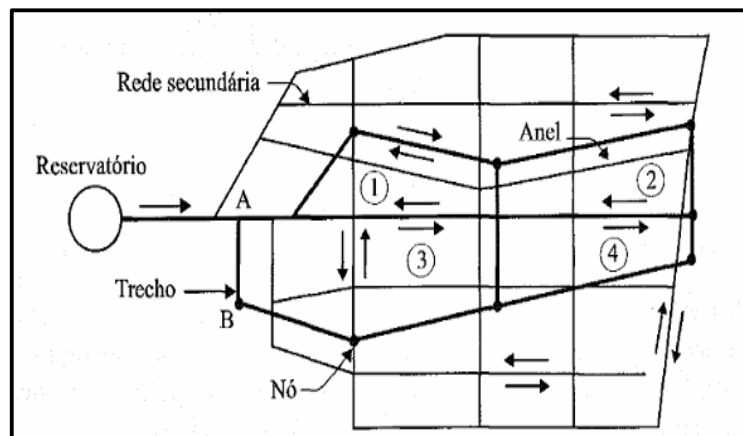


Fonte: Tsutiya (2006).

2.3.2 Rede de distribuição malhada

As redes de distribuição malhadas são constituídas pelas tubulações principais e secundárias formando um tipo de anel entre si, de modo que o abastecimento é feito com qualquer ponto do sistema. Nesse tipo de sistema o sentido da vazão da tubulação é desconhecido (Tsutiya, 2006), conforme representada na Figura 4.

Figura 4 - Rede de distribuição malhada



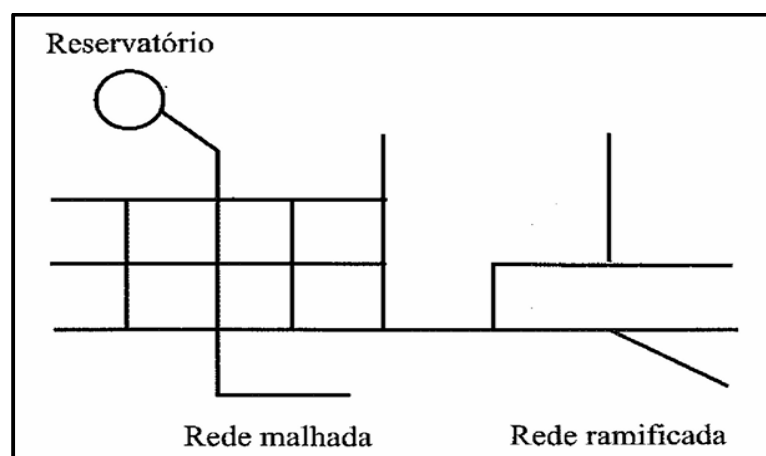
Fonte: Tsutiya (2006).

2.3.3 Rede de distribuição mista

A rede de distribuição mista é a combinação das redes de distribuição ramificadas e as redes de distribuição malhadas no mesmo sistema de abastecimento.

A Figura 5 detalhou a distribuição mista.

Figura 5 - Rede de distribuição mista



Fonte: Tsutiya (2006).

2.4 FORÇA DE EMPUXO

As tubulações de água podem gerar esforços internos e externos. Os esforços internos são absorvidos pela própria tubulação, contudo, os esforços externos provenientes da mudança de direção do fluxo do líquido, como curvas, reduções, válvulas fechadas e até mesmo derivações, não são absorvidas pela tubulação (Tsutiya, 2006). Os principais pontos onde ocorrem os esforços desequilibrantes são as conexões das tubulações realizadas com juntas elásticas (Lasmar, 2010).

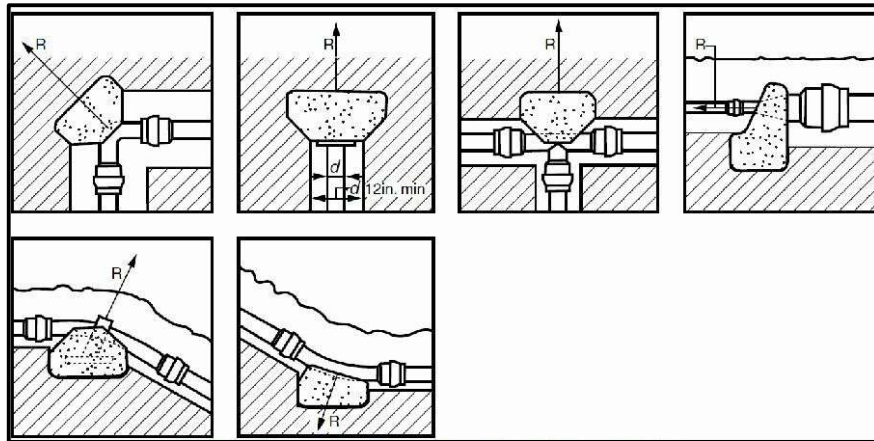
Ainda de acordo com Tsutiya (2006), as tubulações estão sujeitas a alguns tipos de esforços, entre os quais: 20

- a) Tensão tangencial:** Causada pela pressão interna do líquido;
- b) Tensão longitudinal:** Causada pela pressão interna do líquido, quando ocorre mudança de direção ou obstrução do fluxo do líquido;
- c) Tensão longitudinal devido às variações térmicas:** Causada pela mudança de temperatura;
- d) Tensões de compressão e flexão:** Causadas pelo peso próprio da tubulação, peso da água ou por cargas externas;
- e) Tensão de apoio:** causadas pelas reações dos apoios onde a tubulação está assentada.

De acordo com as prescrições da ABNT (NBR 17015, 2022), nas tubulações de água pressurizadas que utilizam juntas elásticas, devem ser executadas ancoragens nas peças aplicadas que geram tensões longitudinais. As ancoragens devem ser de concreto, madeira de lei ou até mesmo em aço.

Ainda como disposto na mesma instrução normativa, para tubulações com diâmetro nominal de até 0,10 m (100 mm) são consideradas ancoragens de pequeno porte, podendo ser executadas com pontaletes de madeira. Para tubulações com diâmetros superiores a 0,10 m (100 mm), devem ser executados blocos de ancoragem de concreto conforme exemplos da Figura 6.

Figura 6 - Exemplos de blocos de ancoragem



Fonte: ABNT (NBR 17015, 2022).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A pesquisa visa analisar os parâmetros físicos e mecânicos do agregado miúdo proveniente da coleta de água de uma estação de tratamento, neste estudo denominado de RCA, sendo completamente substituído pelo agregado miúdo de um traço de referência (TR) definido e adotado para a fabricação do concreto dos blocos de ancoragem da rede de distribuição de água, tais análises permitiram classificar a natureza aplicada da pesquisa.

Na abordagem relativa ao problema, a pesquisa tem configuração qualitativa, em função da expressividade dos seus conceitos e definições, conforme Gonçalves *et al.* (2014), visando por descrever e decodificar um sistema de significados; em outra parte do todo, a pesquisa também tem perfil quantitativo, expresso pelos índices numéricos que compõem os resultados esperados. Gerhardt e Silveira (2009) avaliam que a pesquisa quantitativa enfatiza os atributos mensuráveis da experiência.

Conforme os seus objetivos, o estudo foi delineado como descritivo, cujo propósito é descrever as características do fenômeno, o estabelecimento da relação entre as variáveis e o descobrimento da existência de associações entre as variáveis (Gil, 2016).

Em relação à coleta de dados, a pesquisa foi estabelecida em conjunto de dois procedimentos técnicos de pesquisa: bibliográfica e estudo de campo.

- Na etapa bibliográfica, foram coletadas informações consolidadas de fontes, como livros, normas técnicas, trabalhos acadêmicos, artigos de periódicos, entre outros. Conforme reforçam Marconi e Lakatos (2017), isso abrange toda a bibliografia já tornada pública.

- O estudo de campo foi configurado pela coleta de amostras do agregado RCA no ponto de captação de água para a rede de abastecimento. Marconi e Lakatos (2017), ainda descrevem que o estudo de campo consiste na observação de fatos e coleta de dados que se presumem relevantes para analisá-los.

3.2 POPULAÇÃO E AMOSTRA

Segundo Matias-Pereira (2019), população ou universo da pesquisa é a totalidade de indivíduos que possuem as mesmas características definidas para um determinado estudo. Nesta pesquisa, os elementos abordados como população foram representados pelos diversos tipos de agregados, sendo eles agregados graúdos e miúdos.

Ainda segundo Matias-Pereira (2019), amostra é parte da população ou do universo, selecionada de acordo com uma regra ou plano. A amostra pode ser probabilística ou não probabilística. Nesta pesquisa, a amostra foi classificada, sendo o agregado miúdo definido como resíduo de captação de água (RCA).

3.3 INSTRUMENTOS DA PESQUISA

Os instrumentos de pesquisa utilizados na realização da pesquisa consistem na utilização de agitador de peneiras para análise granulométrica do agregado miúdo coletado no desarenador do processo de captação de água, betoneira elétrica para produção de concreto, formas metálicas para ensaios de rompimento dos corpos de prova (CP) e prensa hidráulica para rompimento e análise dos CP.

3.4 PROCEDIMENTOS DA PESQUISA

3.4.1 Coleta do material

O agregado miúdo RCA é um resíduo que está integrado na água captada para tratamento e distribuição no sistema de abastecimento na cidade de Guabiruba–SC, sendo coletada diretamente do Rio Lageado Alto. O material entra no sistema e é descartado em tanques, conhecidos como leito de secagem, quando todo o sistema precisa ser limpo. Na Figura 7, observa-se o resíduo captado no leito do rio.

Figura 7 - Agregado miúdo no leito do rio



Fonte: os autores (2024).

3.4.2 Secagem do material

O método escolhido para a secagem do material foi a utilização de uma estufa, sendo o método mais comum de secagem utilizado, garantindo que a umidade seja totalmente removida do material sem alterar as características físicas das partículas com uma temperatura controlada desde o início da secagem. Após o material ser coletado, ele foi separado em bandejas e deixado para secar numa estufa a 100 °C +/- 5 °C durante 48 horas, como apresentado na Figura 8.

Figura 8 - Material na estufa



Fonte: os autores (2024).

A secagem do material antes da análise granulométrica é uma etapa fundamental para garantir que os resultados sejam precisos, evitando os desvios nas características do material, sem interferências externas, como a umidade. Segundo a norma técnica ABNT (NBR 17054, 2022), na sua subseção 6.1.1, deve-se secar as amostras durante 24 h ou até massa constante, à temperatura de 105 ± 5 °C. A massa é considerada constante quando a variação entre duas pesagens consecutivas, em intervalo de pelo menos 1h, for inferior a 0,1%.

3.4.2 - Realizar análise granulométrica do material escolhido

Após as 48 horas de secagem do material, foram realizados 10 testes de granulometria conforme a ABNT (NBR 17054, 2022) com as peneiras da série normal: 9,5 mm; 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 600 µm; 300 µm, 150 µm e o fundo, com utilização de uma balança digital para as pesagens, como ilustrado na Figura 9.

Figura 9 - Teste de granulometria



Fonte: os autores (2024).

O módulo de finura (MF), obtido do ensaio de granulometria, é um índice que expressa a finura do agregado miúdo. O valor do módulo de finura é obtido por meio da equação 01.

$$MF = \frac{\Sigma \% \text{ Retido acumulado}}{100} \quad (\text{equação 01})$$

Onde: $\Sigma \% \text{ Retido acumulado}$ = somatório do percentual acumulado do material nas peneiras da série normal com as malhas 9,5mm, 4,75mm, 2,36mm, 1,18mm, 600 µm, 300 µm e 150 µm (descartando o fundo para cálculos).

3.4.4 Elaboração da mistura de concreto

A mistura de concreto, neste estudo denominada traço experimental (TE), foi definida considerando a produção de 9 corpos de prova com volume estimado em 0,0157 m³. O concreto foi calculado para a resistência à compressão (fck) de 20 MPa, sendo utilizado na sua composição o cimento, brita 0, brita 1, areia fina, areia industrial e o RCA, com fator água/cimento = 0,6, conforme dosagem de 1 m³ do traço de referência (TR) apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição do TR

Volume necessário			1,00 m ³		
Cimento (kg)	Brita 0 (kg)	Brita 1 (kg)	Areia fina (kg)	Areia Industrial (kg)	Água (kg)
320	370	555	280	640	192

Fonte: os autores (2024).

A quantidade de materiais necessários para a execução do TE foi calculada e desdobrada para o volume amostral, conforme representado na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição do TE

Volume necessário				0,0157 m ³	
Cimento (kg)	Brita 0 (kg)	Brita 1 (kg)	Areia fina (kg)	RCA (kg)	Água (kg)
5,00	5,80	8,70	4,40	10,00	3,00

Fonte: os autores (2024).

4.3.5 Execução do TE de concreto

O material foi pesado e, posteriormente, adicionado à betoneira; após o concreto ser misturado, foi realizado o ensaio de *Slump Test* e a produção de 9 corpos de prova para análise posterior da resistência (fck) como apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Corpos de prova



Fonte: os autores (2024).

Na confecção dos CPs, foram utilizadas formas cilíndricas de Φ 10 cm, que após o período de cura em submersão de 28 dias, realizou-se o ensaio de resistência à compressão axial, conforme a ABNT (NBR 5739, 2018).

3.4.6 Rompimento dos CP

Após 14 dias da concretagem dos corpos de prova, foram realizados o rompimento de 2 CPs, para uma análise inicial e verificação prévia da resistência do concreto, que alcançou o valor de 14,75 MPa. Após 28 dias, os 7 CPs restantes foram rompidos para a verificação da resistência final de compressão do concreto, atingindo-se o valor de 20,82 Mpa. Dessa forma, atendendo à determinação normativa para concretos estruturais de Classe I. Os rompimentos foram realizados por meio da prensa Emic SSH300 disponível no Laboratório de Solos e Materiais do Centro Universitário de Brusque - UNIFEBE, como apresentado na Figura 11.

Figura 11 - Rompimento do CP



Fonte: os autores (2024).

3.4.7 Equação da força de empuxo

O cálculo da força resultante exercida pela tubulação de água pode ser calculado, aplicando o teorema de Euller, porém, no ambiente da construção civil, Tsutiya (2006) afirma que é comum utilizar-se uma expressão simplificada do teorema, conforme descrito na equação 02.

$$r = k \times p \times a \quad \text{(equação 02)}$$

Onde: r = Força de empuxo hidráulico (kgf);

p = Pressão interna máxima (kg/cm²);

a = Seção transversal (externa) (cm²);

k = Coeficiente em função da geometria da peça:

- Flanges, caps e tês: $k = 1$
- Reduções: $k = A'/A$ (A' = seção de menor diâmetro)
- Curvas de ângulo Θ : $k = 2 \sin \Theta/2$
- Curvas de ângulo 90°: $k = 1,414$
- Curvas de ângulo 45°: $k = 0,765$
- Curvas de ângulo 22° e 30°: $k = 0,390$
- Curvas de ângulo 11° e 15°: $k = 0,196$

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 ANÁLISE DO MÓDULO DE FINURA

A análise granulométrica é um método de ensaio utilizado para determinar o tamanho das partículas de agregados miúdos e graúdos, sendo indispensável tal análise para entender a composição do material. Os testes realizados foram baseados na ABNT (NBR 17054, 2022). Após os ensaios de 10 conjuntos amostrais do RCA e a utilização da equação 01, obteve-se o valor do módulo de finura (MF) médio de 3,53, mostrado no Quadro 3, constatando que o material utilizado classifica-se como uma areia grossa, conforme representado no Quadro 4.

Quadro 3 – Módulo de finura

Testes	MF
Teste 1	3,48
Teste 2	3,71
Teste 3	3,72
Teste 4	3,37
Teste 5	3,69
Teste 6	3,45
Teste 7	3,57
Teste 8	3,48
Teste 9	3,43
Teste 10	3,42
Média	3,53

Fonte: Os autores (2024).

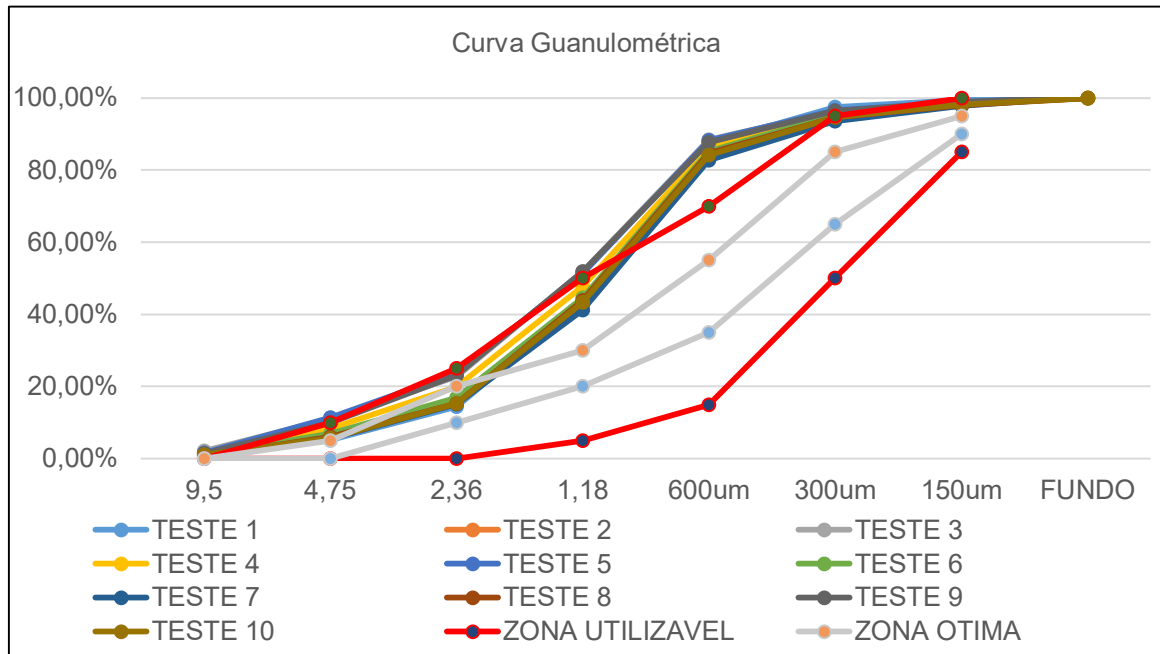
Quadro 4 – Classificação do módulo de finura

Tipos	Módulo de finura (MF)	Utilização
Areia grossa	$MF > 3,3$	Chapisco e concreto
Areia média	$2,4 < MF < 3,3$	Emboço e concreto
Areia fina	$MF < 2,4$	Reboco

Fonte: Ribeiro, Pinto e Starling (2013).

No Gráfico 1 foi apresentada a curva granulométrica do material ensaiado, onde pode ser observado que o material possui características uniformes em todas as análises granulométricas executadas.

Gráfico 1 - Ensaio de granulometria da amostra



Fonte: autores (2024).

O resultado do ensaio de granulometria do conjunto amostral, pela análise das médias representadas no Quadro 3, indica que o MF = 3,53 obtido é característico para a utilização em concreto. Na avaliação do gráfico, considerando os intervalos das zonas ótima e utilizável, foi verificado um desvio apenas na peneira de malha 600 µm. Para as demais malhas de peneiras, o material ficou contido e sobrepôs a zona utilizável, conforme os parâmetros normativos.

4.2 FORÇA DE EMPUXO HIDRÁULICO (FEH)

A força de empuxo é a força que a água exerce sobre os tubos ou conexões do sistema de abastecimento de água e até mesmo a força do movimento da água e a sua pressão de serviço. O empuxo, em termos simples, pode ser compreendido como “força para fora” que a água exerce sobre as superfícies da tubulação.

As principais fontes geradoras de empuxos nas tubulações são as mudanças de direção do fluxo da água, principalmente em elementos que realizam conexões com junta elástica, como um tê ou uma curva. Tais elementos são encontrados nos modelos de abastecimento, como nas redes malhadas e nas redes ramificadas.

De acordo com Lasmar (2010), os esforços resultantes do empuxo hidráulico podem atingir valores extremamente elevados, propensos inclusive a desencaixar os componentes das tubulações, provocando problemas para o abastecimento de água.

Para contexto de cálculo, foi considerada uma situação hipotética com a conexão menos favorável para uma ancoragem de uma curva de ângulo 90° com diâmetro de 200 mm com pressão máxima de 70 mca; utilizando-se a equação 02 e transformando as unidades para o cálculo, obteve-se o seguinte resultado:

Dados:

$$A = 220\text{mm} \rightarrow 22\text{cm}$$

$$P = 0,7 \text{ MPa} \rightarrow 7,15 \text{ kg/cm}^2$$

$$K = 1,414 \text{ (Curvas de ângulo } 90^\circ)$$

Equação aplicada:

$$r = k \times p \times a$$

$$r = 1,414 \cdot 7,15 \cdot \frac{\pi \cdot 22^2}{4}$$

$$r = 3843,16 \text{ kgf}$$

Assim posto, no resultado do cálculo de empuxo aplicando-se a equação 02 foi determinado o valor FEH = 3.843,16 kgf exercida pela curva. O empuxo hidráulico é dificilmente absorvido pelo terreno, assim, para melhor absorção das forças geradas, aconselha-se a construção de um bloco de concreto para suportar a força solicitante.

4.3 RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO

A resistência do concreto é um dos parâmetros importantes que determinam a *performance* e a durabilidade de um elemento estrutural. Ela denomina a capacidade do elemento suportar cargas sem sofrer falhas ou grandes deformações ao ponto de afetar a sua estabilidade estrutural.

A resistência do concreto é medida por meio do teste de compressão axial, f_{ck} , de corpos de prova cilíndricos, especificado pela ABNT (NBR 5739, 2018), em que é avaliada a força máxima que o CP consegue suportar antes de se romper.

Os resultados obtidos por meio do ensaio de resistência à compressão axial após 28 dias de cura do concreto estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Análise dos CPs

Corpo de prova	Área (mm ²)	FRC (kN)	Resistência à compressão (MPa)	FRC (kgf)
CP 1	7853,98	161,28	20,5	16445,40
CP 2	7853,98	158,49	20,2	16160,91
CP 3	7853,98	156,83	20,0	15991,64
CP 4	7853,98	164,87	21,0	16811,46
CP 5	7853,98	166,70	21,2	16998,06
CP 6	7853,98	168,10	21,4	17140,82
CP 7	7853,98	168,27	21,4	17158,15
Média	7853,98	163,51	20,81	16672,35

Fonte: os autores (2024).

4.3.1 Força de ruptura por compressão (FRC)

A resistência característica à compressão é um valor crítico para os projetos de engenharia civil, determinados a partir de ensaios laboratoriais, cuja verificação garante que o concreto tenha a capacidade necessária para suportar as cargas exigidas.

Conforme a ABNT (NBR 8953, 2015), a resistência característica à compressão que um concreto deve possuir para ser considerado concreto estrutural é a partir de 20 MPa aos 28 dias. As classes de resistências do concreto, que se caracterizam como concreto estrutural, variam desde 20 MPa até 100 MPa.

Após os rompimentos serem realizados, foi obtida a resistência média de 20,82 MPa, assim, o concreto fabricado foi classificado como concreto C20 e a sua classe de resistência grupo I, como pode ser observado na Figura 12. Isso indica que os materiais empregados nas proporções do TE do concreto foram adequadamente dosados e, com o período de cura dos CP atendendo às prescrições normativas, verificou-se a validade da composição do traço como resposta eficiente às ações das cargas previstas.

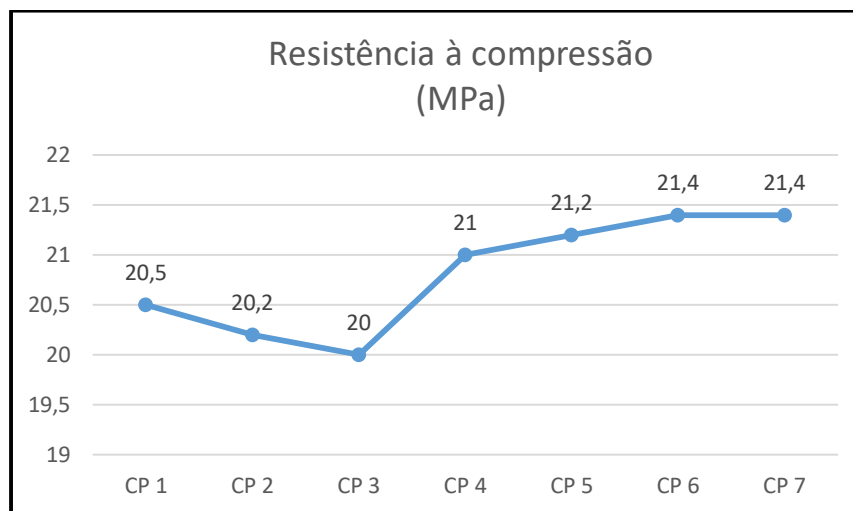
Figura 12 - Grupos de classes de resistência

Classe de resistência Grupo I	Resistência característica à compressão MPa	Classe de resistência Grupo II	Resistência característica à compressão MPa
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: ABNT (NBR 8953, 2015).

Ao analisar os resultados obtidos nos ensaios de rompimento efetuados segundo o demonstrado no Gráfico 2, observa-se que o concreto executado atendeu às exigências mínimas estabelecidas pelas normas técnicas vigentes da ABNT (NBR 8953, 2015). Assegurando, assim, os requisitos de resistência à compressão e durabilidade necessários ao comportamento estrutural do bloco de coroamento das tubulações do sistema de abastecimento.

Gráfico 2 - Resistência à compressão (MPa)



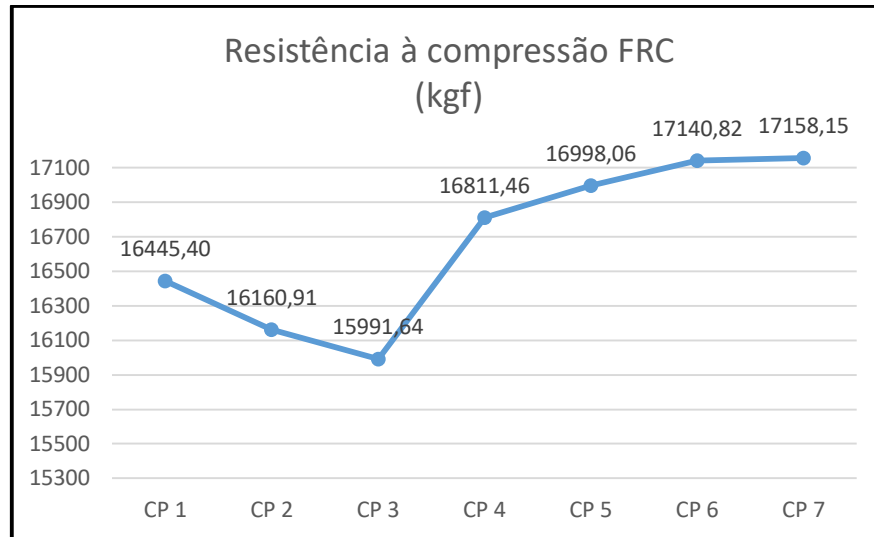
Fonte: os autores (2024).

4.3.2 FRC comparada à FEH

A análise das interações entre a força de empuxo hidráulico FEH e a força de resistência do concreto (FRC) foi essencial para garantir que os elementos resistam aos empuxos sem falhar ou deformar, garantindo assim a estabilidade e a durabilidade da estrutura. Os resultados da aplicação da equação 02 obtidos no item 4.2 do cálculo

de empuxo hidráulico, foram de FEH = 3.843,16 kgf a serem exercidos pela curva 90° com sentido positivo, evidenciando o deslocamento da peça. Podemos observar que a força de resistência mínima que obtivemos nos ensaios de rompimento foi de FRC = 15.991,64 kgf, como pode ser verificado tanto na Tabela 3 quanto no Gráfico 3, validando a expressão $FEH \leq FRC$.

Gráfico 3 - Resistência à compressão (kgf).



Fonte: o autor (2024).

Analisando estes dados, podemos observar que a força exercida pelo elemento seria de apenas 24% do que um bloco de concreto poderia suportar com a força exercida, garantindo, assim, a estabilidade necessária do concreto sem grandes dificuldades, assegurando a integridade do conjunto estrutural ao longo da vida útil.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve como objetivo foi avaliar a utilização do resíduo de captação de água (RCA) gerado pela estação de tratamento de água como substituto do agregado miúdo (areia industrial) natural na fabricação de concreto para produção de blocos de ancoragem na rede de distribuição de água. A água é um recurso fundamental para a manutenção da vida na terra, além de ser essencial ao desenvolvimento socioeconômico de vários setores que dependem diretamente dos recursos hídricos e dos serviços associados. O saneamento, como área disciplinar, implica na necessidade de preservação dos recursos hídricos para usos múltiplos, além da disposição da água e o seu tratamento para o abastecimento público.

No ambiente contextual do saneamento público, a pesquisa aplicou-se em analisar o desempenho mecânico do concreto fabricado com um resíduo de captação de água (RCA) gerado numa estação de tratamento de afluente como substituto do agregado miúdo (areia industrial) natural na mistura de um concreto estrutural.

A adição de materiais que seriam descartados no traço do concreto é uma prática comum que visa reduzir o impacto ambiental e promover a sustentabilidade ao setor da construção civil. Com um viés econômico aliado à sustentabilidade, o estudo focou na adição do RCA ao traço do concreto utilizado na própria empresa como solução para um problema comum do dia a dia, assim, o RCA que seria descartado em aterros, pode voltar a fazer parte do sistema de abastecimento de água da cidade como um elemento estrutural.

Os resultados obtidos com as análises dos materiais e nos testes de ensaio à compressão realizados indicam que o RCA adicionado junto ao traço como agregado miúdo (areia) garantiram boa resistência ao concreto, observando-se que a resistência necessária para contemplar às normas pertinentes foram atendidas. Esses resultados confirmam que a adição de um material não convencional ao concreto pode gerar impactos significativos para a sustentabilidade na construção civil, podendo-se reutilizar o material que tinha como destino final o descarte.

Em resposta à primeira questão do problema, foi verificado que, ao analisar a curva granulométrica do material, o módulo de finura resultou num valor de 3,53, caracterizado como uma areia grossa.

Ao analisar a segunda questão do problema, a resistência mecânica do RCA foi validada ao serem realizados os rompimentos dos corpos de prova fabricados, cuja resistência mecânica atingiu o valor necessário para ser considerado um concreto estrutural C20.

Considera-se também que, a pesquisa atingiu os seus objetivos ao analisar o desempenho mecânico do agregado RCA substituído ao concreto convencional no parâmetro de força pontual, disponibilizando novas possibilidades e contribuindo de forma eficiente para o meio ambiente numa perspectiva mais sustentável ao setor da construção civil.

A produção do bloco de coroamento é uma solução para o abastecimento de água, contudo, utilizando o RCA na sua composição, consegue-se extrair o máximo potencial econômico e sustentável do agregado, inserindo novamente o material no processo produtivo do abastecimento e tratamento de água, com foco principal em reduzir o consumo dos recursos naturais, minimizar resíduos da construção civil e diminuir o impacto ambiental causado, utilizando o material de forma contínua e sustentável, evitando o desperdício.

Para garantir um desempenho mais elevado e duradouro, recomenda-se aos estudos futuros uma avaliação da possibilidade de ajustar a dosagem de cimento e a dosagem do RCA ao traço, buscando não apenas a atender aos requisitos mínimos, mas também oferecendo uma margem extra de segurança para o elemento estrutural. Além disso, sugere-se também que estudos futuros avaliem se as tensões originadas pelo bloco de coroamento são absorvidas pelo concreto produzido com RCA.

A pesquisa contribuiu de forma efetiva para o segmento da construção civil ao fornecer dados importantes sobre o comportamento da resistência do concreto com adição de um material não convencional, como o RCA.

REFERÊNCIAS

ABCONSINDCON - Associação e Sindicato Nacional das Concessionárias Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto. **O que é abastecimento de água e qual a sua importância?**. Acesso em: 8 de set 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Panorama do saneamento no Brasil**. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/saneamento-basico/saneamento-basico-no-brasil/panorama-do-saneamento-no-brasil-1>. Acesso em: 6 abr. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8953**: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218**: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17015**: Execução de obras lineares para transporte de água bruta e tratada, esgoto sanitário e drenagem urbana, utilizando tubos rígidos, semirrígidos e flexíveis. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17054**: Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA. **Conjuntura recursos hídricos Brasil 2024**: informe anual. Brasília-DF: ANA, 2024.a

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA. **Manual dos usos consuntivos da água no Brasil**. 2. ed. Brasília-DF: ANA, 2024.b

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. **Infraestrutura hídrica no Brasil recebeu investimentos de R\$ 1,6 bilhão em 2023**. Brasília, 18 jan. 2024 (c). Disponível em: <https://www.gov.br/casacivil/pt-br/assuntos/noticias/infraestrutura-hidrica-no-brasil-recebeu-investimentos-de-r-1-6-bilhao-em-2023>. Acesso em: 8 set. 2024.

BRASIL. **Lei n. 14026, de 15 de julho de 2020**. Altera as Leis n. 9.984, de 17 de julho de 2000, n. 10.768, de 19 de novembro de 2003, n. 11.107, de 6 de abril de 2005, n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007, n. 12.305, de 2 de agosto de 2010, n. 13.089, de 12 de janeiro de 2015 e n. 13.529, de 4 de dezembro de 2017. Atualiza o marco legal do saneamento básico.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS. **Diagnóstico temático serviços de água e esgoto**: visão geral. Brasília-DF: SNSA, SNIS, 2023.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional - MDR. Secretaria Nacional de Saneamento - SNS.

Panorama do Saneamento Básico no Brasil 2021. Brasília-DF: MDR, SNS, 2021.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO - CBIC. **Desempenho Econômico da Construção Civil no 1.º**

semestre de 2024 e nova projeção de crescimento **Construção cresce 3,5% no 2.º trimestre de 2024, superando expectativas econômicas**. Brasília, CBIC, 2024.

CECH, Thomas V. **Recursos hídricos**: história, desenvolvimento, política e gestão. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

FEIRA INTERNACIONAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL - FEICON. **Desafios das empresas de construção civil na área de infraestrutura**: perspectivas para 2024. Disponível em: <https://www.feicon.com.br/pt-br/blog/construtoresengenheirosprojetistas/desafios-das-empresas-de-construcao-civil-na-area-de-infraestrut.html>. Acesso em: 9 nov. 2024.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2016.

GONÇALVES, Mônica Lopes *et al.* **Fazendo pesquisa**: do projeto à comunicação científica. 4. ed. Joinville: Editora Univille, 2014.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Guia do saneamento**. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2024.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Manual do saneamento básico**: entendendo o saneamento básico ambiental no Brasil e sua importância socioeconômica. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2012.

LASMAR, Ibrahim. **Ancoragens de tubulações com juntas elásticas**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, 2010.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MATIAS-PEREIRA, José. **Manual de metodologia da pesquisa científica**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

PINTO-COELHO, Ricardo Motta; HAVENS, Karl. **Gestão de recursos hídricos em tempos de crise**. Porto Alegre: Artmed, 2016.

PEREIRA, Lohana Lopes, Azevedo, Bruno Freitas de. O impacto da pandemia na construção civil: o papel da gestão no cenário atual. **Revista Boletim do Gerenciamento**, Rio de Janeiro, n. 20, p. 71-80, 2020.

RIBEIRO, Carmen Couto; PINTO, Joana Darc Silva; STARLING, Tadeu. **Materiais de Construção Civil**, 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2013.

ROCHA, Aristides Almeida. **Histórias do saneamento**. São Paulo: Blucher, 2016. *E-book*.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de água**. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

VILARINHO, Cíntia Maria R.; COUTO, Eduardo de Aguiar do. Saneamento básico e regulação no Brasil: desvendando o passado para moldar o futuro. **Revista Digital de Direito Administrativo**, Ribeirão Preto, v. 10, n. 2, p. 233-257, 2023.

**ANÁLISE DE PRODUTO RESIDUAL DE ÁCIDO SULFÚRICO COMO
COAGULANTE NO TRATAMENTO DE EFLUENTES GALVÂNICOS****ANALYSIS OF RESIDUAL PRODUCT OF SULFURIC ACID AS A COAGULANT IN
THE TREATMENT OF GALVANIC EFFLUENTS**

Júlia Pita ¹
Francisco Odisi ²
Luciano Pinotti ³
Vivien Rossbach ⁴
Andrei Buse ⁵
Eneias Mafezzolli ⁶

RESUMO: A poluição química aquática, resultante do descarte de metais pesados da indústria galvânica, representa um dos problemas ambientais mais críticos. Este estudo investiga a reutilização de ácido sulfúrico (H_2SO_4) contaminado, um resíduo da indústria galvânica, como coagulante no tratamento de efluentes. Os resultados demonstram que o uso do H_2SO_4 contaminado alcançou uma redução superior a 80% nos percentuais de ferro e zinco e acima de 65% na Demanda Química de Oxigênio (DQO). A pesquisa sugere o potencial de substituição do policloreto de alumínio (PAC) por esse resíduo, alinhando-se com os parâmetros estabelecidos pela CONAMA 430/2011.

Palavras-chave: indústria galvânica; coagulante; reutilização; H_2SO_4 contaminado.

ABSTRACT: Aquatic chemical pollution resulting from the discharge of heavy metals from the galvanic industry represents one of the most critical environmental problems. This study investigates the reuse of contaminated sulfuric acid (H_2SO_4), a waste product from the galvanic industry, as a coagulant in the treatment of effluents. The results demonstrate that the use of contaminated H_2SO_4 achieved a reduction of over 80% in the percentages of iron and zinc and above 65% in the Chemical Oxygen Demand (COD). The research suggests the potential for replacing aluminum polychloride (PAC) with this residue, aligning with the parameters established by CONAMA 430/2011.

Keywords: galvanic industry; coagulant; reuse; contaminated H_2SO_4 .

¹ Acadêmica do curso de Eng. Química - UNIFEBE. E-mail: julia.pita@unifebe.edu.br

² Mestre em Eng. Química. Docente - UNIFEBE. E-mail: francisco.odisi@unifebe.edu.br

³ Especialista em Eng. Mecânica. Docente - UNIFEBE. luciano.pinotti@unifebe.edu.br

⁴ Doutora em Eng. Química. Docente - UNIFEBE. vivien.rossbach@unifebe.edu.br

⁵ Mestre em Física. Docente - UNIFEBE. E-mail: andreibuse@unifebe.edu.br

⁶ Mestre em Eng. Química. Docente - UNIFEBE. E-mail: eneias.mafezzolli@unifebe.edu.br

1 INTRODUÇÃO

A poluição química, proveniente de despejos industriais e residenciais, é um dos desafios ambientais mais urgentes na atualidade. A poluição aquática, em particular, acarreta alterações nas características físicas, químicas e biológicas da água, comprometendo a sua qualidade e adequação para o consumo humano (Aguiar; Novaes; Guarino; 2002). Metais pesados, presentes em efluentes industriais (como os da indústria galvânica), atividades de mineração e práticas agrícolas, representam uma preocupação devido à sua toxicidade e capacidade de bioacumulação (Fellenberg, 1980).

A indústria galvânica, que aplica revestimentos metálicos em superfícies para aumentar a resistência à corrosão, gera efluentes contendo metais pesados (Pereira Neto, 2008). O processo de galvanização, que visa proteger metais como o aço da oxidação, utiliza banhos de ácido sulfúrico (H_2SO_4), resultando em resíduos contendo íons metálicos (Ferrari; Moscoso, 2006). O descarte inadequado desses resíduos pode causar danos ambientais significativos. Tais resíduos têm sido objeto de estudos visando o seu reaproveitamento, inclusive em processos de reciclagem de cromo (Bordin; Bernardes, 2010).

Este estudo investiga a reutilização de resíduo galvânico de ácido sulfúrico (H_2SO_4), como coagulante no tratamento de efluentes, comparando a sua eficiência com o policloreto de alumínio (PAC) e avaliando a conformidade dos efluentes tratados com as normas CONAMA 430/2011 e CONSEMA.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 RESÍDUOS INDUSTRIAIS E A INDÚSTRIA GALVÂNICA

A geração excessiva de resíduos em processos industriais é uma fonte significativa de poluição. A minimização de resíduos, além de ser uma exigência legal, representa uma oportunidade de otimização econômica para as indústrias (Beltrame, 2000).

A indústria galvânica, que realiza o recobrimento de superfícies metálicas para aumentar a sua resistência à corrosão, gera efluentes líquidos contendo metais pesados (Pereira, 2008; Theodoro, 2010). O tratamento desses efluentes é essencial para mitigar os impactos ambientais associados à atividade.

2.2 METAIS PESADOS E OS SEUS IMPACTOS

A descarga de efluentes galvânicos não tratados em corpos hídricos pode levar à contaminação e bioacumulação de metais pesados em organismos vivos, representando riscos à saúde humana (Kurniawan *et al.*, 2006).

Tabela 1 - Toxicidade de metais pesados na forma de íons metálicos e suas quantidades máximas permitidas para o descarte.

Íon metálicos	Toxicidade	Quantidades máximas permitidas para o descarte do efluente (mg/L)		
		EPA/USA	Resolução CONAMA N° 430/2011	Resolução CONSEMA N° 181
Cr (IV)	Dor de cabeça, vômitos, diarreia, carcinogênico para humanos	0,05	< 0,1	< 0,1
Zn (II)	Depressão, letargia, sinais neurológicos como aumento de sede, apreensões e ataxia	1,0	< 5,0	< 1,0
Fe	Respiração rápida, frequência cardíaca rápida, coma, perda da consciência, convulsões e pressão arterial baixa	0,02	N/A	N/A

Fonte: adaptado de Kurniawan *et al.* (2006).

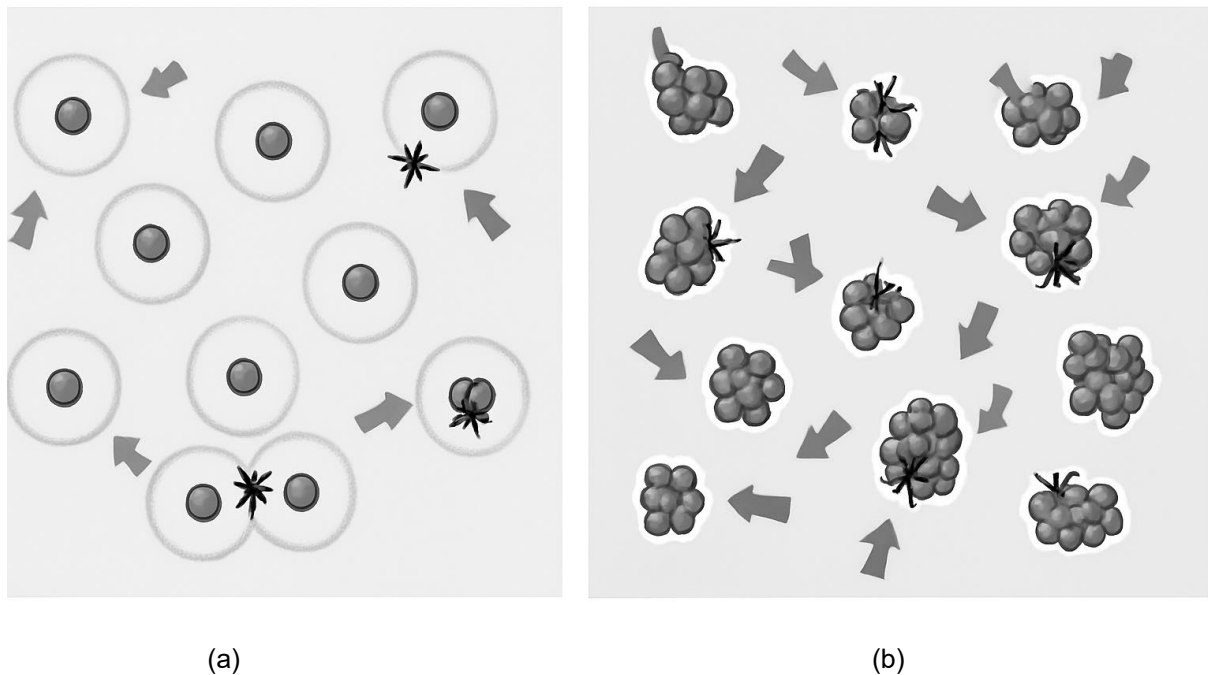
N/A - não disponível ou não avaliado

2.3 TRATAMENTO DE EFLUENTES E CLARIFICAÇÃO QUÍMICA

O tratamento de efluentes industriais é crucial para garantir que os lançamentos estejam em conformidade com a legislação ambiental (CONAMA N.º 430/2011; CONSEMA N.º181) e com as boas práticas de engenharia de processos, como destacado por Metcalf & Eddy (2003).

A coagulação é um processo de desestabilização de partículas coloidais através da adição de eletrólitos, como sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) e policloreto de alumínio (PAC) (Da Silva, 2019). A floculação promove a aglomeração das partículas desestabilizadas em flocos maiores, facilitando a sua remoção por sedimentação (Di Bernardo; Dantas, 2006). Além dos coagulantes inorgânicos tradicionais, há também pesquisas voltadas ao uso de floculantes orgânicos no tratamento de água e efluentes, como demonstrado por Júnior e Abreu (2018).

Figura 1 - Representação simplificada do comportamento das partículas coloidais em meio aquoso e a ação dos coagulantes que promovem a formação de flocos.



Fonte: adaptado de Cruz (2004).

A Figura 1 representa o processo de coagulação e floculação de partículas coloidais em meio aquoso, etapas fundamentais no tratamento de efluentes. Na Figura 1-a, observam-se partículas coloidais dispersas, cada uma cercada por uma camada de repulsão elétrica, sendo que algumas começam a se unir com a adição de coagulantes (indicados por estrelas pretas), neutralizando as suas cargas e permitindo a aproximação. Já na Figura 1-b, essas partículas se agrupam formando flocos maiores e mais densos, visíveis como aglomerados com contorno branco, facilitando a sua remoção por sedimentação ou flotação. As setas indicam o movimento contínuo das partículas e flocos no meio.

2.4 INSUMOS QUÍMICOS E MÉTODOS DE ENSAIOS

O controle do pH é um fator crucial no tratamento de efluentes, exercendo uma influência direta na eficiência dos coagulantes (Pavanelli, 2001; Bernardo; Paz, 2010). Coagulantes são substâncias químicas adicionadas à água para remover impurezas. O sulfato de alumínio e o sulfato férrico são dois coagulantes amplamente utilizados nesse processo, cada um apresentando características específicas em relação à faixa de pH ideal para sua atuação e sua eficácia na formação de flocos. A formação de flocos é importante, por serem aglomerados de partículas que podem ser facilmente separados da água, auxiliando na purificação do efluente (Drew, 1979; Spinelli et al., 2001).

O Jar Test é um método experimental de laboratório que simula o processo de coagulação-floculação. Ele permite aos pesquisadores e operadores de estações de tratamento de efluentes otimizar as condições para a remoção de impurezas, como a dosagem de coagulantes e o pH ideal do processo (Knevitz, 2017; Hassemer; Sens, 2002).

A espectrometria de absorção atômica é uma técnica analítica que quantifica a concentração de metais em amostras de efluentes. Essa técnica é essencial para monitorar a presença de metais pesados, que podem ser tóxicos e prejudiciais ao meio ambiente, garantindo que os efluentes tratados estejam nos limites de segurança para descarte ou reuso (Cordeiro, 2023).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAL E AMOSTRAGEM

O resíduo de ácido sulfúrico (H_2SO_4) contaminado foi coletado em uma indústria de galvanoplastia localizada na região de Brusque, Santa Catarina, Brasil. A amostra de efluente bruto foi coletada no ponto de saída da estação de tratamento de efluentes (ETE) da referida indústria, em recipiente plástico descontaminado, e transportada ao laboratório para a realização dos testes. A concentração inicial de ferro no efluente bruto foi de 52,6 g/L, o que reforça a necessidade de um tratamento eficaz para remoção de metais pesados.

3.2 JAR TEST

Para avaliar a eficiência do resíduo de H_2SO_4 como coagulante, foi realizado o teste de Jarro (Jar Test). O teste foi conduzido em um equipamento de Jar Test com seis provetas de 2 L, utilizando diferentes dosagens do resíduo de H_2SO_4 e do coagulante de referência, o policloreto de alumínio (PAC). As amostras de efluente foram submetidas a um regime de agitação sequencial, consistindo em uma etapa inicial de mistura rápida a 100 rpm por um período de 30 minutos, seguida por uma fase de agitação lenta a 20 rpm durante 10 minutos, visando promover a floculação sem comprometer a integridade dos agregados formados. Após a etapa de floculação, a agitação foi interrompida, permitindo a sedimentação dos sólidos suspensos ao longo de um período de 7 horas. O estudo empregou cinco alíquotas de 500 mL do efluente, sendo uma destinada à análise da amostra bruta, três tratadas com resíduo galvânico de ácido sulfúrico como agente coagulante em distintas condições, e uma utilizando policloreto de alumínio (PAC) como coagulante.

O protocolo experimental para o tratamento do efluente contaminado com ácido galvânico envolveu as seguintes etapas: (i) ajuste inicial do pH da amostra bruta para 9,0; (ii) subsequente acidificação com solução de H_2SO_4 até atingir pH 3,0; (iii) elevação do pH para 6,5 mediante adição de solução de hidróxido de cálcio (cal); (iv) introdução do coagulante (PAC ou resíduo galvânico de ácido sulfúrico) até alcançar pH 4,0; (v) novo ajuste do pH para 8,7 com solução de cal; (vi) adição de solução de polímero aniônico para induzir a formação de flocos; e (vii) decantação dos flocos resultantes por um período de 7 horas. Concluídas as etapas de tratamento, alíquotas de aproximadamente 250 mL de cada ensaio e 250 mL do resíduo galvânico (H_2SO_4 contaminado) foram cuidadosamente coletadas para posterior análise.

3.3 ANÁLISE LABORATORIAIS

As amostras de efluente bruto e tratado foram caracterizadas quanto aos seguintes parâmetros:

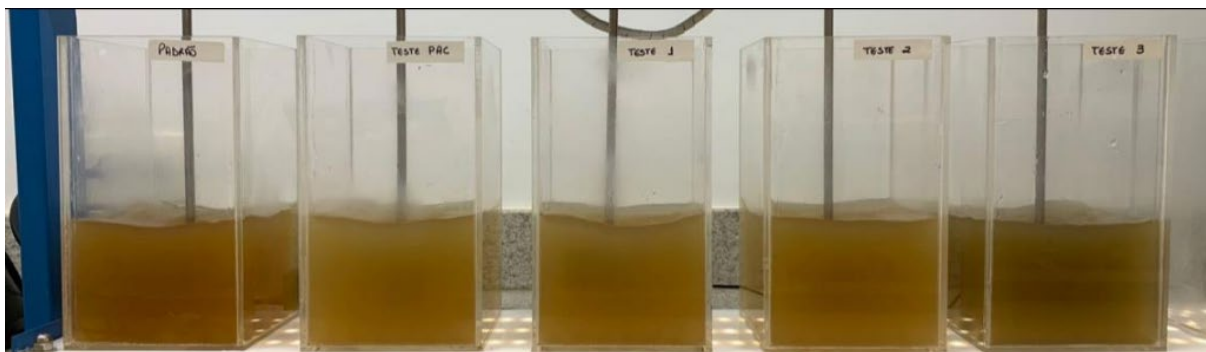
- Ferro (Fe) e Zinco (Zn): A concentração de Fe e Zn foi determinada por espectrometria de absorção atômica.
- Demanda Química de Oxigênio (DQO): A DQO foi medida segundo o método de refluxo fechado com titulação. No procedimento, uma amostra de efluente é digerida em uma solução ácida forte com um excesso conhecido de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) sob refluxo. A matéria orgânica e inorgânica oxidável na amostra reage com o dicromato. Após a digestão, o dicromato não consumido é titulado com uma solução padrão de sulfato ferroso amoniacal, utilizando um indicador redox como a ferroína. A quantidade de dicromato consumida é então utilizada para calcular a DQO, expressa em termos de equivalente de oxigênio (mg/L de O_2).

As análises foram realizadas em um laboratório externo acreditado, seguindo os procedimentos padrão estabelecidos.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

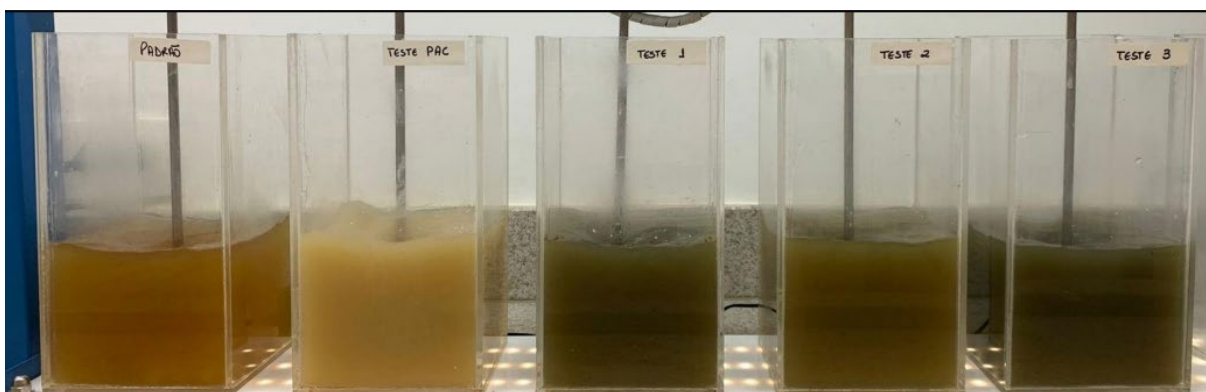
As Figuras 2, 3 e 4 apresentam uma sequência visual crucial para a compreensão do processo de tratamento do efluente galvânico realizado por meio do Jar Test. A Figura 2 mostra o ponto de partida da análise, retratando as amostras de efluente no seu estado bruto, ou seja, sem qualquer intervenção ou adição de produtos químicos. A uniformidade visual entre os jarros nesta figura indica a homogeneidade inicial das amostras antes do início do experimento e esta análise permite a comparação com as etapas posteriores.

Figura 2 - Amostras de efluente para Jar-Test antes da adição de reagentes.



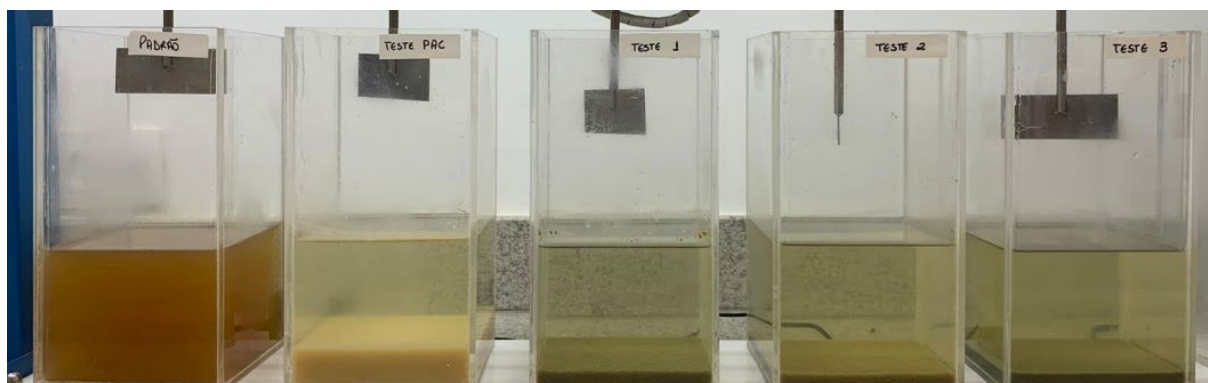
A Figura 3 demonstra uma transformação significativa nas amostras. Após a adição de soluções para ajuste do pH e coagulação, observa-se uma alteração na coloração do líquido. Essa mudança é interpretada como um indicativo visual dos processos químicos em andamento, especificamente a desestabilização de colóides e a oxidação de metais presentes no efluente. Há uma possível influência do cobre nesse fenômeno, que ao oxidar adquire coloração esverdeada.

Figura 3 - Amostras de efluente para Jar-Test com a adição de todos os reagentes, exceto o PAC.



A Figura 4 traz o resultado final do experimento de Jar Test. Após a adição do polímero aniônico para floculação e um período de decantação de 7 horas, as amostras apresentaram uma aparência visivelmente melhorada em comparação com o estado inicial (Figura 2). A redução da turbidez e a separação dos sólidos são evidentes, demonstrando a eficácia do tratamento na remoção de impurezas. Além disso, as amostras tratadas com o resíduo galvânico (Testes 1, 2 e 3) exibiram resultados visuais superiores ao tratamento com PAC, sugerindo uma possível maior eficiência do resíduo como coagulante neste contexto específico.

Figura 4 - Amostras de efluente após os processos de coagulação, floculação e decantação do Jar-Test.



A análise dos resultados obtidos neste estudo revela a eficácia do resíduo galvânico de H_2SO_4 como coagulante no tratamento de efluentes, demonstrando o seu potencial como alternativa ao PAC. A Tabela 3 apresenta os resultados detalhados das análises das amostras de efluente bruto e tratado com o resíduo de H_2SO_4 e PAC.

A Tabela 3 compara a composição do efluente em diferentes estágios do tratamento. A concentração de ferro na amostra padrão foi extremamente elevada, atingindo 52,6 g/L, valor muito acima dos limites legais para descarte e indicativo da severa contaminação inicial do efluente. As amostras incluem a "Amostra Padrão" (efluente bruto), a "Amostra com PAC" (tratada com Policloreto de Alumínio, um coagulante comum) e três amostras tratadas com o resíduo de H_2SO_4 contaminado (Amostra 1, Amostra 2 e Amostra 3). Os parâmetros analisados são DQO (Demanda Química de Oxigênio), pH, Sólidos Totais, Turbidez, Cromo, Cromo Hexavalente, Ferro e Zinco.

Tabela 3 - Resultados das análises laboratoriais das amostras de efluente.

Parâmetros	Amostra Padrão	Amostra com PAC	Amostra 1 – H_2SO_4 contaminado	Amostra 2 – H_2SO_4 contaminado	Amostra 3 – H_2SO_4 contaminado
DQO (mg/L)	1.120,08	323,86	369,48	341,62	356,11
pH	11,82	7,67	7,65	7,64	7,15
Sólidos totais (mg/L)	3.369,00	5.596,00	5.350,00	5.332,00	5.242,00
Turbidez (NTU)	365	16	27,6	13,4	28,3
Cromo (mg/L)	3,352	0,011	0,01	0,012	0,016

Cromo Hexavalente (mg/L)	0,153	0,011	0,01	0,012	0,016
Ferro (mg/L)	76,265	0,473	1,806	2,22	4,169
Zinco (mg/L)	89,574	0,325	0,938	1,211	1,461

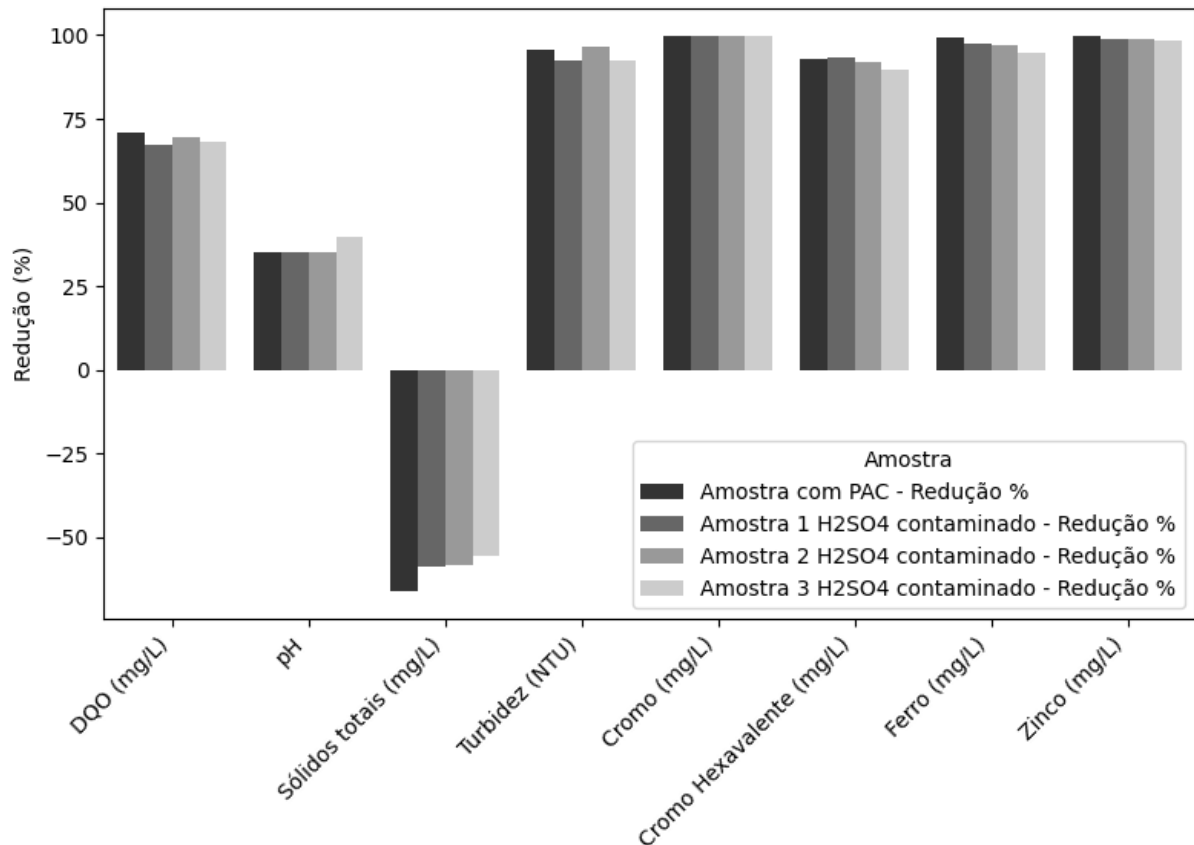
Houve uma redução significativa da DQO em todas as amostras tratadas em comparação com a Amostra Padrão, indicando a remoção de matéria orgânica oxidável. A Amostra com PAC apresentou a menor DQO (323,86 mg/L), sugerindo uma melhor eficiência na remoção de matéria orgânica por este tratamento. O pH da Amostra Padrão era alcalino (11,82). Após o tratamento, o pH se aproximou da neutralidade (em torno de 7) em todas as amostras, o que é importante para atender aos padrões de descarte e reduzir o impacto ambiental. Observou-se um aumento nos sólidos totais após o tratamento. Isso pode ser explicado pela adição dos coagulantes, que contribuem para a formação de flocos e, conseqüentemente, aumentam a quantidade de sólidos sedimentáveis.

A turbidez diminuiu drasticamente após o tratamento, indicando a remoção eficiente de partículas em suspensão. A Amostra 2 H₂SO₄ contaminada apresentou a menor turbidez (13,4 NTU). As concentrações de cromo, ferro e zinco reduziram significativamente após o tratamento, demonstrando a eficácia dos coagulantes na remoção desses metais pesados.

As amostras tratadas com H₂SO₄ contaminado apresentaram concentrações ligeiramente maiores de ferro e zinco em comparação com a amostra tratada com PAC, mas ainda assim houve uma redução considerável em relação à Amostra Padrão. Os resultados demonstram que tanto o PAC quanto o resíduo de H₂SO₄ contaminado foram eficazes no tratamento do efluente galvânico, promovendo a remoção de matéria orgânica, turbidez e metais pesados. A concentração inicial de ferro no efluente bruto era de 52.600 mg/L, valor extremamente elevado. Após o tratamento com o resíduo de H₂SO₄, os níveis de ferro foram reduzidos para menos de 5 mg/L, indicando uma remoção superior a 99,99% e desempenho semelhante ao obtido com PAC (0,47 mg/L). Embora os valores finais ainda estejam acima do limite recomendado pela EPA (0,02 mg/L), a redução foi significativa, demonstrando a eficiência do processo. Esses resultados reforçam o potencial do resíduo como alternativa viável e sustentável no tratamento de efluentes altamente contaminados. No entanto, em situações com teores metálicos tão elevados, pode ser necessário complementar o tratamento com etapas adicionais, como filtração ou polimento, para atender a padrões internacionais mais restritivos.

A Figura 5 apresenta um gráfico de barras que mostra a porcentagem de redução de valores de parâmetros de qualidade da água após tratamento, conforme os dados apresentados na Tabela 3. As barras representam a eficiência percentual de redução de cada parâmetro, permitindo comparar o desempenho do tratamento entre as diferentes amostras.

Figura 5 - Percentuais de redução dos parâmetros analisados nas amostras em comparação com o efluente bruto.



Os resultados evidenciam uma elevada eficiência na remoção de turbidez e metais pesados, como ferro (Fe), zinco (Zn), cromo total (Cr) e cromo hexavalente (Cr^{6+}), com reduções superiores a 90% em todas as amostras, inclusive naquelas contaminadas com resíduo de H_2SO_4 . A remoção de ferro e zinco superou 80% em todas as amostras contaminadas, indicando alta eficiência na precipitação e remoção desses metais — desempenho comparável ou até superior ao obtido com PAC, coagulante tradicionalmente utilizado. A expressiva redução dos teores de cromo total e cromo hexavalente também demonstra a capacidade do resíduo de H_2SO_4 em tratar diferentes tipos de metais presentes no efluente galvânico.

Além da remoção de metais, a DQO apresentou reduções em torno de 65% a 70%, indicando uma significativa remoção de matéria orgânica. Essa diminuição é essencial para garantir que o efluente tratado atenda aos padrões ambientais, uma vez que a matéria orgânica em excesso pode comprometer a qualidade da água e a vida aquática ao consumir oxigênio dissolvido. O pH sofreu alterações moderadas, possivelmente aproximando-se da neutralidade, dependendo das condições iniciais do efluente. Por outro lado, os sólidos totais apresentaram aumento após o tratamento, com valores negativos de redução. Esse aumento pode estar associado à adição de sais oriundos dos coagulantes ou às reações químicas ocorridas durante o processo, o que pode exigir etapas complementares de tratamento, dependendo do destino final da água tratada.

Para avaliar a significância das diferenças observadas entre os tratamentos com PAC e com o resíduo de H_2SO_4 contaminado, foi aplicado o teste t de Student, considerando os dados das três amostras tratadas com o resíduo como grupo experimental e os valores obtidos com PAC como referência. Os resultados do teste estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados do teste-t das amostras de efluente

Parâmetro	t (estatística)	p-valor	Significativo (p < 0,05)
DQO (mg/L)	3,9625	0,0582	Não
pH	-1,1513	0,3687	Não
Sólidos totais (mg/L)	-8,6211	0,0132	Sim
Turbidez (NTU)	1,4626	0,2811	Não
Cromo (mg/L)	0,9449	0,4444	Não
Cromo Hexavalente (mg/L)	0,9449	0,4444	Não
Ferro (mg/L)	3,1003	0,0902	Não
Zinco (mg/L)	5,8158	0,0283	Sim

A análise estatística indicou que, para a maioria dos parâmetros avaliados (DQO, pH, turbidez, cromo total, cromo hexavalente e ferro), não houve diferença estatisticamente significativa (p > 0,05) entre os dois tipos de coagulante. Isso sugere que o resíduo de H_2SO_4 apresenta desempenho semelhante ao PAC na remoção

desses contaminantes, reforçando o seu potencial como alternativa viável e sustentável. No entanto, observou-se diferença significativa para os parâmetros de sólidos totais ($p = 0,0132$) e zinco ($p = 0,0283$). No caso dos sólidos totais, o aumento pode estar relacionado à própria composição do resíduo utilizado como coagulante, que pode introduzir sais ou outras substâncias ao meio. Já no caso do zinco, a concentração final nas amostras tratadas com H_2SO_4 foi estatisticamente maior do que na amostra tratada com PAC, embora ainda significativamente menor em relação ao efluente bruto. Esses resultados reforçam a necessidade de um monitoramento específico para esses parâmetros em aplicações práticas, mas também evidenciam o potencial do resíduo como substituto do PAC, considerando especialmente a sua origem residual e o seu baixo custo.

4.4 CONFORMIDADE COM A LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

A análise dos resultados também demonstrou que o efluente tratado com o resíduo de H_2SO_4 atendeu aos padrões de qualidade estabelecidos pela CONAMA 430/2011 e CONSEMA para descarte em corpos hídricos. Isso é um aspecto crucial, por garantir que a utilização do resíduo como coagulante não apenas é eficaz, mas também ambientalmente segura.

Os resultados deste estudo corroboram a importância da busca por alternativas sustentáveis para o tratamento de efluentes industriais. A reutilização de resíduos, como o H_2SO_4 contaminado, não apenas reduz os custos associados ao tratamento, mas também minimiza os impactos ambientais negativos do descarte inadequado desses materiais.

A eficácia do resíduo de H_2SO_4 na remoção de metais pesados e DQO pode ser atribuída à sua capacidade de desestabilizar as partículas coloidais presentes no efluente, promovendo a formação de flocos e a sua posterior sedimentação. A acidez do resíduo também pode contribuir para a solubilização de determinados poluentes, facilitando a sua remoção.

Embora os resultados sejam promissores, é importante ressaltar que este estudo representa uma etapa inicial na investigação do uso do resíduo de H_2SO_4 como coagulante. Estudos futuros devem aprofundar a otimização do processo, avaliando diferentes dosagens, tempos de reação e condições de pH, a fim de maximizar a eficiência do tratamento e reduzir ainda mais os custos. Além disso, é fundamental investigar a composição do lodo gerado no processo de tratamento, visando a sua adequada destinação ou possível reutilização, como em aplicações agrícolas (Kaminata, 2008). A análise da toxicidade do efluente tratado também é relevante para garantir a sua segurança ambiental em longo prazo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo demonstram o potencial do resíduo galvânico de ácido sulfúrico (H_2SO_4) como coagulante eficaz no tratamento de efluentes industriais, especialmente na remoção de metais pesados. Observou-se que o resíduo de H_2SO_4 foi capaz de reduzir significativamente as concentrações de ferro, zinco, cromo total e cromo hexavalente, alcançando desempenhos comparáveis ou superiores ao coagulante convencional, o policloreto de alumínio (PAC). Além disso, o tratamento com o resíduo promoveu uma redução relevante na Demanda Química de Oxigênio (DQO), contribuindo para a melhoria da qualidade do efluente tratado.

A aplicação do teste t de Student permitiu uma análise estatística mais robusta da eficácia do resíduo. Os resultados indicaram ausência de diferença estatisticamente significativa ($p > 0,05$) entre o desempenho do H_2SO_4 contaminado e o PAC para a maioria dos parâmetros analisados, incluindo DQO, pH, turbidez, ferro, cromo total e cromo hexavalente. No entanto, foram identificadas diferenças significativas para os sólidos totais ($p = 0,0132$) e o zinco ($p = 0,0283$), sugerindo que o tratamento com o resíduo pode introduzir maiores concentrações desses componentes, o que requer atenção em aplicações futuras.

A reutilização do resíduo de H_2SO_4 como coagulante representa uma alternativa promissora e ambientalmente segura, uma vez que o efluente tratado atendeu aos padrões estabelecidos pela CONAMA 430/2011. Tal prática contribui para a economia circular, ao valorizar um resíduo que, de outra forma, seria descartado, e ao reduzir a dependência de coagulantes químicos convencionais.

Embora os resultados sejam positivos, recomenda-se realizar de estudos complementares para otimizar as condições operacionais do processo, avaliar a toxicidade do efluente tratado em longo prazo e definir estratégias adequadas para a gestão do lodo gerado. Pesquisas futuras também poderão investigar diferentes dosagens, faixas de pH e tempos de reação, visando maximizar a eficiência e reduzir custos.

Em síntese, este estudo reforça a viabilidade técnica e ambiental da substituição parcial ou total do PAC por resíduos industriais no tratamento de efluentes, contribuindo para o avanço de tecnologias mais sustentáveis e eficazes na gestão de poluentes.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. J.; NOVAES, F. F.; GUARINO, C. I. Águas de abastecimento e efluentes sanitários e industriais. In: REIS, D.; CARVALHO, R.; AGUIAR, A. J. (Eds.). **Tratamento de águas de abastecimento e efluentes sanitários e industriais**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002.
- BELTRAME, L. F. **Minimização de resíduos sólidos industriais**. 2000. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.
- BERNARDO, L.; PAZ, L. **Qualidade da água para abastecimento**. 3. ed. São Carlos: Rima, 2010.
- BORDIN, D. L.; BERNARDES, A. M. Caracterização de resíduos galvânicos contendo cromo visando sua reciclagem. **Tecnologia Metalúrgica, Materiais e Mineração**, v. 7, n. 4, p. 287-294, 2010.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Brasília, DF, 2011.
- CORDEIRO, A. L. A. **Espectrometria de Absorção Atômica**. [S.l.]: [s.n.], 2023.
- CRUZ, P. R. **Qualidade da água**. 2004.
- DA SILVA, T. F. **Estudo da coagulação/floculação no tratamento de efluentes industriais**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.
- DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2. ed. São Carlos: Rima, 2006.
- DREW, R. J. **Aspects of heavy metal and inorganic pollution**. CEP Consultants Ltd, 1979.
- FELLENBERG, G. **Environmental chemistry**. Berlin: Springer-Verlag, 1980.
- FERRARI, J. A.; MOSCOSO, J. G. **Tratamento de efluentes industriais**. Rio de Janeiro: ABES, 2006.
- HASSEMER, D.; SENS, M. L. **Tratamento de água: princípios, técnicas e aplicações**. 2002.
- JÚNIOR, O. M.; ABREU, A. A. Floculantes orgânicos utilizados no tratamento de água: produção, caracterização e aplicações. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 1, p. 182-196, 2018.
- KAMINATA, R. M. **Caracterização do lodo de Estação de Tratamento de Águas Residuárias (ETAR) visando o aproveitamento agrícola**. 2008. 142 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Ciência do Solo) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

KNEVITZ, L. C. **Clarificação**. 2017.

KURNIAWAN, T. A. et al. Industrial wastewater treatment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 142, n. 1-2, p. 108-119, 2007.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2003.

PAVANELLI, J. **Tratamento de água: princípios e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2001.

PEREIRA NETO, J. T. **Tratamento e disposição de resíduos industriais**. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

PERIC, J. et al. Optimization of the coagulation process for wastewater treatment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 154, n. 1-3, p. 85-93, 2008.

RUBILAR, C. S. *et al.* Clarificação química com coagulante $PG\alpha 21Ca$ e fotocatalise heterogênea aplicada ao tratamento de efluente de curtume. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SPINELLI, V. A.; SENS, M. L.; FÁVERE, V. T. Quitosana, polieletrólito natural para o tratamento de água potável. *In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais...* João Pessoa. PB. 2001.

THEODORO, S. H. **Gestão ambiental**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

APLICAÇÃO DO SOFTWARE QGIS NO TRATAMENTO DE PONTOS DE LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO GEORREFERENCIADOS: UM BANCO DE DADOS DIGITAL

QGIS SOFTWARE APPLICATION IN THE PROCESSING OF GEOREFERENCED TOPOGRAPHIC SURVEY POINTS: A DIGITAL DATABASE

Luan Sezerino ¹
Pedro Thiago Venzon ²
Elias Riffel ³
Vivian Siffert Wildner ⁴

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo principal demonstrar a praticidade e eficiência na utilização de um software centralizado no tratamento de pontos topográficos e posterior utilização do mesmo como banco de dados digital. Tal trabalho foi motivado pelo fato de haver uma necessidade no processamento e armazenamento de levantamentos topográficos, requeridos a retificações de área. O software utilizado denomina-se QGIS, sendo este capaz de receber, tratar, incorporar, armazenar e gerar peças técnicas já nos padrões da ABNT NBR 17.047. Os métodos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho foram o descritivo e o qualitativo, onde os dados obtidos para demonstração da utilização do software foram obtidos de levantamentos topográficos. Diante disso, com o auxílio do software QGIS versão 3.34, fez-se o tratamento dos pontos obtidos, desenvolvimento de um memorial descritivo e a demonstração da integração do banco de dados coletados com o banco de dados de autarquias federais, tais como: o DNIT ou a ANA. A pesquisa conclui que o QGIS pode ser um importante auxiliar no tratamento de pontos topográficos, ao passo que é capaz de gerar as peças técnicas requeridas, além de atuar como banco de dados digital.

Palavras-chave: levantamento topográfico; banco de dados; cadastro topográfico.

ABSTRACT: *The aim was to demonstrate the practicality and efficiency of using centralized software to process topographic points and subsequently use it as a digital database. This work was motivated by the need to process and store topographic required surveys for area rectifications. The software used is called QGIS, which is capable of receiving, processing, incorporating, storing, and generating technical data that already complies with ABNT NBR 17.047 standards. We used descriptive and qualitative methods to develop this work. We obtained the data to demonstrate the use of software from topographic surveys. Therefore, using QGIS version 3.34 software, we processed the points achieved and developed a descriptive report on the integration gathered through federal agency databases, including DNIT or ANA. The study concludes that QGIS can be a significant aid in the treatment of topographic points, as it is capable of generating the required technical parts in addition to acting as a digital database.*

¹ Bacharel em Engenharia Civil. UNIFEBE. E-mail: luan.sezerino@unifebe.edu.br

² Mestre em Engenharia Ambiental. UNIFEBE. E-mail: pedro.venzon@unifebe.edu.br

³ Mestre em Engenharia de Processo. UNIFEBE. E-mail: eliasriffel@unifebe.edu.br

⁴ Doutora em Engenharia Elétrica. UNIFEBE. E-mail: vivian.wildner@unifebe.edu.br

Keywords: *topographic survey; database; topographic cadastre.*

1 INTRODUÇÃO

Não muito distante, as fichas de matrículas apresentavam, nas suas descrições, uma identificação precária das medidas lineares de um imóvel, com os seus limites muitas vezes não definidos. Normalmente amarrados a uma via local ou estrutura popular conhecida (Rambo, 2000).

Com o avanço tecnológico nos meios para levantamento de imóveis, a precisão fatídica dos dados obtidos em campo torna-se cada vez mais evidente e necessária para que esses dados brutos apresentem a real situação dos imóveis (Correa, 2017).

Para Correa (2017), o georreferenciamento de imóveis vem ganhando maior visibilidade ao passo que ele consegue garantir uma precisão milimétrica ao ponto levantado, estando ele amarrado a um sistema de coordenadas. Tal fator consegue prover a confiabilidade necessária e exigida.

Visualiza-se a necessidade de armazenamento desses dados obtidos em campo. Ao passo que a maneira mais usual seria por meio do armazenamento em pastas e subpastas do disco rígido (HD) de um computador. Estes, por critério do profissional, podem ser subdivididos em diversas categorias (QGIS, 2023).

Devido a isso, busca-se centralizar tudo num único software, que consegue receber, tratar, incorporar, armazenar e gerar memoriais descritivos e plantas topográficas (QGIS, 2023).

Nas atividades de parcelamento de imóveis rurais, estes deverão ser desenvolvidos por profissional habilitado, contendo as peças técnicas requeridas que informem os vértices limítrofes, amarrados ao Sistema Geodésico Brasileiro e com precisão adequada definida pelo INCRA, conforme o Art. 3.º da Lei n.º 10.267, de 28 de agosto de 2001 (Brasil, 2001).

Sabendo disso, e buscando aprimorar as informações prestadas, o cadastro georreferenciado torna-se uma alternativa técnica extremamente vantajosa. Ele pode descrever com exatidão os vértices de uma propriedade, dentro dos seus limites físicos evidenciados em campo (Correa, 2017).

Neste trabalho, buscar-se-á representar a importância da representação de um imóvel por meio de coordenadas georreferenciadas, sendo ele capaz de descrever os limites e confrontações de um imóvel, para posterior apresentação dessas peças técnicas a uma serventia de Registro de Imóveis. O objetivo geral é demonstrar a praticidade e eficiência na utilização de um software centralizado no tratamento de pontos topográficos e posterior utilização do mesmo como banco de dados digital.

Visando auxiliar nessa tarefa, será utilizado um software de código aberto conhecido mundialmente como QGIS, sendo este um software de processamento de banco de dados. Os resultados obtidos serão apresentados em um memorial descritivo já nas padronizações exigidas pela ABNT NBR 17.047.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

A topografia é a ciência que busca descrever, por meio de peças técnicas, a real situação geoespacial de um imóvel, demonstrando, assim, características físicas existentes nas delimitações dela. Apresentando informações sobre o relevo, possíveis benfeitorias existentes, marcos e divisas consolidadas, dentre outros itens pertinentes ao imóvel objeto da análise (Borges, 1992).

Segundo Borges (1992), a topografia existe como um “meio”, isto é, uma ferramenta utilizada para o desenvolvimento de diversas atividades dentro do campo das engenharias. Sendo estas atividades, desde pequenas até de maior escala.

Já para Correa (2017), a topografia é fundamental para entender todos os elementos físicos existentes na área de implantação. Sendo de extrema importância para o posterior desenvolvimento de qualquer projeto que seja executado no recinto.

A topografia pode ser utilizada em diversas áreas da construção civil. Podendo ser utilizada desde o levantamento topográfico para demarcação de divisas, locação de estradas, barragens, rodovias e demais itens de infraestrutura urbana, demarcação de áreas de plantio ou extração de minérios. Sendo extremamente vasta a área de atuação (Correa, 2017).

2.2 GEOPROCESSAMENTO E GEORREFERENCIAMENTO

A topografia vem constantemente avançando tecnologicamente, evidenciando uma melhora gradativa na coleta, processamento e aferição dos dados obtidos. Isso se deve à utilização de equipamentos eletrônicos de alta precisão, sendo estes capazes de garantir a precisão necessária (Correa, 2017).

Segundo Correa (2017), o GPS (Sistema de Posicionamento Global) foi um importante marco na topografia, por ser por meio dele que se pôde amarrar o levantamento topográfico realizado em campo, há um sistema de projeção de coordenadas UTM. Tendo como resultado pontos georreferenciados que podem ser acessados por diversos programas, tais como: o AutoCAD, o QGIS, ou o Métrica TOPO, por exemplo.

Nesse sentido, esses sistemas buscam representar a forma física da terra. Gerando então coordenadas pelo sistema UTM no eixo X, que corresponde ao plano equatorial na direção de longitude 0° ou então sentido leste-oeste. Ao eixo Y, que corresponde ao plano equatorial na direção de longitude 90° ou então sentido norte-sul. E ao eixo Z, que corresponde ao eixo de rotação da Terra ou então à altitude, ou à terceira dimensão do plano (Correa, 2017).

Na topografia, as coordenadas coletadas em campo e, posteriormente, processadas são projetadas por meio dos pontos evidenciados na superfície terrestre, amarradas a um sistema de coordenadas. As coordenadas geradas garantem, então, um ponto estático, imutável, garantindo a sua localização geoespacial de forma precisa na superfície do planeta Terra (Correa, 2017).

Segundo o Supremo Tribunal de Justiça (2017), o georreferenciamento é obrigatório para a finalidade de usucapião de imóveis rurais. Isso ocorre para que os vértices limitantes da área usucapida possuam a descrição com coordenadas georreferenciadas para que, assim, seja possível verificar a titularidade da posse e proteger os limites da propriedade.

2.3 BANCO DE DADOS

Segundo Alves (2014), um banco de dados representa um conjunto de dados que, quando armazenados de forma ordenada e lógica, constituem um dado propriamente dito que possui significado e representa um evento específico.

O banco de dados é constituído principalmente por três fatores: o primeiro, sendo uma informação obtida, o qual é a origem dos dados. O segundo, sendo uma interação com o mundo onde vivemos, apresenta harmonia com o meio, que possui significado. E o terceiro seria a necessidade de pessoas que façam a utilização desses dados e desenvolvam aplicações para manipulá-los (Alves, 2014).

Quadro 1: Transformação da informação em dado

INFORMAÇÃO	DADO
Aquele ponto está muito distante	O ponto se encontra a 132,19 metros de distância

Fonte: o autor (2023).

Existem diversos tipos de banco de dados, sendo o de geoprocessamento (GIS) um formato próprio, por trabalhar com informações já predefinidas, podendo o usuário manipulá-las e criar aplicações específicas que atendam a sua necessidade (Alves, 2014).

2.4 SIG E QGIS

O QGIS é um software profissional baseado no Sistema de Informação Geográfica (SIG) de Código Aberto. Isto significa que qualquer pessoa pode desenvolver ferramentas, plugins, corrigir falhas e as mais variadas características para o software funcionar na sua plenitude (QGIS, 2023).

O Sistema de Informação Geográfica (SIG), por sua vez, trata-se de um sistema de armazenamento de informações, na forma de banco de dados, as quais são utilizadas, posteriormente, para o planejamento territorial. Dessa forma, pode-se compilar as informações num ambiente centralizado (DPI/INPE, 2006).





A facilidade gerada por esse modelo é a capacidade de abranger diversos tópicos de dados geoespaciais que, quando alocados num ambiente integrado, possibilita-se realizar as comparações e correlações, caçando assimetrias favoráveis de forma abrangente (Trombeta; Oliveira; Pelinson, 2019).

Segundo Trombeta, ocorre por arquivos SHP (shapefile). Neste caso, não é nativo a utilização de arquivos DWG (drawing) ou KML (keyhole markup language files) que são nativos de outros softwares, tais como: o Autocad e o Google Earth.

Para Trombeta, Oliveira e Pelinson (2019), o shapefile possui uma distinção quanto às vertentes que o moldam. Sendo necessários três tipos de arquivos principais para o sistema funcionar na sua plenitude:

- **Arquivo SHP:** este formato armazenará as propriedades de geometrias trabalhadas (os pontos obtidos, linhas e polígonos gerados);
- **Arquivo DBF:** este formato armazenará os dados brutos de cada objeto de geometria;
- **Arquivo SHX:** este formato funcionará como canal, correlacionando um arquivo geométrico (SHP) com a tabela de dados obtidos (DBF).

Figura 1 - Arquivos dos municípios do estado de Santa Catarina

	SC_Municipios_2022	02/06/2023 14:42	Planilha OpenOffice.org 1.1
	SC_Municipios_2022.prj	02/06/2023 14:42	Arquivo PRJ
	SC_Municipios_2022	02/06/2023 14:42	AutoCAD Shape Source
	SC_Municipios_2022	02/06/2023 14:42	AutoCAD Compiled Shape

Fonte: o autor (2023).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa realizada para o desenvolvimento deste trabalho foi com os métodos descritivo e qualitativo. O método de pesquisa qualitativo busca compreender determinados fenômenos em toda a sua estrutura. Abordando a pesquisa de diversos ângulos e perspectivas, sendo um método mais flexível que constitui conceitos abertos à exploração e interpretação (Mattar; Ramos, 2021).





Nesse sentido, segundo Mattar e Ramos (2021), a pesquisa qualitativa é interpretativa. Isto é, a análise dos dados obtidos, **é julgada, interpretada e entendida** pelo pesquisador que os desenvolve como reflexo da sua perspectiva. Já o método descritivo, [...] visa descrever as características de determinada população ou fenômeno, ou o estabelecimento de correlações entre os dados obtidos. Envolvendo o uso de técnicas padronizadas e de coleta de dados (Silva; Menezes, 2001).

Os levantamentos topográficos apresentados são de origem do autor, sendo estes de diversas áreas ao longo dos municípios de Brusque, Gaspar e Itajaí, no estado de Santa Catarina. Já os dados integrados são de propriedade do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes – DNIT e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA.

O instrumento utilizado para aplicação dos dados obtidos foi o Software QGIS na sua versão 3.34.

Os procedimentos da pesquisa foram feitos primeiramente com a utilização de dados já processados após a coleta dos mesmos em campo. Estes dados são obtidos por meio de um GPS RTK Topcon GR-3. Esses, então, são pós-processados pelo sistema IBGE-PPP (Posicionamento por Ponto Preciso) que geram os seguintes arquivos informados na Figura 2:

Figura 2 - Arquivos pós-processados

	1__2160.23o	07/08/2023 17:32	Microsoft Edge PDF Document
	03 e 04-08-23 - lev rua cer	07/08/2023 17:56	Arquivo DWG
	03 e 04-08-23 - lev rua cer	07/08/2023 17:56	Documento de Texto
	03 e 04-08-23 - lev rua cer	07/08/2023 17:57	Planilha Microsoft Excel 97-2003

Fonte: o autor (2023).

Estes arquivos contêm as informações de levantamento já processadas. Para o QGIS, utiliza-se o arquivo em formato XLS, pois neste constarão as informações de coordenadas, cotas, precisões e propriedades de cada ponto coletado de forma tabular, sendo requisito para importação no QGIS essas informações básicas. Tais dados podem ser visualizados na Figura 3.

Figura 3 - Informações de levantamento

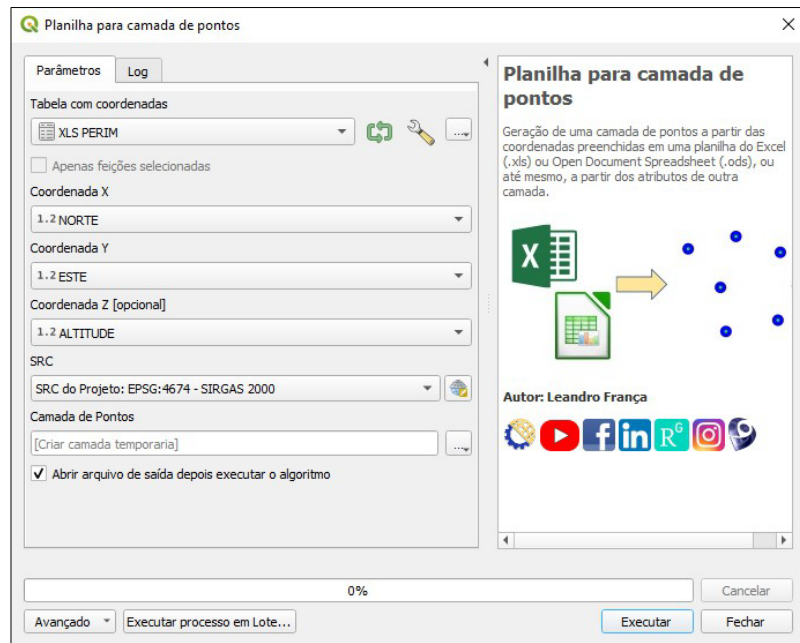
COORDENADAS UTM								
Nome	Grade Norte (m)	Grade Leste (m)	Elevação (m)	Elev.Altura (m)	Código	Desv Padr n (m)	Desv Padr l (m)	Desv Padr u (m)
1	7013192,874	711418,994	55,31	55,31	cp1	0,002	0,004	0,006
3	7012931,143	712157,268	19,596	19,596	Rua	0,009	0,009	0,018
4	7012932,791	712156,646	20,032	20,032	Cer	0,009	0,009	0,018
5	7012939,395	712169,463	18,727	18,727	Cer	0,008	0,009	0,016
6	7012938,218	712170,187	18,566	18,566	Rua	0,008	0,009	0,016
7	7012949,886	712189,337	18,222	18,222	Rua	0,007	0,007	0,014
8	7012951,226	712188,468	17,953	17,953	Cer	0,006	0,007	0,012
9	7012954,568	712193,529	18,124	18,124	Cer	0,006	0,007	0,012
10	7012964,335	712206,326	18,882	18,882	Cer	0,006	0,007	0,013
11	7012963,168	712207,194	18,806	18,806	Rua	0,006	0,007	0,012
12	7012972,374	712217,699	20,363	20,363	Poste	0,006	0,007	0,013
13	7012980,649	712229,707	20,98	20,98	Rua	0,007	0,007	0,014

Fonte: o autor (2023).

Já no QGIS, por meio da ferramenta “LFTOOLS”, realiza-se a importação da planilha de pontos para uma camada temporária de pontos. Que, após importados, são convertidos para uma camada geopackage. A demonstração da ferramenta LFTOOLS preenchida pode ser evidenciada na Figura 4.

Após, procedeu-se à obtenção dos dados referentes à base de dados do Departamento Nacional de Infraestrutura Territorial – DNIT e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA. Esses dados podem ser obtidos nos respectivos sites de cada órgão e depois podem ser importados para o software QGIS, agregando à base de dados pessoal.

Figura 4 - Configurações na Importação para o QGIS



Fonte: Software QGIS 2023 (2023).

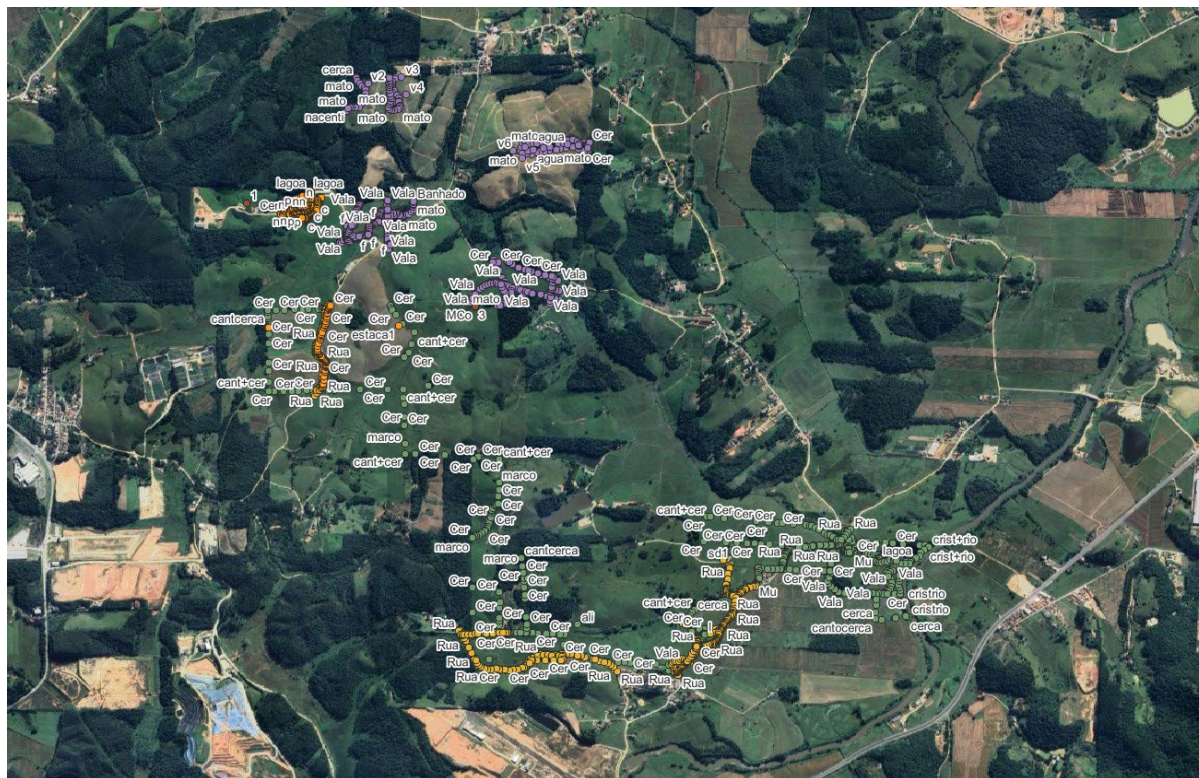
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após a importação dos pontos, ficam disponíveis no menu do software as informações dos pontos importados. Contudo, ressalta-se que estes estão alocados em camadas temporárias, que para se tornarem permanentes, devem ser salvas em um arquivo Geopackage, compondo então a base para o banco de dados digital dos levantamentos.

Feito isso, para todos os levantamentos, na tela inicial do QGIS pode-se ter uma visualização gráfica de todos os pontos levantados em campo. Os pontos distinguem-se por levantamento, seja a critério do usuário, tornando, assim, uma experiência simplificada e precisa dos dados.

Na Figura 5, é demonstrada uma visão geral dos pontos coletados em campo de forma gráfica no software. Neste é possível identificar as feições levantadas, tais como: muros, marcos, cercas e ruas existentes. Com esses dados sobrepostos a um mapa global, é possível verificar as posições dos pontos, que, caso seja utilizado o sistema de coordenadas correto, apresentará posição geoespacial similar à verificada no mapa global.

Figura 5 - Identificação dos pontos no QGIS



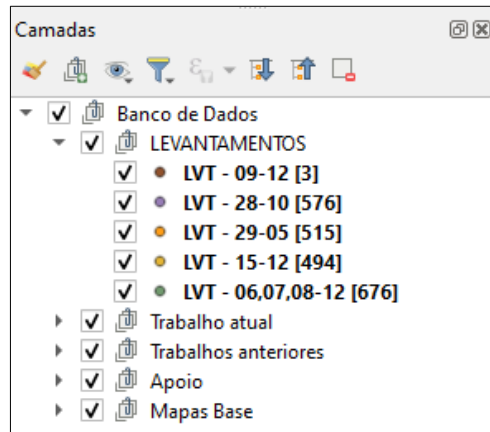
Fonte: Software QGIS 2023 (2023).

Na seção chamada "Camadas", que também é visível na tela principal do QGIS, é possível observar a identificação dos levantamentos, o número de pontos e, segundo a preferência do usuário, alterar a identificação destes.

Esses elementos podem ser dispostos em níveis conforme a escolha do usuário, fazendo com que a estrutura do programa seja bastante intuitiva e interativa. O acesso aos dados se torna possível com apenas alguns cliques. Esses elementos tornam o processo de organização das informações mais direto e compreensível.

Na Figura 6, é possível identificar a composição de cinco levantamentos realizados, separados por datas do levantamento realizado e pela quantidade de pontos coletados no levantamento em questão.

Figura 6 - Subseção Camadas

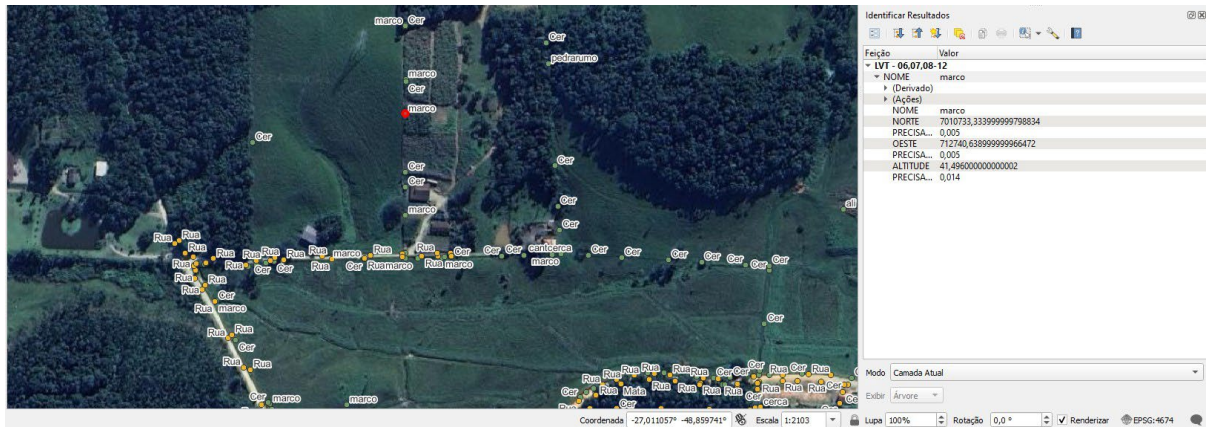


Fonte: Software QGIS 2023 (2023).

Para auferir os resultados, é possível verificar as feições dos pontos com o comando Identificar. Neste momento, as informações antes evidenciadas no documento XLS que referenciavam a um ponto ficam todas alocadas no próprio elemento gráfico, tornando simples a verificação.

Na Figura 7, é possível identificar a seleção de um ponto de marco consolidado no imóvel levantado, e ao lado é possível visualizar as feições do mesmo. Sendo demonstradas as coordenadas x, y e z do ponto obtido, além das suas precisões obtidas durante o levantamento. Este feito ocorre para todos os pontos obtidos.

Figura 7: Verificação do ponto importado.



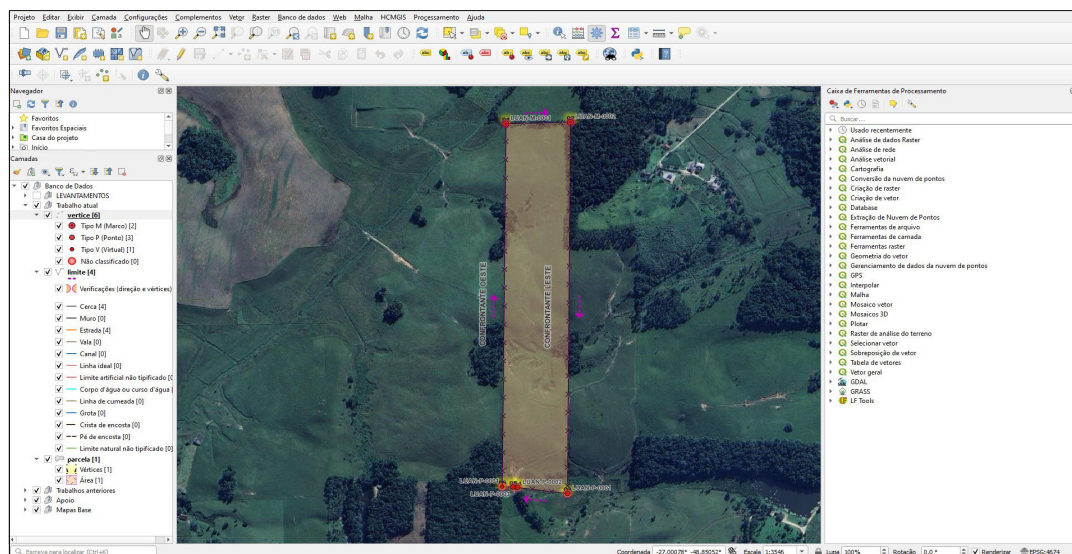
Fonte: Software QGIS 2023 (2023).

Com os dados já trabalhados e as configurações realizadas, pode-se, então, selecionar os vértices de divisa, que descrevem o perímetro de um imóvel. Tais elementos são cruciais para a verificação das medidas perimetrais e da posição geoespacial de um imóvel.

Posteriormente, delimita-se a parcela resultante do perímetro, a qual conterá a área total do imóvel. Nessa parcela, serão informadas as propriedades do imóvel levantado, como o número de ficha de matrícula, cartório de referência do imóvel, município ao qual o imóvel está inserido, entre outras informações.

Na Figura 8, é possível identificar de forma gráfica todos os itens elencados acima. Dessa forma, ficam evidenciados de forma intuitiva todos os itens selecionados pelo autor para delimitar a gleba em questão. Essas informações do imóvel ficam disponíveis na aba agora identificada como “Trabalho Atual”, podendo então, após finalizado, ser realocado em uma camada própria.

Figura 8: Delimitação de imóvel levantado

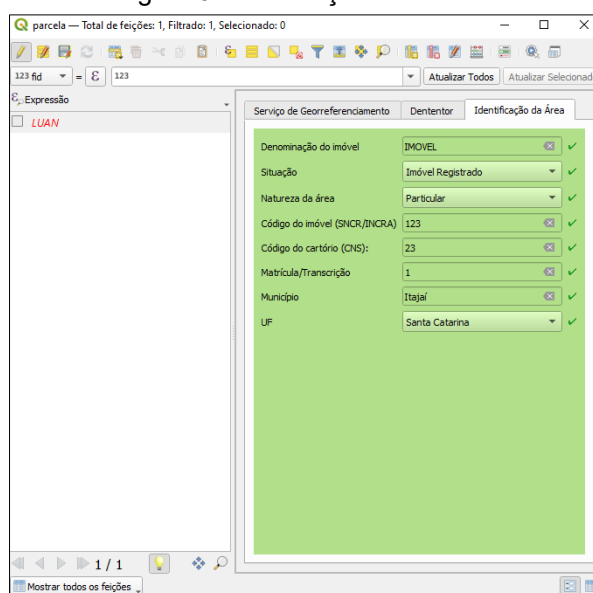


Fonte: Software QGIS 2023 (2023).

Nas propriedades de cada área delimitada, podem ser descritas informações pertinentes a ela. Essas informações agregam valor ao banco de dados e ficam armazenadas na feição da mesma. Há a possibilidade de arquivar, além disso, imagens, documentos, informações do proprietário, entre outras informações.

Na Figura 9, têm-se, então, todas as informações elencadas anteriormente, porém, agora demonstradas na tabela de atributos da feição e subdivididas em três janelas. A janela intitulada “Serviços de Georreferenciamento” terá as informações referentes aos pontos, a janela “Detentor” referente às informações de linha, e a janela “Identificação do Imóvel” referente às informações do imóvel levantado.

Figura 9 - Informações do Imóvel



Fonte: Software QGIS 2023 (2023).

Após as informações pertinentes serem devidamente preenchidas e o banco de dados de cada área for alimentado, há a possibilidade de exportar um memorial descritivo da área poligonal. No qual constarão informações sobre as medidas perimetrais e coordenadas dos vértices de divisa.

Na Figura 10, é possível visualizar uma tabela-resumo das feições da área. Nesta haverá representados os códigos dos vértices, as coordenadas de cada ponto x e y, a identificação da linha com o seu respectivo azimuth e a distância percorrida pela linha, além da descrição do imóvel lindeiro no trecho em questão.

Figura 10 - Conferência e dados pré-exportação do descritivo

Azimuths e Distâncias

Descrição da Geometria

Informe a Convergência Meridiana: [Calcular a convergência baseada no centróide](#)

Número de casas decimais das coordenadas:

Escolha o prefixo dos vértices:

	Vértice	E	N	Lado	Azimuth Planar	Azimuth Real	Distância	Confrontante
1	LUAN-P-0001	712776.18	7012552.09	Pt0-Pt1	181°22'8.45"	180°23'44.35"	925.39	CONFRONTAN...
2	LUAN-M-0001	712754.07	7011626.97	Pt1-Pt2	278°52'55.10"	277°54'31.00"	107.68	CONFRONTAN...
3	LUAN-M-0002	712647.69	7011643.59	Pt2-Pt3	276°46'1.12"	275°47'37.01"	9.61	CONFRONTAN...
4	LUAN-P-0002	712638.15	7011644.73	Pt3-Pt4	274°34'15.04"	273°35'50.93"	23.31	CONFRONTAN...
5	LUAN-P-0002	712614.91	7011646.58	Pt4-Pt5	1°28'55.28"	0°30'31.18"	904.57	CONFRONTAN...
6	LUAN-M-0003	712638.31	7012550.85	Pt5-Pt0	89°28'57.47"	88°30'33.36"	137.88	CONFRONTAN...

Fonte: Software QGIS 2023 (2023).

O memorial descritivo, após selecionar o diretório de salvamento, gera-se e possui as informações que antes haviam sido evidenciadas nos atributos da parcela georreferenciada. Tal peça técnica pode ser evidenciada na Figura 11, a seguir.

Figura 11 - Memorial descritivo gerado pelo QGIS

analítico - Bloco de Notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

MEMORIAL DESCRITIVO

Imóvel: Fazenda
Proprietário: Luan
UF: SC
Código INCRA: n/a
Área (m2): 126892.88

Comarca: Itajai
Município: Itajai
Matrícula: 123
Perímetro: 2189.27

Inicia-se a descrição deste perímetro no vértice LUAN-P-0001, de coordenadas N 7012552.09 m e E 712776.18 m, Datum SIRGAS 2000 com Meridiano Central -51, localizado a Rua Fulano de Tal, Código INCRA n/a; deste, segue confrontando com CONFRONTANTE OESTE, com os seguintes azimuth plano e distância: 181°22'8.45" e 925.39; até o vértice Pt1, de coordenadas N 7011626.97 m e E 712754.07 m; deste, segue confrontando com CONFRONTANTE SUL, com os seguintes azimuth plano e distância: 278°52'55.10" e 107.68; até o vértice Pt2, de coordenadas N 7011643.59 m e E 712647.69 m; deste, segue confrontando com CONFRONTANTE SUL, com os seguintes azimuth plano e distância: 276°46'1.12" e 9.61; até o vértice Pt3, de coordenadas N 7011644.73 m e E 712638.15 m; deste, segue confrontando com CONFRONTANTE SUL, com os seguintes azimuth plano e distância: 274°34'15.04" e 23.31; até o vértice Pt4, de coordenadas N 7011646.58 m e E 712614.91 m; deste, segue confrontando com CONFRONTANTE LESTE, com os seguintes azimuth plano e distância: 1°28'55.28" e 904.57; até o vértice Pt5, de coordenadas N 7012550.85 m e E 712638.31 m; deste, segue confrontando com CONFRONTANTE NORTE, com os seguintes azimuth plano e distância: 89°28'57.47" e 137.88; até o vértice Pt0, de coordenadas N 7012552.09 m e E 712776.18 m, encerrando esta descrição. Todas as coordenadas aqui descritas estão georreferenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro, a partir da estação RBMC de de coordenadas E e N m, localizada em, e encontram-se representadas no sistema UTM, referenciadas ao Meridiano Central -51, tendo como DATUM SIRGAS 2000. Todos os azimuths e distâncias, área e perímetro foram calculados no plano de projeção UTM.

Itajai, 17/11/2023

CREA:
Código Credenciamento: ART:

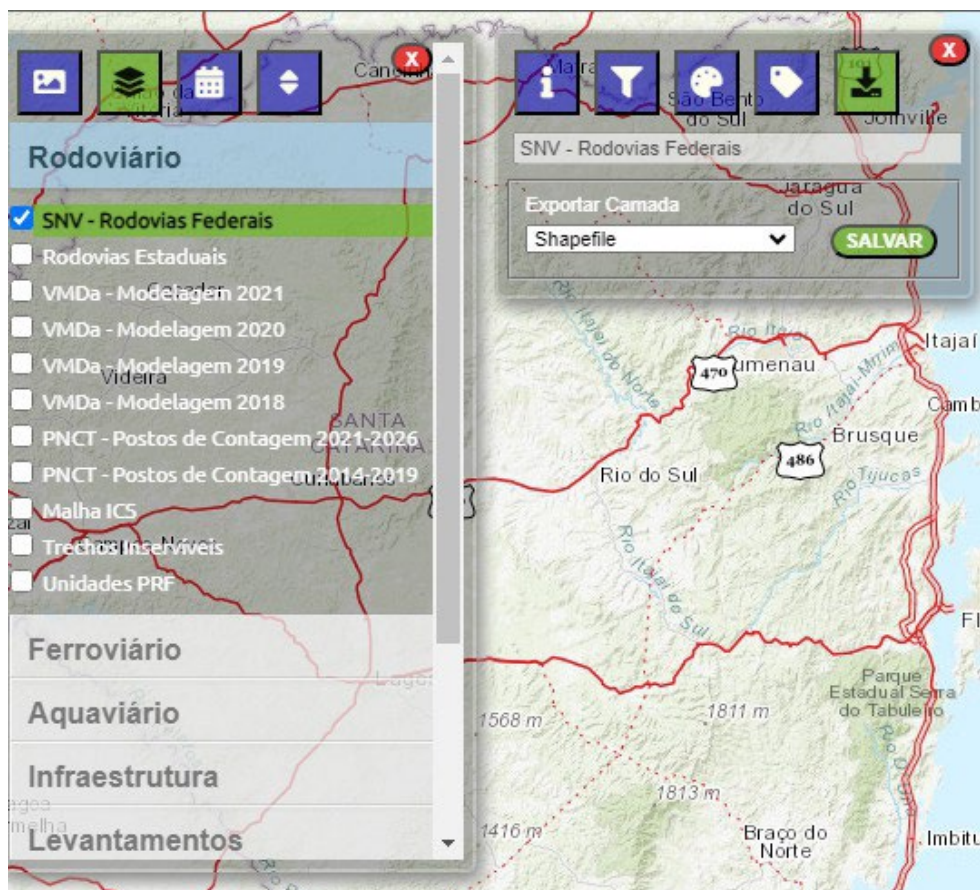
Fonte: o Autor (2023).

Tendo essa etapa sido realizada, buscou-se apresentar também outra função evidenciada pelo software. Neste momento, apresenta-se a integração do banco de dados pessoal do autor com o banco de dados de autarquias governamentais. Tais itens possibilitam agregar valor e enriquecer as informações obtidas em campo.

Primeiramente, obtiveram-se as informações prestadas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura Estratégica – DNIT. Essa autarquia detém a competência para implementar e fiscalizar as políticas de infraestrutura dos transportes terrestres e aquaviários, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do país.

No site do órgão, busca-se na seção Serviços pela aba “Atlas e Mapas”, e posteriormente VGEO. Então, procedeu-se ao download dos arquivos shapefile referentes às rodovias federais do Brasil. Tal caminho para download pode ser visualizado na Figura 12:

Figura 12 - Caminhamento para download dos arquivos Shapefile



Fonte: DNIT (2023).

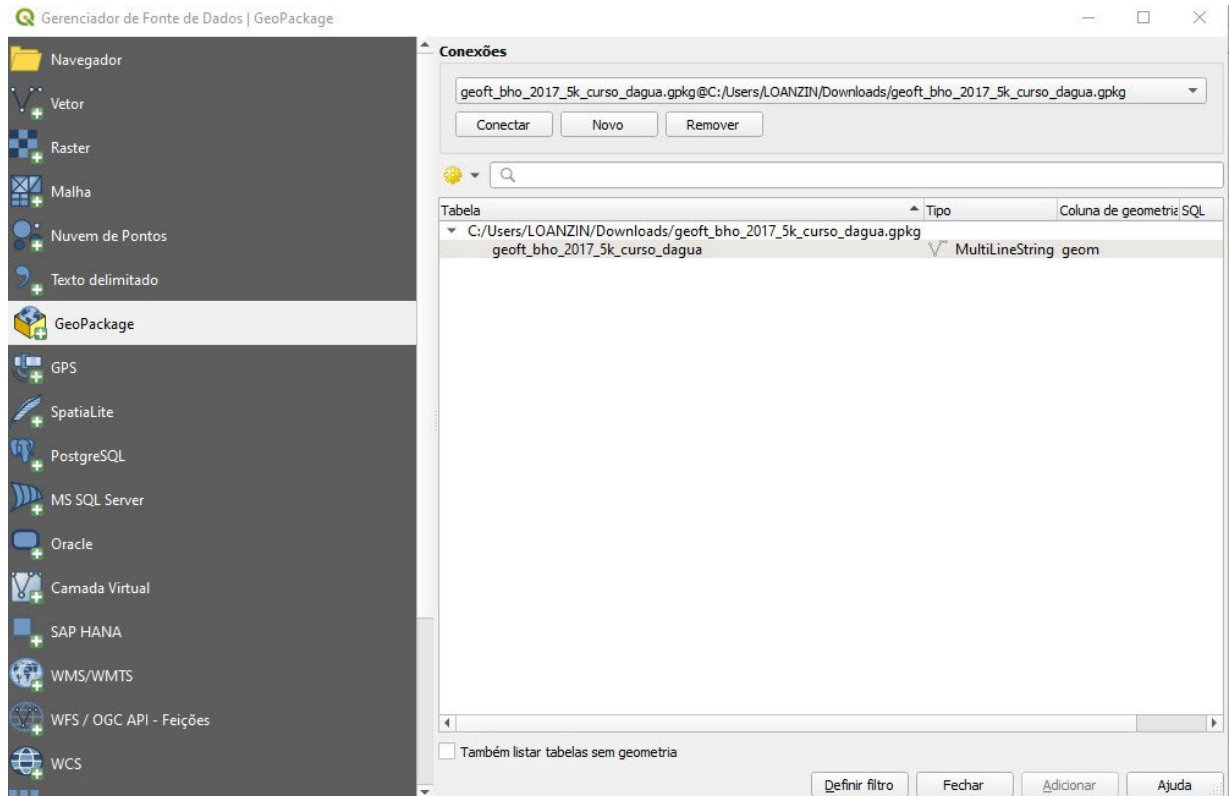
Posteriormente, buscou-se os dados referentes aos cursos hídricos brasileiros disponibilizados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Estes estão disponibilizados por meio do portal de metadados encontrado no Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

O Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) é responsável pela base de dados existente com relação a todo o panorama no que se refere à difusão de informações a respeito dos recursos hídricos brasileiros.

No catálogo disponível, foi obtido o arquivo geopackage referente aos cursos d'água do ano de 2017. Esse mapeamento de recursos hídricos é gerado por meio de um mapeamento digitalizado dos cursos d'água e disponibilizado ao público.

No QGIS, por meio então da ferramenta “Gerenciador de fonte de dados livres” realiza-se a importação dos dados obtidos anteriormente ao software. Estes, então, após importação, ficam disponibilizados na subseção “Camadas” evidenciada anteriormente na Figura 6.

Figura 13 - Gerenciador de Banco de Dados



Fonte: Software QGIS 2023 (2023).

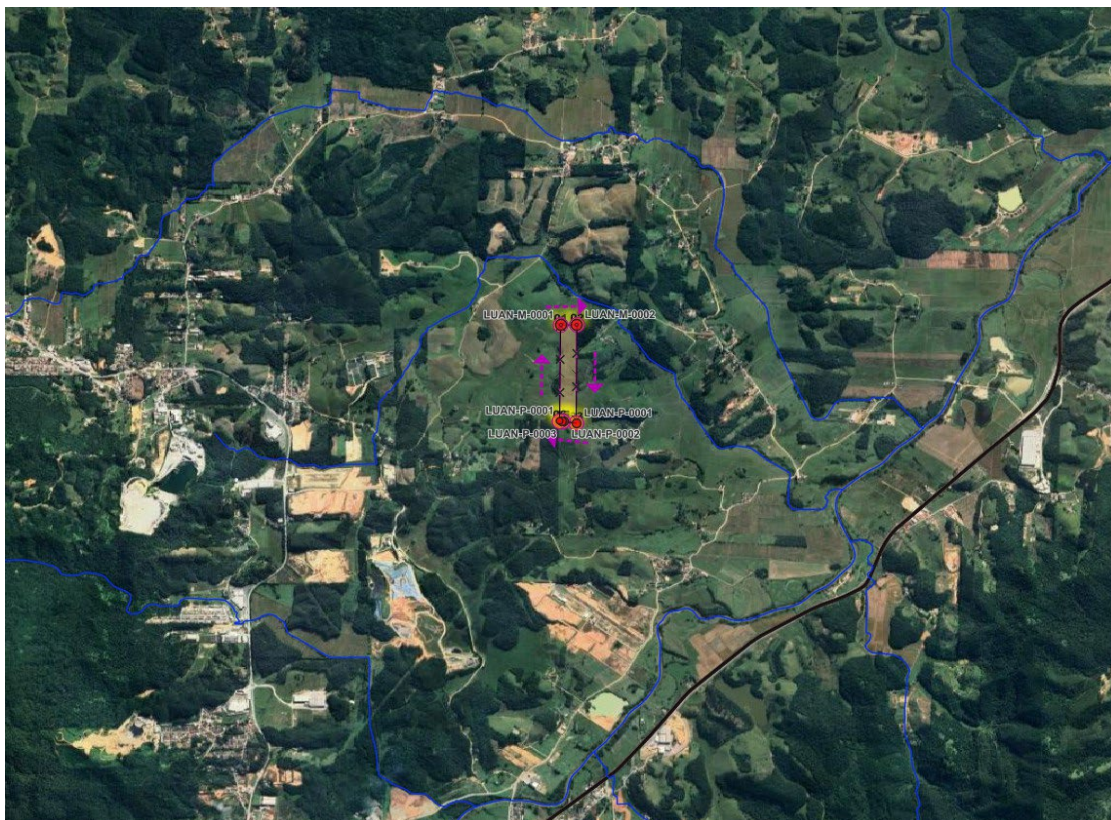
Na Figura 13, demonstra-se o gerenciador de banco de dados, evidenciando a conexão da base de dados do autor com a base de cursos d'água da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

Com os arquivos integrados, na página inicial do QGIS ficam evidenciadas todas as informações contidas nos arquivos importados. Dessa forma, pode-se visualizar se nas áreas de estudo há incidência dessas áreas de domínio registradas pelos órgãos.

Também visualizam-se pertinentes a possíveis áreas futuras de levantamento, tendo uma base preliminar sobre possíveis itens que podem ser encontrados durante o trabalho de campo. Tais fatores agregam na avaliação da prestação do serviço.

Na Figura 14, demonstra-se a representação da área estudada, com as informações gráficas referentes a cursos d'água em linhas na cor azul e rodovias na cor preta nas proximidades dele.

Figura 14 – Representação da área estudada



Fonte: Software QGIS 2023 (2023).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral é demonstrar a praticidade e eficiência na utilização de um software centralizado no tratamento de pontos topográficos e posterior utilização do mesmo como banco de dados digital.

Os dados utilizados na pesquisa, tais como: os pontos de levantamento apresentados, são de propriedade do autor, configurando vários levantamentos realizados nas cidades de Brusque, Itajaí e Gaspar, no estado de Santa Catarina. Já os demais dados foram obtidos por meio da base de dados de autarquias nacionais.

É importante destacar que a apresentação mostrada aqui teve como objetivo, de maneira clara e dinâmica, expor algumas características proporcionadas pelo programa, permitindo que, por meio dele, seja viável exportar documentos técnicos e também empregá-lo como um repositório digital.

De modo geral, este estudo possibilitou compreender a importância de haver um banco de dados centralizado, seja para armazenamento de informações, consulta de dados para futuros levantamentos ou até mesmo utilização dele para criar peças técnicas requeridas.

Reitera-se a importância deste tema, visto que nos campos das engenharias, as informações obtidas devem ser estudadas, sintetizadas e aplicadas no que se está desenvolvendo, compreendendo um importante avanço no que se trata do refino dos trabalhos realizados.

Sugere-se que seja realizada a demonstração de outras funções evidenciadas pelo software, visto que há uma série de utilidades que o software pode desenvolver, e que não foram demonstradas neste estudo. Além disso, recomenda-se desenvolver ferramentas para o software, visto que ele, por se tratar de um software de código aberto, pode servir de base para a criação de plugins, utilizando linguagens de programação nativas do software.

Como última recomendação, sugere-se um estudo de caso, evidenciando a aplicação do software referente à análise topográfica por meio do método do Modelo Digital do Terreno (MDT) e Modelo Digital da Superfície (MDS), tais métodos buscam representar a altimetria dos objetos levantados em relação ao solo.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. ANA. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. SNIRH. - **Base hidrográfica ottocodificada multiescalas 2017**. Brasília: ANA, 2023. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/>. Acesso em: 14 nov.2023.

ALVES, William P. **Banco de Dados**. São Paulo: Editora Saraiva, 2014. E- book. ISBN 9788536518961. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518961/>. Acesso em: 26 nov. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Execução de levantamento topográfico**: NBR 13133. Rio de Janeiro, 1994. 35 p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Levantamento cadastral territorial para registro público – Procedimento**: NBR 17047. Rio de Janeiro, 2022. 12 p.

AUGUSTO, E. A. A. **Registro de Imóveis, Retificação de Registro e Georreferenciamento: Fundamento e Prática**. São Paulo, Editora Saraiva, 2013.

BRASIL. Lei n.º 10.267, de 28 de agosto de 2001. **Altera dispositivos das Leis nº 4.947, de 6 de abril de 1966, 5.868, de 12 de dezembro de 1972, 6.015 de 31 de dezembro de 1973, 6.739 de 5 de dezembro de 1979, 9.393 de 19 de dezembro de 1996, e dá outras providências**. Brasília: Diário Oficial da União, 2001.

CORREA, Marques P. **Topografia e geoprocessamento**. Porto Alegre: Grupo A, 2017. E-book. ISBN 9788595022713. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595022713/>. Acesso em: 26 nov. 2023.

DE AZEVEDO, Júlia Gomes. **Lei n.º 10.267/2001 e Georreferenciamento: aplicação do instituto e as suas repercussões**. Aracaju: Criação, 2018. 75 p

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT-**VGEO**. Rio de Janeiro: DNIT. 2016. Disponível em: <https://servicos.dnit.gov.br/vgeo/>. Acesso em: 12 de set. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Especificações e normas gerais para levantamentos GPS (Preliminares)**. Rio de Janeiro: IBGE. 1998. 27 p

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. INCRA. **Manual Técnico de Posicionamento: georreferenciamento de imóveis rurais**. Brasília: INCRA. 2013. 37 p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. INPE. DEPARTAMENTO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS. DPI. Brasília: DPI/INPE. 2006. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/>. Acesso em: 12 de set. 2023.

MARINHO, Alex. **Requisitos da usucapião extrajudicial de imóveis**. 2017. 45 p. Curso de Bacharelado em Direito da Faculdade de Ciências Jurídicas da Universidade Tiuti. Paraná, PR. Disponível em: <https://tcconline.utp.br/media/tcc/2017/10/R-EQUISITOS-DA-USUCAPIAOEXTRAJUDICIAL-DE-IMOVEIS.pdf>. Acesso em: 14 set. 2023.

MATTAR, João; RAMOS, Daniela K.
Metodologia da pesquisa em educação: Abordagens Qualitativas, Quantitativas e Mistas. São Paulo: Grupo Almedina (Portugal), 2021. E-book. ISBN 9786586618518. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786586618518/>. Acesso em: 26 nov. 2023.

RAMBO, L. I. **Retificação administrativa de limites, confrontações e áreas de terrenos urbanos junto ao registro de imóveis, a partir de dados do cadastro imobiliário urbano.** 2000. 185 p. Tese (Mestrado em Engenharia Civil). Curso de pós-graduação em engenharia civil da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis–SC.

SECRETÁRIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Práticas de geoprocessamento em QGIS.** 2. ed. Belo Horizonte.

SILVA, L. S.; MENEZES, E. M.
Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. Manual de orientação. Florianópolis, 2001. Disponível em:

<http://www.scribd.com/doc/2367267/DA-SILVA-MENEZES-2001-Metodologia-da-pesquisa-e-elaboracao-de-dissertacao>. Acesso em: 26 nov. 2023.

TROMBETA, Letícia R A.; OLIVEIRA, Luiz F. R de; PELINSON, Natália S.; *et al.*
Geoprocessamento. Porto Alegre: Grupo A, 2019. *E-book*. ISBN 9786581492120. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786581492120/>. Acesso em: 26 nov. 2023.

**COMPARAÇÃO DE VOLUMES DE CORTES E ATERROS UTILIZANDO
SOFTWARE DE MODELAGEM TOPOGRÁFICA BIM****COMPARISON OF CUT AND FILL VOLUMES USING BIM TOPOGRAPHIC
MODELING SOFTWARE**Gustavo da Luz Facchini ¹Pedro Thiago Venzon ²Elias Riffel ³Vivian Siffert Wildner ⁴

RESUMO: Cálculos de volumes em projetos de terraplenagem têm implicações diretas na viabilidade e custos das obras. Esta pesquisa teve como objetivo comparar os métodos de cálculo de volumes de terraplenagem, focando nas abordagens de seções transversais e interpolação de Modelos Digitais de Terreno (MDT) no *software* Civil 3D da Autodesk. A pesquisa analisa como o espaçamento entre as seções impacta a precisão dos volumes de corte e aterro, com base em 36 amostras de projetos. O estudo avalia a precisão dos volumes gerados por diferentes distâncias entre as seções e compara com os volumes obtidos pela interpolação de MDT. O método de interpolação de MDT é recomendado para terrenos irregulares, por oferecer maior precisão, minimizando erros e otimizando recursos. Os resultados também indicam distâncias ideais entre seções, de 3,80 e 6,84 metros, para garantir erros numa faixa de tolerância de 2% a 6%, recomendado em projetos de terraplenagem. Além disso, destaca-se a importância do uso de tecnologias precisas de levantamento topográfico, como LiDAR e drones, para garantir a qualidade dos modelos digitais. O trabalho oferece recomendações práticas para melhorar os cálculos e sugere explorar intervalos menores entre as seções para obter maior precisão, contribuindo para a evolução dos cálculos e execução de projetos de terraplenagem.

Palavras-chave: MDT; volumes; terrenos.

ABSTRACT: *Volume calculations in earthwork projects have direct implications for the feasibility and costs of the works. This research aimed to compare the methods for calculating earthwork volumes, focusing on the cross-section and Digital Terrain Model (DTM) interpolation approaches in Autodesk Civil 3D software. The research analyzed how the spacing between sections impacts the accuracy of cut and fill volumes based on 36 project samples. The study evaluated the accuracy of volumes generated by different distances between sections and compared them with the volumes obtained by DTM interpolation. We recommend the DTM interpolation method for irregular terrains, as it offers greater accuracy, minimizes errors, and optimizes resources. The results also indicated ideal section distances of 3.80 and 6.84 meters to maintain error tolerances of 2% to 6%, which we recommend for earthwork projects. We also*

¹ Acadêmico. Centro Universitário de Brusque - UNIFE. E-mail: gugafacchini@unifebe.edu.br

² Mestre. Centro Universitário de Brusque - UNIFE. E-mail: pedro.venzon@unifebe.edu.br

³ Mestre. Centro Universitário de Brusque - UNIFE. E-mail: eliasriffel@unifebe.edu.br

⁴ Doutora. Centro Universitário de Brusque - UNIFE. E-mail: vivian.wildner@unifebe.edu.br

emphasized the significance of utilizing precise surveying technologies, including LiDAR and drones, to guarantee the quality of digital models. The paper provides practical recommendations to enhance calculations. It also suggests exploring smaller intervals between sections to achieve greater accuracy, thereby contributing to the advancement of calculations and the execution of earthwork projects.

Keywords: DTM; volume; terrain.

1 INTRODUÇÃO

A precisão na determinação dos volumes de corte e aterro é fundamental para o sucesso de projetos de terraplenagem, especialmente em obras rodoviárias e de infraestrutura. Métodos tradicionais, como o das seções, embora amplamente utilizados, podem introduzir erros significativos ao longo de grandes extensões, resultando em discrepâncias que afetam tanto o custo quanto o cronograma do projeto. Com o advento de tecnologias avançadas, como o Civil 3D, que opera em um ambiente BIM, é possível utilizar o método de interpolação para calcular volumes com maior precisão.

Este trabalho tem como objetivo analisar e comparar métodos utilizados no cálculo de volumes de terraplenagem, com foco nos métodos de seções transversais e interpolação de Modelos Digitais de Terreno (MDT) no *software* Civil 3D da Autodesk. A pesquisa se limita à análise dessas duas abordagens, expondo como as distâncias entre as seções impactam nos resultados de volumes de corte e aterro.

O objeto de estudo está centrado no cálculo de volumes de terraplenagem, especificamente nos métodos de seções e interpolação de MDT, com análise comparativa de erros de cálculo com base em 36 amostras de projetos de terraplenagem.

O objetivo geral da pesquisa foi comparar os métodos de cálculo de volumes de terraplenagem, focando nas abordagens de seções transversais e interpolação de Modelos Digitais de Terreno (MDT) no *software* Civil 3D da Autodesk. Além disso, são estabelecidos objetivos específicos, como avaliar a precisão dos volumes obtidos com diferentes espaçamentos entre as seções e a comparação com os volumes gerados pelo método de interpolação, visando identificar o impacto do espaçamento nas distorções dos resultados.

A pesquisa justifica-se pela necessidade de maior precisão nos cálculos de volumes em projetos de terraplenagem, tendo implicações diretas na viabilidade e custos das obras. A utilização do método de interpolação de MDT, com sua maior precisão, é recomendada para projetos com terrenos irregulares, principalmente quando se busca minimizar erros e otimizar recursos no processo de execução.

O estudo também visa determinar distâncias ideais entre seções para minimizar os erros em cálculos de volumes, propondo a adoção de distâncias entre 3,80 e 6,84 metros para garantir que os erros se mantenham na faixa de tolerância de 2% a 6%, como recomendado em projetos de terraplenagem. O trabalho ainda destaca a importância do uso de tecnologias de levantamento topográfico precisas, como o *Light Detection and Ranging* - LiDAR e drones, para garantir a qualidade do modelo digital do terreno.

Esta pesquisa se justifica pela necessidade de avaliar a eficácia dessa tecnologia em comparação com os métodos tradicionais. Reduzir erros nos cálculos de volumes pode gerar economias substanciais em projetos de movimentação de terra, além de melhorar o planejamento e a execução das obras.

A relevância desta pesquisa está na importância de obter resultados precisos em projetos de terraplenagem, que influenciam diretamente na viabilidade e no custo de uma obra. A análise de diferentes métodos para cálculo de volumes de corte e aterro, com ênfase na interpolação de MDT, oferece uma contribuição significativa ao campo da engenharia civil, especialmente em projetos com terrenos irregulares. Além disso, o estudo fornece recomendações práticas para a utilização dos métodos analisados e sugere a exploração de intervalos menores entre as seções, além dos três avaliados, para alcançar maior precisão nos cálculos. A pesquisa contribui para a melhoria das práticas de cálculo e execução de projetos de terraplenagem, beneficiando a engenharia civil em obras com terrenos variados e exigentes.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 SUPERFÍCIE TOPOGRÁFICA EM MODELOS DIGITAIS

Para a representação da superfície física da Terra podemos utilizar Modelos Digitais do Terreno – MDT. Um MDT pode ser definido com a representação matemática de uma superfície, por meio das coordenadas X, Y e Z (Rocha, 2000).

Dentre as aplicações dos MDT, de acordo com Burrough (1986), estão o armazenamento de dados de altimetria para mapas topográficos; análises de corte-aterramento para projeto de estradas e barragens; elaboração de mapas de declividade e exposição para apoio a análise de geomorfologia e erodibilidade; análise de variáveis geofísicas e geoquímicas e apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis).

O processo de geração de um MDT se divide em três fases: coleta dos dados, geração de grades e elaboração dos produtos (representação das informações obtidas).

Na geração de um modelo digital de terreno, a aquisição dos dados pode ser realizada a partir de três processos:

- digitalização de mapas já existentes;
- restituição fotogramétrica;
- levantamento direto no campo que é o caso da Topografia.

Segundo Rocha (2000), esta aquisição de dados não deve ser feita aleatoriamente. No processo de amostragem, devem ser levantados os pontos representativos da topografia ou da superfície de interesse, procurando cobrir toda a área amostrada na densidade necessária às particularidades locais. Nesse processo, devemos considerar, principalmente, os pontos característicos do terreno, tais como:

- **Pontos notáveis** - altos, baixos ou mudança de declive;
- **Linhas de estrutura** – linhas naturais do terreno: cristas, vales, talwegues e rios;
- **Breaklines** – linhas construídas como estradas, muros, etc.
- **Áreas planas** – áreas existentes ou construídas que possuem a mesma cota, como platôs, campos de futebol, lagos e outras.

Entretanto, os modelos digitais de terreno não são elaborados sobre os dados amostrados, mas sim baseados nos modelos gerados no formato de grade regular ou irregular. Esses formatos simplificam a implementação dos algoritmos de aplicação e os tornam mais rápidos computacionalmente.

Segundo Mourão e Rocha (2001), as grades triangulares ou TIN – Triangular Irregular Network são estruturas do tipo vetorial, compostas de arcos (arestas) e nós (vértices), que representam a superfície por meio de um conjunto de faces triangulares interligadas. Para cada um dos vértices dos triângulos, as coordenadas de localização (X, Y) e o atributo Z são armazenados, representando um valor qualquer.

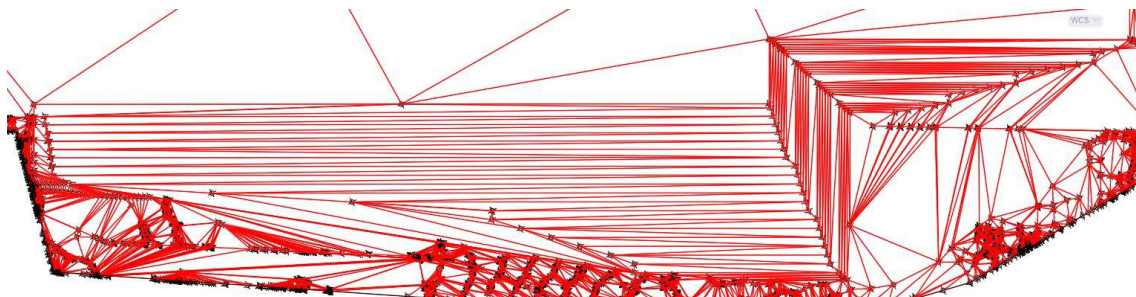
A modelagem de superfície ou reconstruções de superfícies é o processo pelo qual a representação do terreno é obtida (Li; Zhu; Gold, 2004).

Em TINs, os pontos ou vértices são escolhidos e conectados em série para formar uma rede de triângulos, representando assim a superfície na forma de triângulos contíguos e não sobrepostos (Raza *et al.*, 2023).

Os TINs têm uma vantagem sobre os modelos baseados em grade por sua capacidade de descrever a superfície em diferentes resoluções, pois, em certos casos, é necessária uma resolução maior dos triângulos, como em picos de montanhas (Raza *et al.*, 2023).

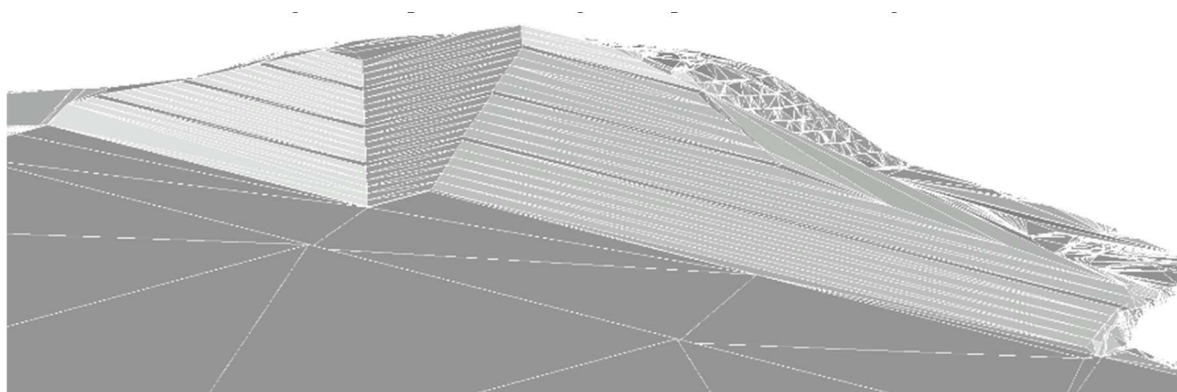
As figuras a seguir demonstram a visualização dos modelos digitais de terreno no *software* de modelagem Civil 3D, no qual é possível observar na Figura 1, os pontos e arestas das grades triangulares TIN e na Figura 2 esse mesmo modelo digital de terreno, só que com vista em 3D.

Figura 1 - Grade triangular - TIN



Fonte: autor (2024).

Figura 2 - Superfície em 3D gerada a partir da Grade triangular



Fonte: autor (2024).

2.2 NORMATIVAS BRASILEIRAS

A NBR 13.133, que trata da execução de levantamentos topográficos, é fundamental para garantir a precisão nos projetos de terraplenagem. Ela estabelece critérios técnicos para a obtenção de dados topográficos com alta confiabilidade, fundamentais para o cálculo de volumes de corte e aterro. A norma define níveis de precisão conforme a escala do projeto, destacando a importância de levantamentos rigorosos, especialmente em terrenos com alta variabilidade altimétrica. Métodos adequados são recomendados para assegurar a exatidão dos dados. Além disso, a NBR 13.133 orienta quanto à densidade de pontos levantados e ao processamento das informações, garantindo que os modelos digitais de terreno representem fielmente as condições reais do local.

Outra contribuição importante da NBR 13.133 está no controle de erros durante o levantamento e no processamento de dados. Ela enfatiza práticas como a verificação de ângulos, distâncias e nivelamentos durante o trabalho de campo, além de cuidados no tratamento dos dados para evitar distorções no modelo digital. A representação precisa do terreno levantado é essencial para comparações confiáveis com o modelo projetado, sendo o ponto de partida para análises quantitativas detalhadas. Assim, a norma serve como uma base sólida para o levantamento topográfico ser consistente e reduz o risco de discrepâncias significativas nos cálculos de movimentação de terra.

As diretrizes para levantamentos topográficos da NBR 13.133 apresentam controles de qualidade que devem ser empregados para que levantamentos topográficos apresentem a qualidade necessária para execução de projetos, podendo ser utilizados diversos tipos de ferramentas para execução do levantamento. Uma das técnicas possíveis de ser utilizada é o LiDAR, alternativa moderna de alta precisão com vasta densidade de pontos gerados.

2.3 LiDAR

LiDAR, sigla utilizada para *Light Detection and Ranging* e tradução para Detecção e alcance de luz, é um termo utilizado para designar essa nova tecnologia de sensoriamento remoto. Em português, vem sendo utilizada a terminologia de Sistema de Varredura a Laser (Coelho; Vargas, 2007).

O princípio de funcionamento do LiDAR baseia-se na emissão de pulsos laser em uma frequência específica. Esses pulsos viajam até um objeto, são refletidos de volta ao sensor, e o tempo que a luz leva para retornar é medido. Com base nesse tempo de retorno e na velocidade da luz, é possível calcular a distância entre o sensor e o objeto (Felisbino; Guerrero; Barra, 2019).

Uma vantagem dos sensores de varredura a laser em relação aos clássicos sensores passivos (fotografias aéreas e imagens de satélite) é que os scanners a laser não dependem do sol como uma fonte de iluminação. Assim sendo, a análise dos dados não é prejudicada por sombras causadas por nuvens ou objetos vizinhos (Wagner *et al.*, 2004).

Além disso, o sensor LiDAR pode captar múltiplas reflexões a partir de um único pulso, ou seja, ele pode registrar diferentes níveis de reflexão ao atravessar elementos como a copa de árvores e alcançar o solo. Esse aspecto torna o LiDAR uma ferramenta poderosa para gerar informações detalhadas de superfícies complexas, como florestas, áreas urbanas ou terrenos irregulares (Wagner *et al.*, 2004).

Apesar de ser uma tecnologia utilizada globalmente há mais de duas décadas, a aplicação do LiDAR em larga escala no Brasil começou em 2001 (Schafer; Loch, 2005). Depois disso, ele tem sido amplamente empregado em projetos que demandam grande escala e alta acurácia, como obras de infraestrutura, estudos ambientais e monitoramento de áreas urbanas.

Essa tecnologia possibilita levantamentos planialtimétricos precisos, com a obtenção de pontos coordenados conforme o observado nos locais de interesse, possibilitando a construção de superfícies tridimensionais de qualidade em *softwares* de modelagem.

2.4 BIM – MODELAGEM COM INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

O termo BIM (*Building Information Modeling*) é utilizado para definir uma metodologia capaz de implementar e organizar todas as informações pertinentes a uma edificação, possibilitando, então, a execução exata do modelo virtual dela, antes de iniciar a execução da obra (Reis, 2021).

Para Arsenault (2009), BIM é a criação paramétrica, ou inteligente, de modelos de perspectivas 3D em vez de desenhos 2D “não inteligentes”. Ele opera sobre uma base de dados digital e qualquer alteração feita nesta base reflete-se em todas as peças desenhadas que compõem o projeto. Permitindo, assim, que todos os envolvidos no período de vida do empreendimento de construção (arquiteto, engenheiro, empreiteiro e proprietário) visualizem o modelo de modo diferente, conseguindo facilmente compartilhar informações.

Entretanto, conforme apontado por Eastman *et al.* (2014), a definição de BIM exige também a delimitação daquilo que não pode ser considerado como tal. Modelos tridimensionais voltados exclusivamente para a representação geométrica e visual, frequentemente utilizados na apresentação comercial de empreendimentos, não se enquadram no conceito de BIM. Da mesma forma, modelos que não utilizam objetos paramétricos, incapazes de se ajustarem automaticamente em resposta a alterações nos elementos aos quais estão vinculados, também não atendem a essa definição. Além disso, modelos que dependem da sobreposição de desenhos 2D para formar representações tridimensionais ou que não realizam atualizações automáticas em todas as vistas quando alterações são feitas, igualmente não caracterizam a metodologia BIM.

Embora frequentemente percebida como uma inovação recente, a metodologia BIM possui raízes em setores como a indústria automobilística, aeronáutica e naval, onde já é amplamente utilizada. No entanto, sua aplicação no setor da construção civil é mais recente em comparação a essas indústrias (Reis, 2021).

2.4.1 Funcionalidades e Benefícios do BIM

A modelagem da informação da construção (BIM) permite a criação de um modelo virtual abrangente de todo o projeto, viabilizando a tomada de decisões críticas de forma antecipada. Esse processo reduz significativamente a ocorrência de surpresas durante a fase de execução, etapa em que alterações podem acarretar elevados custos financeiros (Reis, 2021).

Quando corretamente implementada, a metodologia BIM oferece inúmeros benefícios em relação aos métodos tradicionais baseados exclusivamente em documentação 2D.

Entre as funcionalidades e benefícios mais relevantes da implementação do BIM, destaca-se o aumento da qualidade dos projetos e do desempenho das construções. Uma das aplicações de maior impacto é a identificação de interferências, conhecida como *clash detection*, fundamental para a compatibilização de projetos. Essa ferramenta permite classificar os conflitos encontrados conforme sua relevância, facilitando sua identificação, categorização e organização. Segundo Addor (2015), os conflitos podem ser classificados em três categorias:

- **Soft clash:** elementos que não respeitam a distância mínima exigida em relação a outros componentes ou sistemas.
- **Hard clash:** elementos que se sobrepõem fisicamente.
- **Time clash:** elementos cuja interferência ocorre ao longo do tempo, como durante a construção ou o uso do edifício.

A capacidade do BIM de identificar, classificar e corrigir interferências em diferentes níveis reforça sua importância para a compatibilização de projetos e para a redução de retrabalhos e custos. Entretanto, para alcançar a máxima eficiência na modelagem e análise, é indispensável o uso de dados precisos e detalhados do terreno e das condições do ambiente. Nesse contexto, tecnologias de sensoriamento remoto, como o LiDAR, complementam o BIM ao fornecer informações tridimensionais de alta acurácia, fundamentais para a criação de modelos digitais do terreno (MDTs) e para o planejamento de obras que envolvam cortes e aterros. Essa integração potencializa os resultados da metodologia BIM, promovendo um controle ainda maior sobre os empreendimentos.

A tecnologia, no entanto, fica refém da acuracidade dos levantamentos topográficos para projetos de terraplenagem, para isso é necessário seguir recomendações técnicas presentes nas Normas Brasileiras – NBR.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Trata-se de uma pesquisa básica, com abordagem quantitativa e de natureza exploratória, que compara o volume de cortes e aterros obtidos pelo método tradicional por sessões com o volume calculado pelo método de interpolação de superfícies utilizando *software* de modelagem topográfica BIM.

3.2 POPULAÇÃO E AMOSTRA

Foram utilizados 36 levantamentos topográficos realizados com tecnologia LiDAR juntamente ao seu respectivo projeto de terraplenagem para obtenção dos dados. Tais projetos de terraplenagem possuem variações de 209 (duzentos e nove) metros cúbicos a 465.294 (quatrocentos e sessenta e cinco mil e duzentos e noventa e quatro) metros cúbicos de movimentação de terra.

Os projetos utilizados para as amostras variam em suas funcionalidades, sendo as mais comuns: nivelamento do solo para platôs em obras comerciais ou industriais com objetivo de implementação de 1 ou mais galpões, corte e aterro de morros para viabilização de projetos de condomínios horizontais e loteamentos, visto que as leis municipais costumam solicitar inclinação máxima para vias com acesso a lotes em 20% e lotes com declividades máximas de 30%.

3.3 INSTRUMENTOS DA PESQUISA

O *software* de modelagem BIM Civil 3D foi empregado para gerar os relatórios de movimentação de terra tanto para o método tradicional por seções quanto para o método de interpolação. Os dados obtidos com base nas amostras analisadas foram armazenados no Excel e manuseados com auxílio do Visual Basic for Applications (VBA), linguagem de programação da Microsoft, que possibilitou o refino dos dados para criação de tabelas e gráficos.

3.4 TÉCNICAS DE PESQUISA

A seguir, será discutido como foram obtidos os volumes de corte e aterro finais para cada amostra, utilizando o *software* de modelagem BIM Civil 3D, no qual foram analisados os modelos digitais de terreno para o método de seções e para o método de interpolação.

3.4.1 Método De Seções No Civil 3D

Para obtenção de volumes de terraplenagem pelo método de seções utilizando o Civil 3D, é necessário traçar um alinhamento ou *feature line* na planta, de modo que a linha passe sobre os modelos digitais de terreno a serem comparados.

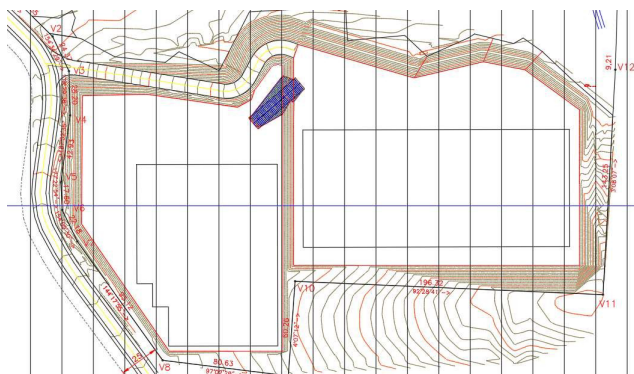
“Alinhamento” e “Feature Line” são linhas com propriedades capazes, além da representação visual em 2D em planta, uma vez que, por meio da tecnologia BIM, é possível gerar corredores e perfis a partir dessas linhas especiais.

Traçado o alinhamento, utiliza-se a ferramenta “Sample Lines”, para geração de cada linha de perfil. É possível definir o intervalo entre os perfis, assim como o incremento de linhas de perfil em tangentes, curvas e espirais para maior fidelidade dos volumes calculados.

No presente trabalho, foram utilizadas distâncias de 20, 10 e 5 metros entre os perfis, pois são os distanciamentos mais comumente utilizados e solicitados pelos órgãos que autorizam os projetos de terraplenagem em Brusque e região.

Na Figura 3, as curvas de nível representam a superfície do projeto final. Esta superfície está sobreposta no sentido de georreferenciamento com a superfície do Terreno Natural, só que com sua representação desativada para clareza da visualização. A linha horizontal em azul é o alinhamento previamente apresentado, e as sample lines (perfis transversais) passam perpendicularmente ao alinhamento.

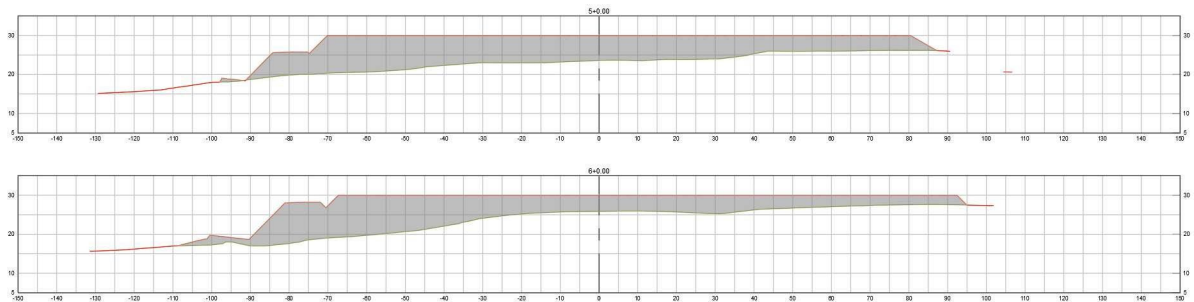
Figura 3 – Projeto com Curvas de Nível - Alinhamento em Azul na Horizontal e Sample lines em preto na vertical



Fonte: autor (2024).

Cada “Sample Line” gera um perfil como na Figura 4 a seguir, apresentando as superfícies comparadas. Na imagem, a linha verde (inferior) representa a superfície do terreno natural e, em vermelho (superior), a superfície do projeto de terraplenagem final. A hachura em cinza é a área que será utilizada para o cálculo pelo método de seções para determinação dos volumes de terraplenagem. A hachura acima da linha que representa o terreno natural representa aterro, e abaixo dessa linha representa corte.

Figura 4 – Perfil Transversal de duas seções



Fonte: autor (2024).

A Tabela 1 é um exemplo de tabela gerada pela ferramenta “Relatório de Volume” do Civil 3D, na qual cada estação é uma *sample line* e perfil gerado. Cada “Estação” é gerada a partir do intervalo escolhido para as seções. Nesse caso, como a tabela de volumes foi gerada com base nas seções com intervalos de 20 metros, cada espaço entre cada estação mede 20 metros. Caso uma seção nova fosse adicionada, não sendo múltipla do intervalo base determinado, ficaria a distância descrita após o símbolo de mais.

Para geração de volumes, é necessário determinar a superfície base “EG - Existing Ground” e a superfície de comparação “DATUM”. Estas representam a superfície acabada, não considerando os possíveis materiais de pavimentação que podem ou não ser utilizados, uma vez que o objetivo primário é determinar a movimentação de solo e não de diferentes materiais utilizados.

Tabela 1 – Tabela com os cálculos de obtenção de volumes pelo método de seções

20 metros							
Estação	Área de Corte (m²)	Volume de Corte (m³)	Área de Aterro (m²)	Volume de Aterro (m³)	Cumulativo do Volume de Corte (m³)	Cumulativo do Volume de Aterro (m³)	Cumulativo da diferença Corte/Aterro (m³)
0+00,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1+00,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02
2+00,00	64,16	641,58	94,75	947,49	641,60	947,49	-305,88
3+00,00	64,17	1.283,25	171,18	2.659,33	1.924,85	3.606,81	-1.681,96
4+00,00	715,34	7.795,14	276,55	4.477,37	9.719,99	8.084,18	1.635,81
5+00,00	1.210,43	19.257,74	698,44	9.749,90	28.977,73	17.834,08	11.143,65
6+00,00	775,63	19.860,64	636,01	13.344,43	48.838,37	31.178,51	17.659,86
7+00,00	458,06	12.336,94	620,61	12.566,19	61.175,31	43.744,70	17.430,61
8+00,00	84,56	5.426,18	938,51	15.591,18	66.601,49	59.335,88	7.265,61
9+00,00	0,00	845,57	1.952,06	28.905,66	67.447,06	88.241,54	-20.794,48
10+00,00	0,04	0,43	2.508,97	44.610,28	67.447,49	132.851,82	-65.404,33
11+00,00	0,04	0,88	1.364,43	38.734,01	67.448,37	171.585,83	-104.137,46
12+00,00	0,00	0,45	152,90	15.173,34	67.448,82	186.759,17	-119.310,35
13+00,00	0,00	0,00	0,00	1.529,01	67.448,82	188.288,18	-120.839,36
14+00,00	0,00	0,00	0,00	0,00	67.448,82	188.288,18	-120.839,36

Fonte: autor (2024).

A Tabela 1 apresenta todo o cálculo de movimentação de terra ao longo das seções apresentando a área de corte e aterro em m² obtidos pela hachura presente nas seções e fazendo a média ao longo dos intervalos, é possível notar quanto que é calculado para corte e aterro entre cada seção nas colunas 3 e 5. O cumulativo dos volumes de corte e aterro são apresentados nas colunas 6 e 7 e, por fim, na coluna 8 o cumulativo da diferença entre corte e aterro, na qual quando o valor é positivo há sobra de material (solo) e quando o valor for negativo há falta de material para execução da obra de terraplenagem.

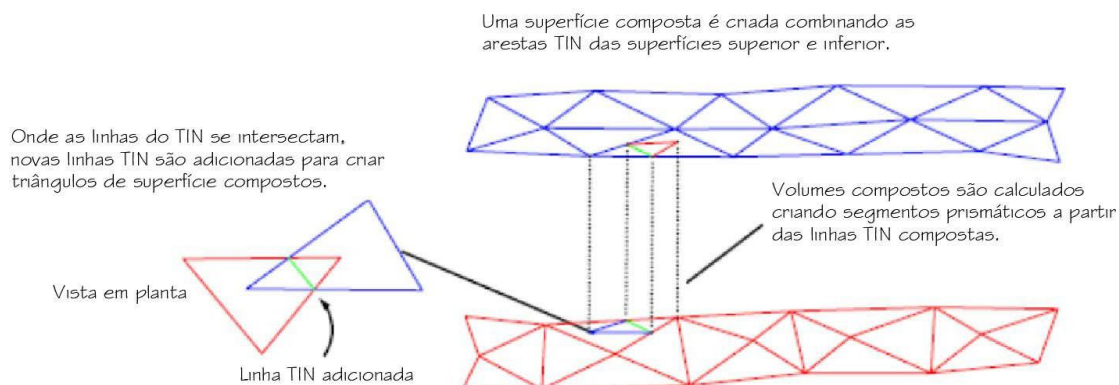
3.4.2 Método De Interpolação De Superfícies No Civil 3D

A obtenção de volumes de terraplenagem utilizando o Civil 3D pelo método de interpolação é definida pela comparação de duas superfícies TIN, em que a interpolação das superfícies combina as arestas de ambas, gerando um prisma. O conjunto dos volumes de todos os prismas gerados resulta nos volumes de corte e aterro.

Para diferenciação de corte e aterro é necessário definir a superfície base e a superfície de comparação, de modo que na interpolação das superfícies os volumes dos prismas gerados acima da superfície base sejam definidos como aterro, e o volume dos prismas gerados abaixo da superfície base ficam definidos como corte.

A Figura 5 fornecida pela Autodesk, empresa responsável pelo *software* Civil 3D, demonstra como funciona a geração dos prismas a partir das linhas de triangulação dos modelos digitais de terreno, a partir das grades triangulares TIN para cálculo.

Figura 5 – Interpolação de superfícies no Civil 3D



Fonte: Autodesk (2024).

Tal método de cálculo de volumes para terraplenagem é muito mais confiável do que o método de seções, uma vez que não é feita a média entre os perfis selecionados, havendo a geração de prismas na totalidade das superfícies analisadas.

A interpolação das superfícies é feita ao utilizar a ferramenta “volumes dashboard”, que assim como no método das seções, solicita a indicação da superfície base/terreno natural e da superfície final/superfície acabada do projeto.

A Figura 6 é a tabela gerada pelo *software* Civil 3D, apresentando respectivamente para cada coluna: Nome do cálculo sendo efetuado; Fator de empolamento para corte; Fator de empolamento para aterro; Área em planta do projeto em análise; Corte ajustado pelo empolamento; Aterro ajustado pelo empolamento; Diferença de corte e aterro, apresentando o volume da diferença e indicando corte em caso de sobra de material e aterro em caso de falta de material.

Figura 6 – Resultado do volume gerado por interpolação no software

Name	Cut Factor	Fill Factor	2d Area(sq.m)	Cut(adjust...	Fill(adjust...	Net(adjusted)(Cu. M.)
..... <input checked="" type="checkbox"/> VOLUME-6	1.000	1.000	121356.88	401404.53	314229.17	87175.36<Cut>

Fonte: autor, 2024

Para todas as amostras, o fator de empolamento foi definido como 1, uma vez que se busca apenas obter os valores absolutos dos volumes na comparação entre modelos digitais de terreno.

Empolamento é o efeito observado quando o solo é removido de seu estado natural, perdendo a compactação original. Nesse processo, as partículas se reorganizam, criando mais vazios e aumentando o volume ocupado, embora a massa permaneça inalterada.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

As Tabelas 2 e 3 trazem os resultados obtidos a partir dos métodos previamente apresentados. Na coluna 1 de cada tabela, está listada a amostra em análise e nas colunas seguintes, o valor do cumulativo de corte ou aterro final para seções de 20 metros, 10 metros e 5 metros. Por fim, na última coluna, há o valor de corte obtido pelo método de interpolação de superfícies.

Tabela 2 – Resultados de Cortes para os métodos adotados

Amostras	Corte - Seção 20m	Corte - Seção 10m	Corte - Seção 05m	Corte por interpolação
Amostra 01	406.118,71 m³	402.666,84 m³	401.628,55 m³	401.404,53 m³
Amostra 02	134.224,68 m³	133.976,28 m³	134.165,32 m³	134.258,07 m³
Amostra 03	90.933,01 m³	91.121,09 m³	90.659,64 m³	90.752,16 m³
Amostra 04	67.448,82 m³	68.205,52 m³	68.741,15 m³	68.990,60 m³
Amostra 05	26.654,89 m³	26.428,22 m³	26.282,39 m³	26.326,16 m³
Amostra 06	51.568,40 m³	52.430,87 m³	52.569,48 m³	52.685,89 m³
Amostra 07	288.675,56 m³	287.066,38 m³	286.854,53 m³	286.788,65 m³
Amostra 08	144.297,29 m³	142.967,33 m³	142.902,08 m³	142.974,82 m³
Amostra 09	52.815,63 m³	52.201,28 m³	51.739,88 m³	51.811,25 m³
Amostra 10	162,19 m³	160,31 m³	166,44 m³	166,10 m³
Amostra 11	71.381,80 m³	70.458,77 m³	69.436,88 m³	69.273,60 m³
Amostra 12	95.982,97 m³	93.756,82 m³	93.696,62 m³	93.878,76 m³
Amostra 13	328.851,06 m³	331.853,21 m³	331.041,68 m³	330.941,13 m³
Amostra 14	203.593,74 m³	202.048,50 m³	201.463,96 m³	201.511,65 m³
Amostra 15	48.288,68 m³	46.692,01 m³	47.073,46 m³	47.065,94 m³
Amostra 16	78,80 m³	90,85 m³	101,91 m³	105,23 m³
Amostra 17	5.104,89 m³	5.442,98 m³	5.173,32 m³	5.185,17 m³
Amostra 18	147.770,47 m³	149.436,05 m³	149.781,12 m³	149.706,13 m³
Amostra 19	9,97 m³	18,56 m³	18,10 m³	16,36 m³
Amostra 20	499.069,01 m³	495.102,22 m³	497.265,13 m³	497.098,55 m³
Amostra 21	90.680,40 m³	90.170,21 m³	90.606,91 m³	90.721,12 m³
Amostra 22	355.494,42 m³	350.685,58 m³	351.305,96 m³	351.263,15 m³
Amostra 23	246.954,65 m³	241.870,08 m³	241.592,44 m³	241.535,67 m³
Amostra 24	50.722,71 m³	49.704,38 m³	49.493,48 m³	49.488,28 m³
Amostra 25	91.775,41 m³	92.072,15 m³	91.802,90 m³	91.795,60 m³
Amostra 26	341.048,82 m³	341.464,82 m³	340.974,91 m³	340.951,99 m³
Amostra 27	91.432,53 m³	91.384,70 m³	90.891,23 m³	90.753,41 m³
Amostra 28	132.411,28 m³	131.331,60 m³	131.438,46 m³	131.373,62 m³
Amostra 29	132.851,06 m³	132.756,82 m³	132.631,92 m³	134.258,07 m³
Amostra 30	143.061,50 m³	142.944,93 m³	142.941,86 m³	142.974,82 m³
Amostra 31	51.531,64 m³	52.393,49 m³	52.538,42 m³	52.685,89 m³
Amostra 32	91.374,35 m³	91.245,03 m³	90.819,32 m³	90.722,37 m³
Amostra 33	220.690,68 m³	221.806,95 m³	221.214,60 m³	221.169,16 m³
Amostra 34	1.179,98 m³	1.242,90 m³	1.227,36 m³	1.222,48 m³
Amostra 35	325.699,38 m³	329.188,27 m³	329.015,04 m³	329.166,22 m³
Amostra 36	130.374,33 m³	128.967,04 m³	128.492,89 m³	128.765,77 m³

Fonte: autor, 2024

Tabela 3 – Resultados de Aterros para os métodos adotados

Amostras	Aterro - Seção 20m	Aterro - Seção 10m	Aterro - Seção 05m	Aterro por interpolação
Amostra 01	313.020,31 m³	314.498,63 m³	314.412,20 m³	313.945,02 m³
Amostra 02	12.012,77 m³	11.559,23 m³	11.410,63 m³	11.377,65 m³
Amostra 03	17.608,44 m³	17.010,41 m³	16.793,17 m³	16.652,23 m³
Amostra 04	188.288,18 m³	191.356,41 m³	191.233,78 m³	191.255,42 m³
Amostra 05	11.688,37 m³	12.013,44 m³	11.890,91 m³	11.944,29 m³
Amostra 06	53.853,04 m³	54.845,14 m³	54.947,64 m³	54.670,16 m³
Amostra 07	263.846,46 m³	263.163,39 m³	262.817,94 m³	262.570,37 m³
Amostra 08	132.601,42 m³	132.702,00 m³	132.476,10 m³	132.592,60 m³
Amostra 09	17.275,79 m³	17.731,58 m³	17.579,88 m³	17.574,55 m³
Amostra 10	255.259,91 m³	253.781,44 m³	253.062,76 m³	253.023,59 m³
Amostra 11	190.405,51 m³	194.171,30 m³	193.746,10 m³	193.818,20 m³
Amostra 12	107.127,94 m³	109.529,10 m³	108.426,78 m³	108.091,91 m³
Amostra 13	33.985,04 m³	34.017,91 m³	33.977,83 m³	33.948,81 m³
Amostra 14	120.925,37 m³	123.773,82 m³	124.883,47 m³	124.959,76 m³
Amostra 15	19.522,64 m³	20.344,55 m³	20.505,77 m³	20.600,68 m³
Amostra 16	2.421,87 m³	2.473,52 m³	2.486,69 m³	2.481,54 m³
Amostra 17	26,39 m³	32,10 m³	29,53 m³	28,31 m³
Amostra 18	88.453,97 m³	88.726,73 m³	88.673,82 m³	88.646,46 m³
Amostra 19	111.823,33 m³	111.058,50 m³	111.211,93 m³	111.254,90 m³
Amostra 20	31.666,33 m³	31.630,14 m³	31.910,38 m³	31.804,10 m³
Amostra 21	17.027,63 m³	16.419,52 m³	16.718,52 m³	16.652,23 m³
Amostra 22	80.049,30 m³	79.571,69 m³	79.587,55 m³	79.631,03 m³
Amostra 23	159.409,93 m³	160.501,94 m³	160.989,91 m³	160.935,07 m³
Amostra 24	47.361,15 m³	46.993,27 m³	46.782,54 m³	46.809,69 m³
Amostra 25	23.385,31 m³	22.298,06 m³	21.864,34 m³	21.837,37 m³
Amostra 26	333.869,11 m³	332.467,30 m³	332.071,73 m³	332.464,23 m³
Amostra 27	16.162,65 m³	16.737,97 m³	16.614,37 m³	16.685,69 m³
Amostra 28	29.448,44 m³	29.162,71 m³	29.220,94 m³	29.297,83 m³
Amostra 29	11.856,89 m³	11.262,49 m³	11.405,36 m³	11.377,65 m³
Amostra 30	130.250,56 m³	132.543,63 m³	132.737,83 m³	132.592,60 m³
Amostra 31	53.437,75 m³	54.297,20 m³	54.408,85 m³	54.670,16 m³
Amostra 32	15.997,01 m³	16.554,86 m³	16.628,65 m³	16.685,68 m³
Amostra 33	210.866,80 m³	212.041,67 m³	210.930,08 m³	210.502,86 m³
Amostra 34	1.173,97 m³	830,28 m³	966,78 m³	1.012,56 m³
Amostra 35	23.785,03 m³	23.539,12 m³	23.615,76 m³	23.606,44 m³
Amostra 36	75.328,29 m³	77.333,19 m³	77.951,56 m³	77.987,75 m³

Fonte: autor, 2024

Conforme esperado, os valores para corte e aterro obtidos pelos métodos das seções convergem para o valor obtido pelo método de interpolação.

A amostra 34 para Aterros da Tabela 3 é um bom exemplo para avaliar a credibilidade dos dados obtidos pelo método das seções, uma vez que é possível notar a flutuação dos valores obtidos para as seções de 20, 10 e 5 metros. O valor de aterro para seções de 20 metros foi de 1.173,97 m³, nas seções de 10 metros 830,28 m³, nas seções de 5 metros 966,78 m³. Por fim, o volume real obtido pelo método de interpolação é de 1.012,56 m³. Tal amostra demonstra como não há correlação no valor obtido ser superior ou inferior ao volume real, uma vez que as médias calculadas entre seções podem gerar volumes inferiores ou superiores ao real.

Já a amostra 2 para cortes da Tabela 2 evidencia como, por aleatoriedade, é possível alcançar um resultado quase que perfeito mesmo para seções de 20 metros,

na qual se imagina que a variação de volume será maior. O valor de corte para seções de 20 metros foi de 134.224,68 m³, nas seções de 10 metros 133.976,28 m³, nas seções de 5 metros 134.165,32 m³. Por fim, o volume real obtido pelo método de interpolação é de 134.258,07 m³. Nessa amostra, o resultado obtido por meio das seções com 20 metros de espaçamento obteve o valor mais próximo do volume observado pelo método de interpolação.

4.1 VOLUMES DE BOTA-FORA E ATERRO

Ao planejar projetos de terraplenagem, os valores de corte e aterro podem ser analisados para verificar se estão próximos do esperado. No entanto, é fundamental calcular o volume de bota-fora quando o volume de corte supera o de aterro, ou o volume de material necessário para aterrar caso o aterro exceda o corte. O ideal é equilibrar esses volumes, tornando a obra autossuficiente e minimizando a necessidade de transporte de grandes quantidades de terra para fora ou para o local do projeto.

A seguir, serão analisados os volumes finais das amostras, considerando os valores de bota-fora ou aterro. Para isso, serão utilizados os dados do cumulativo da diferença de corte/aterro obtidos pelo método das seções, bem como os valores calculados pelo método de interpolação.

Com esse intuito, foi necessário fazer a diferença de corte e aterro para cada amostra e calcular o quanto falta para alcançar o volume final obtido pelo método das seções. Para maior compreensão, será explicado o cálculo para Amostra 1 na coluna “20 m para sobreposição”.

Pelo método das seções em 20 metros para a Amostra 1:

- Corte: 406.118,71 m³
- Aterro: 313.020,31 m³

A diferença dos dois valores resulta em 93.098,40 m³ de bota-fora.

Volumes obtidos pelo método de interpolação de MDTs para a Amostra 1:

- Corte: 401.404,53 m³
- Aterro: 313.945,02 m³

A diferença dos dois valores resulta em 87.459,51 m³ de bota-fora.

A diferença entre os volumes obtidos pelo método das seções de 20 metros e pelo método de interpolação é de 5.638,89 m³. Esse valor representa o erro volumétrico ao utilizar o método das seções de 20 metros para a amostra, gerando impactos negativos na logística da obra de terraplenagem.

Diferenças como essa podem afetar a obra de várias formas, exigindo a revisão de processos burocráticos, como declarações de bota-fora ou aquisição de solos, o que pode atrasar a execução e entrega do projeto.

Na Tabela 5, o mesmo cálculo descrito acima foi repetido em cada uma das 36 amostras utilizando os respectivos valores para cada situação, para obter os volumes finais de cada amostra, utilizando os métodos para seções de 20, 10 e 5 metros e anotando o quanto se distanciam dos volumes obtidos pelo método de interpolação.

Tabela 4 – Tabela com os valores do Gráfico 2

Amostras	20 m para Sobreposição	10 m para Sobreposição	05 m para Sobreposição
Amostra 01	5.638,89 m³	708,70 m³	243,16 m³
Amostra 02	668,50 m³	463,37 m³	125,73 m³
Amostra 03	775,36 m³	10,75 m³	233,45 m³
Amostra 04	1.425,46 m³	886,08 m³	227,81 m³
Amostra 05	584,66 m³	32,92 m³	9,60 m³
Amostra 06	300,38 m³	430,00 m³	393,89 m³
Amostra 07	610,82 m³	315,29 m³	181,70 m³
Amostra 08	1.313,65 m³	116,89 m³	43,76 m³
Amostra 09	1.303,14 m³	233,00 m³	76,69 m³
Amostra 10	2.240,23 m³	763,64 m³	38,84 m³
Amostra 11	5.520,89 m³	832,07 m³	235,38 m³
Amostra 12	3.068,19 m³	1.559,13 m³	517,00 m³
Amostra 13	2.126,30 m³	842,99 m³	71,52 m³
Amostra 14	6.116,47 m³	1.722,78 m³	28,59 m³
Amostra 15	2.300,78 m³	117,79 m³	102,43 m³
Amostra 16	33,23 m³	6,38 m³	8,48 m³
Amostra 17	78,36 m³	254,02 m³	13,06 m³
Amostra 18	1.743,16 m³	350,34 m³	47,65 m³
Amostra 19	574,81 m³	198,61 m³	44,71 m³
Amostra 20	2.108,24 m³	1.822,37 m³	60,30 m³
Amostra 21	416,12 m³	318,20 m³	180,50 m³
Amostra 22	3.813,00 m³	518,23 m³	86,29 m³
Amostra 23	6.944,13 m³	767,54 m³	1,92 m³
Amostra 24	682,96 m³	32,52 m³	32,35 m³
Amostra 25	1.568,14 m³	184,14 m³	19,67 m³
Amostra 26	1.308,06 m³	509,76 m³	415,42 m³
Amostra 27	1.202,16 m³	579,01 m³	209,14 m³
Amostra 28	887,05 m³	93,10 m³	141,73 m³
Amostra 29	1.886,25 m³	1.100,85 m³	203,69 m³
Amostra 30	2.428,72 m³	19,08 m³	178,20 m³
Amostra 31	78,16 m³	80,56 m³	113,85 m³
Amostra 32	1.340,65 m³	653,48 m³	153,98 m³
Amostra 33	842,42 m³	901,02 m³	381,78 m³
Amostra 34	203,90 m³	202,70 m³	50,66 m³
Amostra 35	3.645,43 m³	89,37 m³	160,50 m³
Amostra 36	4.268,02 m³	855,83 m³	236,69 m³

Fonte: autor (2024).

Os valores observados na Tabela 4 são a diferença do volume final para cada projeto de terraplenagem por cada espaçamento de seção quando comparados ao volume real obtido pelo método de interpolação.

As amostras 1, 11, 14 e 23 apresentam erros na determinação do volume final do projeto ao utilizar o método de seções a cada 20 metros, superando a marca de

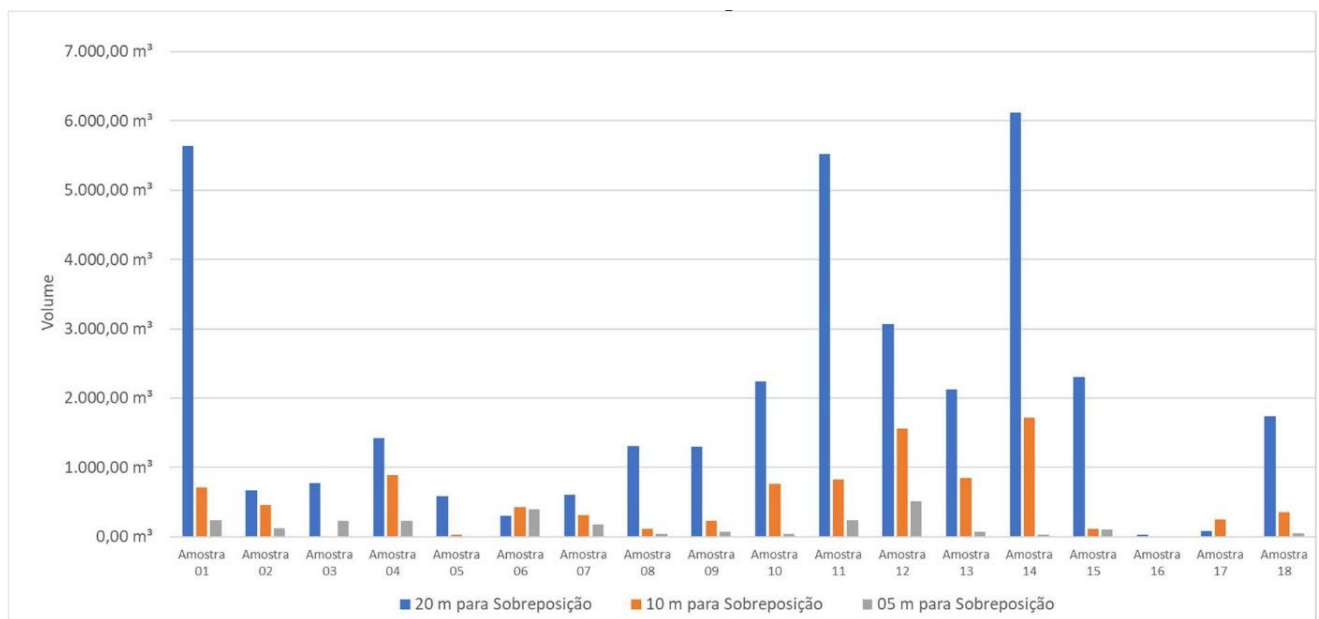
5.000 m³, enquanto essas mesmas amostras, utilizando seções de 5 metros, apresentam respectivamente erros de 243,16 m³, 235,38 m³, 28,59 m³ e 1,92 m³.

Para o porte das obras analisadas, um erro de 5.000 m³ é totalmente inviável, pois o volume do caminhão que faz transporte desses materiais costuma ser de 20 m³ e, desconsiderando empolamento, 250 viagens de caminhão para movimentar esses volumes atrapalharia muito no desenvolvimento da obra.

Porém, como o cunho das amostras utilizadas não é de obras rodoviárias, e sim de obras com considerável variabilidade, os valores para as seções de 10 e 5 metros tornam-se de maior interesse.

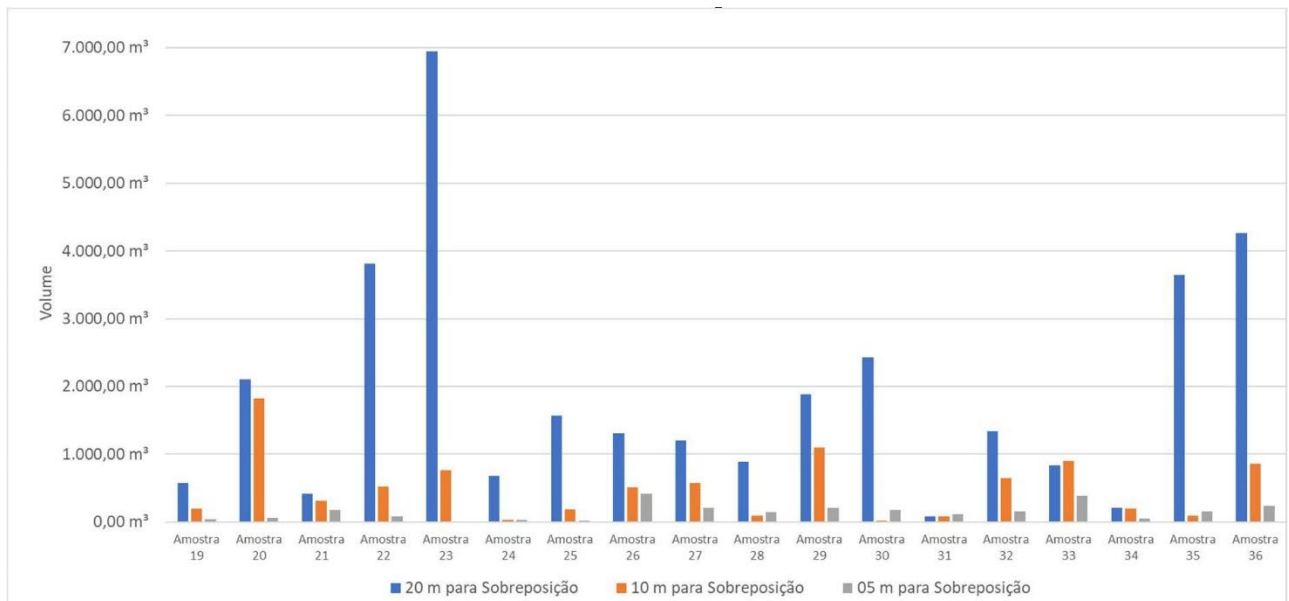
A fim de facilitar a visualização dos valores obtidos na Tabela 4, foram gerados os Gráficos 1 e 2, que foram assim divididos para facilitar a leitura dos dados, permitindo maior facilidade de interpretação para discussão.

Gráfico 1 – Variação de volumes para amostras 1 a 18



Fonte: autor (2024).

Gráfico 2 – Variação de volumes para amostras 19 a 36



Fonte: autor (2024).

A amostra 12 apresenta queda de 1.559,13 m³ para 517,00 m³, reduzindo o erro em cerca de três vezes ao adotar o intervalo de 5 metros em vez de utilizar seções a cada 10 metros.

A amostra 20 apresenta queda de 1.822,37 m³ para 60,30 m³, reduzindo drasticamente o erro ao adotar o intervalo de 5 metros em vez de utilizar seções a cada 10 metros.

Para o método das seções com 20 metros de distância, foi observado:

- Erro máximo = 6.944,13 m³ - Amostra 23.
- Erro médio = 1.945,74 m³.
- Erro mínimo = 33,23 m³ - Amostra 16.

Para o método das seções com 10 metros de distância, foi observado:

- Erro máximo = 1.822,37 m³ - Amostra 20.
- Erro médio = 515,90 m³.
- Erro mínimo = 6,38 m³ - Amostra 16.

Para o método das seções com 5 metros de distância, foi observado:

- Erro máximo = 517,00 m³ - Amostra 12.
- Erro médio = 146,39 m³.
- Erro mínimo = 1,92 m³ - Amostra 23.

Observando os valores máximos, médios e mínimos obtidos a partir dos dados da Tabela 4 para cada espaçamento do método de seções adotado, nota-se que a média dos erros para seções com 5 metros de espaçamento é a menor dentro dos intervalos analisados. E que o erro máximo para seções de 5 e 10 metros possui valores similares ao erro médio obtido respectivamente pelas seções de 10 e 20 metros.

4.2 PERCENTUAL DE ERRO ENTRE OS MÉTODOS

No Brasil, a determinação do erro máximo permitido para os volumes de terraplenagem não é regida por uma norma técnica específica que estabeleça valores fixos para a tolerância. Em projetos de terraplenagem, é comum considerar tolerâncias de 2% a 6% nos volumes, dependendo do tipo de obra, equipamentos utilizados e controle de qualidade.

A Tabela 5 demonstra o erro relativo aos volumes da Tabela 4. Assim, foi comparado o volume de erro com a diferença do corte e aterro pelo método de interpolação. Para maior compreensão, será explicado o cálculo para Amostra 1 na coluna “Erro método 20 m”.

- Volume de erro para Amostra 1 em 20 metros: 5.638,89 m³
- Volume de bota-fora para Amostra: 87.459,51 m³

$$\text{Erro 20 metros} = \frac{\text{Volume de erro para Amostra 1 em 20 metros}}{\text{Volume de bota - fora para Amostra}} \times 100$$

$$\text{Erro 20 metros} = \frac{5.638,89 \text{ m}^3}{87.459,51 \text{ m}^3} \times 100$$

$$\text{Erro 20 metros} = 6,45 \%$$

O presente cálculo foi replicado utilizando os volumes de erro e volumes de bota-fora e aterro correspondentes às suas amostras.

Tabela 5 – Tabela com os valores do Gráfico 1

Amostras	Erro método 5m	Erro método 10m	Erro método 20m
Amostra 01	0,28%	0,81%	6,45%
Amostra 02	0,14%	0,53%	0,76%
Amostra 03	0,27%	0,01%	0,89%
Amostra 04	0,26%	1,01%	1,63%
Amostra 05	0,01%	0,04%	0,67%
Amostra 06	0,45%	0,49%	0,34%
Amostra 07	0,21%	0,36%	0,70%
Amostra 08	0,05%	0,13%	1,50%
Amostra 09	0,09%	0,27%	1,49%
Amostra 10	0,04%	0,87%	2,56%
Amostra 11	0,27%	0,95%	6,31%
Amostra 12	0,59%	1,78%	3,51%
Amostra 13	0,08%	0,96%	2,43%
Amostra 14	0,03%	1,97%	6,99%
Amostra 15	0,12%	0,13%	2,63%
Amostra 16	0,01%	0,01%	0,04%

Amostra 17	0,01%	0,29%	0,09%
Amostra 18	0,05%	0,40%	1,99%
Amostra 19	0,05%	0,23%	0,66%
Amostra 20	0,07%	2,08%	2,41%
Amostra 21	0,21%	0,36%	0,48%
Amostra 22	0,10%	0,59%	4,36%
Amostra 23	0,00%	0,88%	7,94%
Amostra 24	0,04%	0,04%	0,78%
Amostra 25	0,02%	0,21%	1,79%
Amostra 26	0,47%	0,58%	1,50%
Amostra 27	0,24%	0,66%	1,37%
Amostra 28	0,16%	0,11%	1,01%
Amostra 29	0,23%	1,26%	2,16%
Amostra 30	0,20%	0,02%	2,78%
Amostra 31	0,13%	0,09%	0,09%
Amostra 32	0,18%	0,75%	1,53%
Amostra 33	0,44%	1,03%	0,96%
Amostra 34	0,06%	0,23%	0,23%
Amostra 35	0,18%	0,10%	4,17%
Amostra 36	0,27%	0,98%	4,88%

Fonte: autor (2024).

Com base nos dados calculados para a Tabela 5, foi gerado o Gráfico 3 para visualização da queda do erro em percentual com o decréscimo do intervalo entre seções.

Gráfico 3 – Percentual de erros observados para cada seção



Fonte: autor (2024).

A linha tracejada em vermelho do Gráfico 3 é a linha de tendência gerada com base na média do erro obtido das amostras (última linha da Tabela 5). A linha com comportamento de potência possui a fórmula:

$$y = 0,00165500690534789 * X^{1,86620458076543}$$

A fórmula visa determinar o erro em “Y” a partir da distância entre seções representada por “X”. De tal modo, é possível determinar o intervalo entre seções para o caso de o método de seções ser empregado na determinação de volumes de terraplenagem.

O R-quadrado, ou coeficiente de determinação, mede a proximidade dos dados à linha de regressão. Com um valor $R^2 = 0,999770780983731$, próximo de 1, a fórmula utilizada permite estimar o valor para erros entre cinco e vinte metros das seções e, possivelmente, valores fora desse intervalo.

Com a fórmula podendo ser utilizada para descobrir tanto valores de X quanto de Y, e possuindo R-quadrado confiável, é possível buscar o distanciamento entre seções para alcançar a tolerância de erros entre 2% a 6%.

Para erros (Y) de 2%, obtemos a distância entre seções (X):

$$X = 3,80\text{metros}$$

Para erros (Y) de 6%, obtemos a distância entre seções (X):

$$X = 6,84\text{metros}$$

Logo, é possível estimar que, utilizando distâncias entre seções no intervalo entre 3,80 metros e 6,84 metros, o erro na determinação estará na faixa de tolerância de 2% a 6%.

Tais estimativas são baseadas nos erros obtidos para volumes de corte e aterro quando comparados com os valores obtidos pelo método de interpolação de superfícies.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método de interpolação de modelos digitais de terreno no Civil 3D destaca-se por sua maior precisão na definição de volumes de corte e aterro, sendo ideal para calcular volumes movimentados. Esse método compara os MDTs de forma abrangente, eliminando a dependência de valores médios por intervalos.

Embora prefeituras e órgãos ambientais exijam a utilização de seções transversais para validação de projetos de terraplenagem, recomenda-se adotar a interpolação de MDTs para estimar volumes internos, bota-fora ou aterros com materiais externos.

Uma vez que os MDTs das 36 amostras analisadas não pertencem a obras rodoviárias, esperava-se que o desempenho para seções com distâncias de 20 metros entre si não fosse bom, e com erro máximo de 6.944,13 m³ e médio de 1.945,74 m³, tornou-se inviável sua utilização. As seções de 10 e 5 metros obtiveram bons resultados, com destaque para as seções a cada 5 metros, com erro máximo de 146,39 m³.

Dada a impossibilidade da utilização de *softwares* de modelagem topográfica BIM para determinação de volumes de cortes e aterros pelo método de interpolação, é possível adotar o distanciamento entre seções de 5 metros utilizados para terrenos irregulares. Essa distância se encontra no intervalo determinado entre 3,80 e 6,84 metros, encontrados visando manter o erro para determinação de volumes entre 2% e 6%.

Para resultados mais precisos, é fundamental realizar um levantamento de alta qualidade do terreno primitivo, utilizando tecnologias como LiDAR ou triangulação de imagens capturadas por drones. Essas ferramentas produzem malhas tridimensionais precisas que, ao serem trianguladas, representam com fidelidade o terreno.

A elaboração dos projetos também exige rigor. O MDT ajustado deve representar vias, platôs, cortes, bermas e aterros de forma precisa, pois cotas incorretas podem causar alterações significativas nos volumes de terraplenagem.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se explorar diferentes intervalos entre seções, além dos três analisados, para aumentar a precisão na determinação de fórmulas de cálculo de erro relacionadas ao distanciamento entre seções. Ademais, deve-se avaliar a relação do erro em casos extremos, considerando parâmetros como a área do projeto, o comprimento do alinhamento e a distância entre perfis transversais.

REFERÊNCIAS

- ADDOR, M. *et al.* (coord.) Fluxo de projetos BIM: planejamento e execução. **Boas práticas em BIM**, [S.l.], fascículo 2, agosto 2015. Disponível em: <https://www.asbeasc.org.br/newsite/wp-content/uploads/BIM2.pdf>. Acesso em: 5 dez. 2024.
- ARSENAULT, P. J., **Building information modeling (BIM) and manufactured complementary building products: integrating design, drawings, specifications, and shop drawings in a BIM model**. Dezembro 2009. Disponível em: http://continuingeducation.construction.com/article_print.php?L=192&C=622&P=4. Acesso em: 5 dez. 2024.
- CERQUEIRA, F. C. Programa para o cálculo de volumes de terraplenagem dos projetos de estradas. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. 6, n. 1, p. 1-8, ago. 1985. Disponível em: <https://ojs.unifor.br/tec/article/view/1401>. Acesso em: 5 dez. 2024.
- COELHO, A. H.; VARGAS, R. M. A. Geração de modelos digitais de terreno a partir de dados de laser scanner aerotransportado em área de floresta usando o *software* livre GRASS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais[...]**... São José dos Campos: INPE, 2007. p. 3653-3660. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.13.15/doc/thisInformationItemHo mePage.html>. Acesso em: 20 out. 2024.
- CORRÊA, Iran C. S. **Topografia aplicada à engenharia civil**. 20. ed. Porto Alegre: Departamento de Geodésia – IG/UFRGS, 2021.
- EASTMAN, C. *et al.* **Manual de BIM**: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Porto Alegre: Bookman, 2014.
- FELISBINO B. S.; GUERRERO Y.; BARRA B. Utilização da tecnologia lidar em aplicações da engenharia civil. In: **Anais [...]**. Do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento.
- REMOTO, 2019, Santos. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2019. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2019/trabalhos/utilizacao-da-tecnologia-lidar-em- aplicacoes-da-engenharia-civil?lang=pt-br> Acesso em: 7 dez. 2024.
- LI, Z.; ZHU, Q.; GOLD, C.; **Digital terrain modeling: principles and methodology**. Washington D.C.: CRC Press, 2004.
- MEDINA, A. S.; MEDINA, S. da S. S. **A Representação da superfície topográfica através de modelos digitais de terreno**. [S.l.], [s.n.], [19--]. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/267992340_A_REPRESENTACAO_DA_SUPERFICIE_TOPOGRAFICA_ATRAVES_DE_MODELOS_DIGITAIS_DE_TERRENO. Acesso em: 20 out. 2024.
- LOURÃO, A.C.M; ROCHA, C.H.B. **Desmistificando os aplicativos microstation**: Guia prático para usuários em geoprocessamento. Petrópolis: Os Autores, 2001.
- RAZA, M. A. *et al.* A critical comparison of interpolation techniques for digital terrain modelling in mining. **The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy**, v. 123, n. 2, 2023, p. 53-62. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.saimm.co.za/Journal/v123n2p53.pdf>. Acesso em: 7 dez. 2024.

REIS, F. F. P. Aplicação do bim em projetos: estudo de caso em uma residência unifamiliar de pequeno porte.

GETEC, v. 10, n. 33, p. 101-121, 2021.

Disponível em:

<https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/getec/article/view/2564>. Acesso em: 5 dez. 2024.

ROCHA, C.H.B. **Geoprocessamento tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora: Edição do Autor, 2000.

SCHAFER, A.G.; LOCH, R.E.N. Aplicação do sensoriamento remoto em projetos rodoviários: um histórico, uma realidade e uma necessidade como disciplina em cursos de engenharia. *In*: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2005, Goiânia, 2005. **Anais** [...]. Goiânia, INPE, 2005. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.13.12.45/doc/1361.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2024.

DESENVOLVIMENTO DE ALGORITMO PARA OTIMIZAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE VIGAS LONGARINAS DE PONTES DE CONCRETO ARMADO

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR OPTIMIZATION OF SIZING OF LONGITUDINAL BEAMS OF REINFORCED CONCRETE BRIDGES

Heverton Tarcisio Santos da Silva ¹

Vivian Siffert Wildner ²

Alexandre Maines ³

RESUMO: Algoritmos de otimização aplicados na engenharia civil tem se mostrado uma ferramenta poderosa para o desenvolvimento de projetos mais eficientes e econômicos. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um algoritmo destinado à otimização do dimensionamento de vigas longarinas de pontes de concreto armado com seção retangular, considerando ou não o uso de armadura de compressão. O algoritmo foi desenvolvido em *Scilab*[®] e possui uma interface gráfica que o torna mais acessível e intuitivo para engenheiros e estudantes. Ele visa encontrar a altura mínima de vigas longarinas que atendam às condições estruturais específicas, garantindo a segurança e a eficiência da obra. Para validar os resultados obtidos, foram realizadas comparações com os esforços e áreas de aço calculados por softwares comerciais, como *Ftool*[®] e *Eberick*[®]. Os resultados demonstram a eficácia do algoritmo em fornecer pré-dimensionamentos precisos, reduzindo a necessidade de readequações no projeto. Este estudo contribui de forma significativa para a otimização estrutural na engenharia civil, oferecendo uma ferramenta útil para engenheiros e projetistas na fase inicial do projeto de pontes.

Palavras-chave: algoritmo; ponte; vigas longarinas; concreto armado; dimensionamento estrutural.

ABSTRACT: Optimization algorithms applied in civil engineering have proven to be a powerful tool for the development of more efficient and cost-effective projects. This study presents the development of an algorithm aimed at optimizing the design of long reinforced concrete bridge beams with rectangular cross-sections, with or without the use of specified reinforcement. The algorithm was developed in *Scilab*[®] and features a graphical interface that makes it more accessible and intuitive for engineers and students. It aims to determine the minimum height of long beams that meet specific structural conditions, ensuring the safety and efficiency of the construction. To validate the results obtained, comparisons were made with internal forces and steel areas calculated by commercial software, such as *Ftool*[®] and *Eberick*[®]. The results demonstrate the algorithm's effectiveness in providing accurate preliminary designs, simplifying the need for design readjustments. This study makes a significant contribution to structural optimization in civil engineering by offering a useful tool for engineers and designers in the early stages of bridge design.

¹ Egresso de Engenharia Civil. UNIFE. E-mail: hevertontss@gmail.com

² Doutora. UNIFE. E-mail: vivian.wildner@unifebe.edu.br

³ Doutor. UNIFE. E-mail: alexandre.maines@unifebe.edu.br

Keywords: *algorithm; bridge; longitudinal beams; reinforced concrete; structural design.*

1 INTRODUÇÃO

O uso da tecnologia no setor da construção civil vem crescendo a cada dia, com novas ferramentas para ajudar nas diversas áreas do setor, desde a concepção à execução. Nesse contexto, os usos de algoritmos de otimização surgem com o objetivo de agilizar o fluxo de trabalho promovendo a síntese de diversas etapas a fim de otimizar estas tarefas.

Com o crescente aumento do tráfego rodoviário, tem surgido cada vez mais a necessidade de novas pontes para atender a esta demanda. Tendo em vista esse crescimento e o alto custo de construção relacionado a estas obras, surge a necessidade de pontes com modelos estruturais otimizados e que mantenham sua eficiência (Coelho, 2023).

Segundo Fabeane (2015), para se ter um elemento bem dimensionado que atenda todos os requisitos normativos aliado à economia de recursos, o uso de técnicas de otimização nos projetos se faz necessário a fim de se obter maior precisão e rapidez nos resultados encontrados.

De acordo com DNIT (2021) apud Coelho et al. (2023) no Brasil, dentre as pontes sob responsabilidade do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT) existem mais de 6650 pontes cadastradas no Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte (SGO), dentre estas, aproximadamente 53% possuem longarinas em concreto armado e 17% são em longarinas de concreto protendido.

Atualmente existem vários softwares no mercado dedicados a projetos de pontes e viadutos, cada um contendo suas ferramentas de otimização, mas compartilhado um aspecto em comum, a necessidade de se desenhar todo o projeto antes de qualquer análise da estrutura, resultando em retrabalhos para adequação do projeto previamente desenhado com base nos resultados fornecidos pelo software.

O uso do algoritmo de otimização desenvolvido pelo autor não visa a substituição destes softwares, mas sim a sua complementação, oferecendo uma verificação prévia da longarina na etapa inicial do projeto, auxiliando na escolha das dimensões que serão utilizadas, a fim de diminuir a necessidade de uma readequação do projeto após a análise final fornecida por estes softwares, pois o projeto terá como ponto de partida o pré-dimensionamento fornecido pelo algoritmo.

O algoritmo que será desenvolvido se destina exclusivamente a otimização de vigas de concreto armado bi-apoiadas e com seção retangular para pontes e viadutos dimensionados para carga móvel rodoviária padrão TB-450, que se refere a um padrão de carga baseado em um veículo-tipo com peso total de 450 kN, utilizado para simular o efeito de veículos pesados sobre estruturas rodoviárias. O algoritmo propõe-se a encontrar a altura mínima da viga para cada valor de f_{ck} (Feature Compression Know ou resistência característica do concreto) apenas com base nas limitações a compressão do concreto. A partir dos resultados é possível comparar os impactos do valor do f_{ck} e da utilização de armadura simples ou armadura dupla na altura final da viga, fornecendo ao projetista uma visão mais ampla do comportamento da estrutura quanto a estes critérios, facilitando as tomadas de decisão de projeto.

Apesar de todo avanço na área de construção de pontes ocorrido nos últimos anos, desde os materiais aos processos construtivos, acidentes e colapsos continuam a ocorrer. As causas mais comuns são falhas de projeto e/ou execução, colisões, sismos ou falta de inspeção e manutenção (Branco, 2013). Nesse contexto, o desenvolvimento e a implementação de novas tecnologias voltadas para o aprimoramento do projeto e da execução de pontes tornam-se essenciais para aumentar a segurança e a eficiência dessas estruturas.

Grande parte das pontes que compõem a malha rodoviária do Brasil datam da década de 60 e já não atendem a necessidade de volume de tráfego e capacidade de carga dos dias atuais, necessitando que essas obras passem por ampliações ou até mesmo substituições. Isso leva a necessidade de pontes que possuam modelos estruturais otimizados a fim de garantir obras mais econômicas (Coelho, 2023).

A fim de suprir essa necessidade, o desenvolvimento deste algoritmo não se mostra útil apenas para a otimização das vigas longarinas, que é seu objetivo inicial, mas também estabelece um ponto de partida para a expansão da metodologia a outros elementos estruturais das pontes. Este trabalho abre a possibilidade de desenvolver futuras pesquisas que apliquem as abordagens aqui utilizadas para resolver questões semelhantes em outras partes da estrutura.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PONTES E VIADUTOS

Denomina-se ponte a obra que se destina a transpor obstáculos a fim de dar continuidade a uma via. Mais especificamente, se dá o nome de ponte a estrutura quando o obstáculo a ser vencido é um rio, e viaduto quando o obstáculo é outra via ou um vale, sem curso d'água (Marchetti, 2018).

Quanto a sua subdivisão, a estrutura pode ser dividida em três grupos, sendo eles a infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura. A infraestrutura é constituída pelos elementos que se destinam a direcionar os esforços provenientes da superestrutura e mesoestrutura para o terreno de apoio e é constituída basicamente por elementos de fundação como blocos, estacas, sapatas e tubulações (Marchetti, 2018).

Também de acordo com Marchetti, a mesoestrutura é aquela responsável por transferir os esforços provenientes da superestrutura para infraestrutura e é constituída pelos pilares. Já a superestrutura é constituída por vigas e lajes, elementos responsáveis pelo suporte direto ao tráfego sobre a estrutura.

Outro quesito de extrema importância a ser analisado durante a etapa de projeto é a altura livre, que é a distância compreendida entre o ponto mais baixo da superestrutura e a superfície do terreno ou água (Dresch, 2018).

No caso dos viadutos, essa distância precisa atender as necessidades de tráfego estabelecidas para a via inferior, de modo a possibilitar a livre circulação de veículos, desde que dentro dos limites de alturas estabelecidos.

Quanto a pontes, além de atender as necessidades de altura livre para o tráfego de embarcações que navegam sob a estrutura (caso ela esteja sobre uma rota de embarcações) é preciso se atentar a cota máxima de rios, para que durante uma eventual cheia, a superestrutura não fique submersa e seja danificada pela força da água ou por detritos carregados por ela. A Figura 1 mostra a ponte Arthur Schlösser localizada no município de Brusque-SC com o Rio Itajaí-Mirim na cota 8,18m.

Figura 1 – Ponte durante cheia do rio

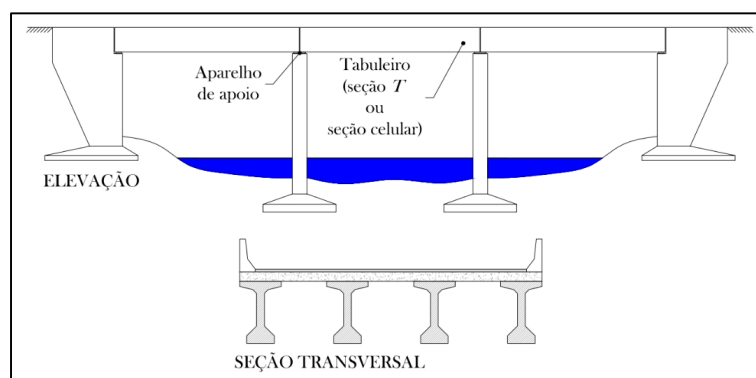


Fonte: O MUNICÍPIO (2023).

2.1.1 Pontes em vigas

Pontes em viga são aquelas que possuem seu sistema estrutural constituído por longarinas com ou sem transversinas que servem de apoio para a laje, elementos que receberão diretamente o carregamento. Como as longarinas se apoiam sobre os pilares sem transmissão de momentos fletores, logo, é comum tratar a análise estrutural da superestrutura independente da mesoestrutura considerando os apoios indeformáveis (Cavalcante, 2019). A Figura 2 ilustra uma ponte em viga com seção T, onde é possível observar a disposição das longarinas e o tabuleiro, destacando a elevação e a seção transversal da ponte.

Figura 2 – Ponte em viga com seção T



Fonte: CAVALCANTE (2019).

2.1.2 Pontes de concreto armado

As primeiras pontes em concreto armado surgiram no início do século 20. Eram pontes de concreto simples em arco triarticulado, utilizando o concreto como substituto à pedra. Embora já se empregasse o concreto armado na execução do tabuleiro das pontes de concreto simples, foi a partir de 1912 que começaram a ser construídas as pontes de viga e de pórtico em concreto armado, com vãos de até 30 metros (Debs, 2007).

No tabuleiro de uma ponte de vigas, podem-se identificar três elementos como apresentado na Figura 3, sendo eles as vigas longitudinais, também chamadas de vigas principais ou longarinas, as vigas transversais, também chamadas de transversinas, e a laje.

Figura 3 – Vista inferior da Ponte João Libério Benvenutti em Brusque-SC



Fonte: Autor (2022).

A análise do comportamento estrutural das pontes de concreto armado pode ser feita simplificadamente através de duas etapas. A primeira consiste na distribuição dos esforços na direção transversal da ponte, dependendo fundamentalmente do tipo de seção transversal. Na segunda etapa é feita a análise do efeito das cargas equivalentes obtidas através da distribuição de cargas realizada na etapa anterior.

Debs (2007) comparando a distribuição das cargas através da distribuição dos esforços na direção transversal de uma ponte com duas vigas principais e da distribuição dos esforços longitudinalmente diretamente sobre uma viga simplesmente apoiada para determinação do momento fletor máximo, constatou que é possível abordar de uma forma genérica, os sistemas estruturais (viga e laje) separadamente, embora se saiba que há uma interdependência de maior ou menor grau entre eles.

No processo de cálculo de vigas independentes, admite-se que a viga diretamente carregada irá absorver totalmente os esforços sem intervenção da segunda viga, o que significa supor que para efeito de cálculo das vigas longitudinais, o tabuleiro (laje e eventuais transversinas) seja seccionado sobre as vigas principais simplesmente se apoiando sobre elas (Debs, 2007).

2.1.3 Otimização de estruturas de longarinas

A otimização de estruturas de vigas longarinas gira em torno principalmente das relações entre vão e altura, fatores que interferem diretamente nas escolhas das características do concreto e quantidade de aço utilizado, gerando impacto direto no custo da obra.

Na composição do custo da ponte, a distância entre os apoios é o principal fator, pois pontes com vãos maiores resultam em menores gastos com a infraestrutura, porém resultando em maiores gastos com a superestrutura. Devido a isso, é importante que se faça um estudo a fim de encontrar a melhor relação entre estes dois fatores (Furtado, 2018).

2.2 ALGORITMOS

Algoritmo é qualquer procedimento computacional bem definido que possui um ou mais dados de entrada e a partir deles produz um ou mais valores de saída em um período de tempo finito. Dessa forma, um algoritmo basicamente é um conjunto de operações computacionais que transformam uma entrada em saída (Cormen, 2024).

Também de acordo com Cormen, podemos considerar o algoritmo como sendo um instrumento para resolver problemas computacionais bem específicos. O enunciado do problema apresenta os termos gerais em que se deve tratar os dados de entrada para se obter os dados de saída esperados. A partir disso o algoritmo descreve os procedimentos computacionais específicos para se chegar às saídas.

2.2.1 Utilização de algoritmos na engenharia civil

A utilização de métodos numéricos tem se tornado interessante na análise estrutural devido a crescente busca por projetos mais otimizados e com menores custos, buscando menor massa estrutural, mas sem comprometer a qualidade e nem a segurança. Esse processo faz com que o engenheiro tenha que lidar com inúmeras possibilidades, surgindo assim a necessidade do uso de métodos matemáticos para obter maior agilidade na elaboração dos projetos (Ribeiro, 2022).

No estudo realizado por Oliveira (2017), são exploradas as potencialidades dos algoritmos genéticos aplicados à engenharia civil, destacando sua relevância para a otimização de estruturas complexas e a busca por soluções mais eficientes e econômicas em projetos de engenharia. O trabalho chega à conclusão que através da utilização dessas técnicas é possível obter melhor aproveitamento dos recursos, aumentando o desempenho das construções e reduzindo custos.

Seguindo na mesma linha, o trabalho realizado por Ribeiro (2022) se aprofunda na análise comparativa de algoritmos genéticos e baseados em gradiente aplicados à otimização estrutural. Utilizando o *MATLAB*®, software destinado a cálculos matemáticos, o trabalho buscou focar na otimização de vigas de concreto e barragens, comparando a eficácia e a aplicabilidade de duas abordagens computacionais. O autor demonstra que esses métodos podem oferecer soluções otimizadas que são significativamente mais econômicas e eficientes.

Em estudo realizado por Feitosa (2020), o autor desenvolveu rotinas computacionais específicas com o objetivo de analisar o comportamento dinâmico de estruturas bidimensionais, como pórticos planos, submetidas a diferentes tipos de carregamentos. A partir dessas rotinas, realizou uma análise comparativa entre diferentes algoritmos, destacando a superioridade dos métodos implícitos sobre os explícitos para determinadas aplicações estruturais na área de engenharia civil.

Os autores citados acima representam uma amostra crescente de pesquisas que destacam o impacto e os avanços proporcionados pelo uso de algoritmos na análise e otimização de estruturas na engenharia civil.

2.3 SOFTWARES PARA PROJETOS DE PONTES

No mercado existem diversos softwares que são comumente utilizados para o projeto de pontes, cada um com características específicas que atendem a diferentes necessidades de projeto. Dentre eles é possível citar alguns, como o *AutoCAD Civil 3D*®, um software desenvolvido pela Autodesk utilizado para projetos de infraestrutura. Para projetos de pontes, este software permite a realização do desenho detalhado da estrutura como também possui integração com análises e simulações.

Outro software conhecido na engenharia civil na área de projetos estruturais é o *TQS*®, uma empresa brasileira fundada em 1986 por engenheiros civil, que cria, desenvolve e comercializa softwares para área de estruturas (TQS Informática, 2024).

Também utilizado para o projeto de pontes, o *SAP2000*® é um software utilizado para análise de projetos estruturais de vários tipos, oferecendo uma gama abrangente de ferramentas para análise estática e dinâmica. A sigla S.A.P. é a abreviação de *Structural Analysis Program* e faz parte da família de softwares para projetos de estruturas mais utilizada no mundo para Análise Estrutural, nele é possível analisar e projetar uma estrutura utilizando uma interface gráfica de fácil aplicação (Borghetti, 2016).

Segundo Borghetti (2016), este software utiliza o processo de subdivisão da estrutura por elementos finitos para realização dos cálculos, ou seja, separando-a em pequenas regiões onde são feitos os cálculos.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O estudo é de natureza aplicada, pois visa resolver os problemas práticos específicos usando o conhecimento científico, aplicando técnicas de otimização. Já a abordagem do problema é quantitativa, os objetivos podem ser classificados como explicativos e os procedimentos técnicos como metodológicos, pois foca no desenvolvimento de novos métodos ou na melhoria dos métodos existentes.

O estudo envolve o universo de ponte, especificamente do tipo bi-apoiada, e que é composta por vigas longarinas de concreto armado.

O projeto será realizado em seis etapas, sendo a primeira a definição do problema, esclarecendo e definindo o problema específico que o algoritmo deve resolver. Partindo disso, a segunda etapa é a revisão bibliográfica, estudando a literatura existente a fim de esclarecer conceitos, equações e normas.

A terceira etapa é caracterizada principalmente pelo desenvolvimento do algoritmo, começando pela definição da técnica que será utilizada seguido pela codificação do algoritmo incorporando os modelos de cálculo estrutural das longarinas. O algoritmo será desenvolvido utilizando o software *Scilab*[®] e terá como objetivo encontrar a altura mínima das vigas, garantindo que elas atendam às condições estruturais necessárias.

A quarta etapa consiste na aplicação do algoritmo no desenvolvimento de um caso de projeto e coleta dos resultados. As vigas serão bi-apoiadas e dimensionadas para a carga móvel rodoviária padrão TB-450. Na quinta etapa serão comparados os resultados obtidos no algoritmo com os resultados obtidos em outros softwares. Os esforços (momentos fletores e forças cortantes) serão validados utilizando o software *Ftool*[®] e o dimensionamento das áreas de aço será validado com o software *Eberick*[®].

Na sexta etapa, haverá a codificação da interface gráfica dentro do *Scilab*[®]. Além de determinar a altura mínima das vigas, o algoritmo irá gerar gráficos que relacionam a altura da viga com o valor de f_{ck} (resistência característica do concreto) utilizado. Isso permitirá uma análise visual e comparativa da influência do f_{ck} na altura das vigas, auxiliando no processo de dimensionamento estrutural e na tomada de decisões de projeto.

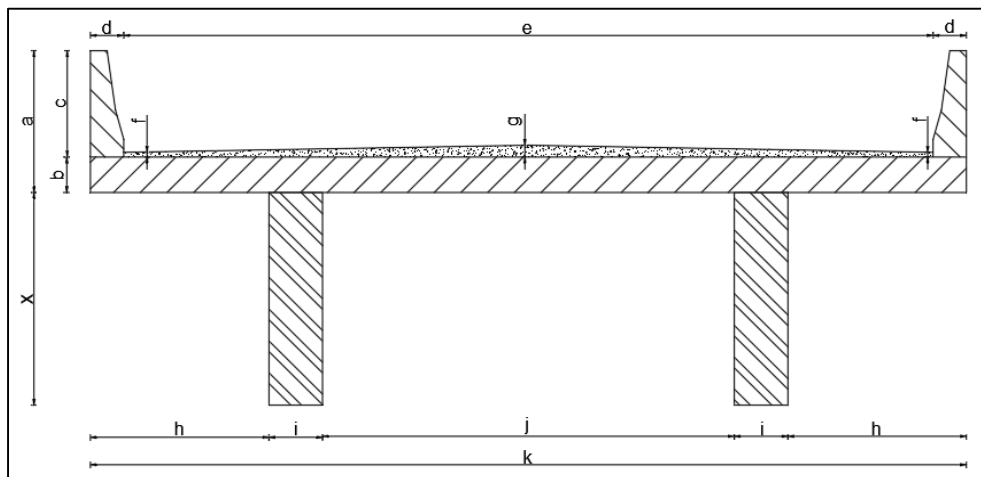
3.1 DESENVOLVIMENTO DO ALGORITMO

O algoritmo foi estrutura em quatro grandes partes, iniciando com os dados do projeto da ponte, seguido do levantamento de cargas, passando para o cálculo das armaduras e resultando no gráfico de altura da viga em função do f_{ck} .

3.1.1 Dados de projeto

As propriedades do material e as dimensões iniciais serão definidas conforme recomendações da NBR 6118 (2014) e a seção transversal hipotética da ponte é apresentada na Figura 4.

Figura 4 – Seção transversal da ponte hipotética



Fonte: Autor (2024).

O primeiro dado a ser inserido no algoritmo é o comprimento do vão longitudinal da ponte estudada, valor que deve estar entre os 8 m mínimos e 40 m máximos definidos como os limites do algoritmo. O valor mínimo foi determinado com base nas limitações do algoritmo quando ao posicionamento da carga móvel sobre a estrutura e o valor máximo com base na inviabilidade construtiva de vigas com vãos superiores, sendo necessário aumentar significativamente a área da seção transversal.

O próximo valor a ser definido pelo o usuário é o valor da taxa de armadura máxima, valor que é definido pelo projetista e que deve estar abaixo do máximo de 4% definido pela norma, seguido do cobrimento da armadura que deve ser escolhido com base na classe de agressividade ambiental do local em que a estrutura será executada.

Após isso, é definido o número de faixas, que é o número (inteiro) de faixas de tráfego rodoviário a serem carregadas sobre um tabuleiro transversalmente contínuo, sendo que a largura da faixa padrão é de 3,6 m, logo, para se determinar o valor a ser preenchido neste campo será necessário a dividir a largura da pista de rolamento (e) pela largura da faixa de rolamento padrão de 3,6 m, sendo que o valor a ser preenchido deve ser o número inteiro do resultado desta divisão arredondado para baixo.

Os próximos dados de projeto são previamente preenchidos na tela do algoritmo com os valores da tensão de escoamento do aço e dos coeficientes γ_c e γ_f . O valor da tensão de escoamento do aço é referente ao aço CA-50, caso esse não seja o aço escolhido pelo projetista este valor deve ser atualizado. Já os valores dos coeficientes γ_c e γ_f foram definidos em 1,4 conforme recomendação da NBR 6118 (2014).

3.1.2 Levantamento de cargas

Seguindo para os campos de levantamento de carga, o primeiro passo é identificar quais elementos estão carregados sobre a viga longarina estudada. Como a seção transversal apresentada na Figura 4 é simétrica, cada viga receberá a carga de metade da área total da seção. Caso houvesse três vigas longarinas, seria necessário fazer a distribuição dos elementos que estão sobre as vigas laterais (que seriam iguais caso a ponte seja simétrica) e os elementos sobre a viga do centro, sendo que os dois tipos de vigas (laterais e central) devem ser calculados um de cada vez no algoritmo, já que iriam possuir dados de levantamento de carga diferentes. A mesma lógica deve ser seguida para quantidades de longarinas superiores a três.

Após definidos os elementos que contribuem para viga estudada, o primeiro item a ser inserido é o guarda-corpo, sinalizado na Figura 4 pelas dimensões c e d . Este campo já está previamente preenchido com o valor de 5,8 kN/m, valor padrão definido pela norma para este elemento, porém caso o projetista ache necessário, este valor pode ser alterado, assim como a sua quantidade caso haja mais de um sobre a viga.

O elemento seguinte é o meio-fio, devendo ser preenchida as dimensões da sua base e altura, seguida das dimensões do asfalto, como a largura (e) que neste caso deve ser dividida por dois para se obter apenas a dimensão que está sobre uma viga, e as alturas do bordo (f) e centro (g) do asfalto. A largura do asfalto ou faixa de rolamento sobre cada viga foi limitada a uma dimensão máxima de 6 m, de forma que se considere sobre cada viga no máximo dois veículos tipo TB-450, representado na Figura 5. Outro dado do asfalto que se deve levar em consideração é se o dimensionamento será feito para apenas uma camada de asfalto ou se será considerado asfalto recapado, devendo-se marcar a opção escolhida. Este valor afetará a carga considerada para o asfalto.

O valor seguinte é largura da base da viga longarina (i) seguido das dimensões de largura (k) e altura (b) da laje, lembrando que o valor de k também deve ser dividido por dois. Foram inseridos três campos para preenchimento das dimensões da laje para casos em que a laje tenha degraus, podendo assim dividir sua área em dois ou três retângulos, porém no caso apresentado na Figura 4 é possível utilizar apenas uma laje. Em casos em que não houver valores a serem preenchidos, como é o caso do meio-fio e lajes 2 e 3, os campos devem ser preenchidos com 0.

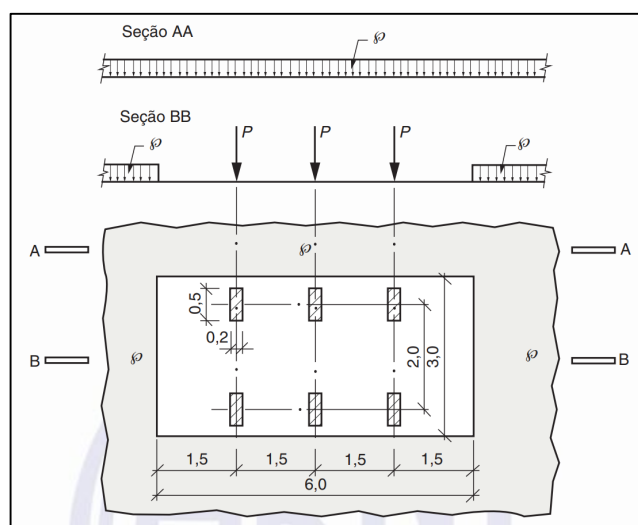
3.1.2 Dimensionamento de cargas

Foi inicialmente definido o formulário que será utilizado para o dimensionamento dos coeficientes de carga móvel e das armaduras das vigas longarinas. Os valores característicos das cargas móveis verticais são fixados na NBR 7188: Carga móvel

rodoviária e de pedestre em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas (ANBT, 2013). A norma é dividida em três ações para cargas móveis, sendo elas, pontes e viadutos, passarelas e carga móvel em estruturas de garagem.

Para dar início ao cálculo das cargas móveis é necessário determinar para qual veículo tipo a ponte será dimensionada e, a partir dele, obter o posicionamento das cargas. Segundo a NBR 7188, a carga P , em quilonewtons, é a carga estática concentrada aplicada no nível do pavimento, com valor característico e sem qualquer majoração. A carga p , em quilonewtons por metro quadrado, é a carga uniformemente distribuída, aplicada no nível do pavimento, com valor característico e sem qualquer majoração, conforme a Figura 5.

Figura 5 – Distribuição das cargas estáticas



Fonte: ABNT (2013).

De acordo com a NBR 7188, $P = 75$ kN, três eixos de carga afastados entre si em 1,5 m, com área de ocupação de 18,0 m², circundada por uma carga uniformemente distribuída constante $p = 5$ kN/m², devendo ser posicionadas de forma que as rodas fiquem na posição mas desfavorável, inclusive acostamento e faixas de segurança.

A carga estática concentrada Q , em quilonewtons, e a carga uniformemente distribuída q , em quilonewtons por metro quadrado, estão definidas nas equações 1 e 2, e são os valores aplicados no nível do pavimento para determinação dos esforços referentes a carga móvel, calculado pelos valores de P e p respectivamente multiplicados pelos coeficientes de impacto vertical (CIV), do número de faixas (CNF) e de impacto adicional (CIA).

$$Q = P * CIV * CNF * CIA \quad (1)$$

$$q = p * CIV * CNF * CIA \quad (2)$$

Por sua vez, CIV pode ser definido como as equações 3 e 4, para vão inferior a 10 m e entre 10 m e 200 m, respectivamente.

$$CIV = 1,25, \text{ para estruturas com vão inferior a 10 m} \quad (3)$$

$$CIV = 1 + 1,06 * \left(\frac{20}{(Liv+50)} \right), \text{ para estruturas com vão entre 10 m e 200 m} \quad (4)$$

Onde Liv é o vão em metros para o cálculo CIV. Para estruturas com vãos acima de 200,0 m, deve ser realizado estudo específico para a consideração da amplificação dinâmica e definição do coeficiente de impacto vertical.

Após a definição do CIV é preciso ajustar as cargas Q e q pelo coeficiente de número de faixas do tabuleiro CNF, conforme a equação 5.

$$CNF = 1 - 0,05 * (n - 2) > 0,9 \quad (5)$$

Onde n é o número inteiro de faixas de tráfego rodoviário a serem carregadas sobre um tabuleiro transversalmente contínuo. Este coeficiente não se aplica ao dimensionamento de elementos estruturais transversais ao sentido do tráfego (lajes, transversinas, etc.) (ABNT, 2013).

Os esforços Q e q também devem ser majorados na região das juntas estruturais e extremidades da obra. Todas as seções dos elementos estruturais a uma distância horizontal, normal à junta, inferior a 5,0 m para cada lado da junta ou descontinuidade estrutural, devem ser dimensionadas com os esforços das cargas móveis majorados pelo coeficiente de impacto adicional, sendo CIA igual a 1,25 para obras em concreto ou mistas e CIA igual a 1,15 para obras em aço.

3.1.3 Dimensionamento das armaduras e da altura da viga

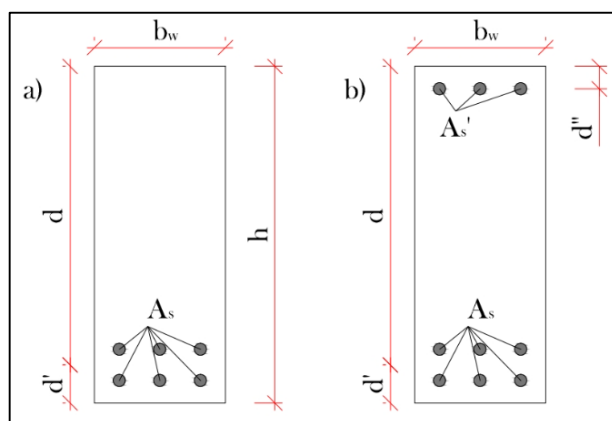
Com as cargas móveis e permanentes definidas o próximo passo é a obtenção dos valores das reações de apoio e posteriormente são calculados os esforços de momento e cortantes máximos para as cargas permanentes. Os resultados são obtidos simplificadaamente, considerando as longarinas indeformáveis. Para obtenção

dos esforços relativos à carga móvel deve ser calculada a linha de influência através do método das longarinas indeslocáveis, que consiste na inserção de uma carga unitária vertical na estrutura.

Após isso, é determinado o valor da altura útil da viga d , sendo uma medida estimada pelo projetista. Para definição da altura mínima, o algoritmo adotará sempre o menor valor de d possível que atenda as verificações, sempre adicionando 1 cm a última altura útil calculada caso esta não passe nas verificações e recalculando até encontrar a menor altura que atenda aos critérios definidos.

Após a obtenção dos valores dos esforços e altura útil se dará início aos cálculos referentes a armadura seguindo a metodologia apresentada por Cavalcante (2019), ilustrada na Figura 6, que apresenta vigas com seções retangulares com armadura simples (a) e dupla (b).

Figura 6 – Seção retangular com armaduras simples (a) e dupla (b)



Fonte: CAVALCANTE (2019).

O primeiro passo para o dimensionamento das armaduras longitudinais de uma seção retangular em concreto armado é o cálculo da posição da linha neutra até a borda comprimida (x), que pode ser dimensionado a partir do parâmetro de ductilidade (ε) através do equilíbrio de forças como mostram as equações 6 e 7, onde Md é o momento de projeto em kN.cm, h é a altura da viga em cm, d' é a distância do centro de gravidade das armaduras tracionadas até a borda tracionada em cm, b_w é a largura da viga em cm e o f_{cd} , que é a resistência de projeto do concreto a compressão que é obtida através da divisão do valor do f_{ck} (resistência do concreto a compressão) em bar pelo coeficiente de segurança γ_c .

$$\varepsilon = \frac{x}{d} = \frac{x}{h-d'} \quad (6)$$

Em que:

$$0,4\varepsilon^2 - \varepsilon + \frac{Md}{0,8 \cdot 0,85 \cdot bw \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = 0 \quad (7)$$

Após a determinação de ε , é possível encontrar a área de aço de tração através da equação 8, onde A_s é a área de aço dada em cm^2 e f_{yd} é a tensão de escoamento do aço em bar dividida pelo coeficiente γ_s , valor tabelado de acordo com o tipo de aço utilizado. Para este trabalho foi utilizado o aço CA-50.

$$A_s = \frac{0,8 \cdot 0,85 \cdot d \cdot \varepsilon \cdot f_{cd}}{f_{yd}} \quad (8)$$

No caso de armaduras duplas, a área de aço necessária de tração (A_s) é definida pela equação 9, seguida pela área de aço necessária comprimida definida pela equação 10, onde $A_{s'}$ é a área de aço comprimida, ε_{lim} é o limite de ductilidade e é igual a 0,45 para $f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$ e 0,35 para $50 \text{ MPa} < f_{ck} < 90 \text{ MPa}$ de acordo com recomendações da NBR 6118 (ABNT, 2014) e d'' é a distância do centro de gravidade das armaduras comprimidas até a borda comprimida em cm;

$$A_s = \frac{0,8 \cdot 0,85 \cdot d \cdot \varepsilon_{lim} \cdot f_{cd}}{f_{yd}} + A_{s'} \quad (9)$$

$$A_{s'} = \frac{Md - 0,8 \cdot 0,85 \cdot d \cdot \varepsilon_{lim} \cdot f_{cd} \cdot (1 - 0,4 \cdot \varepsilon_{lim})}{f_{yd} \cdot (d - d'')} \quad (10)$$

A obtenção do valor da área de aço para armadura de cisalhamento é definida através da equação 11, onde A_{sw} é o valor da área de aço dado em m^2 , Vd é o valor da média dos cortantes inicial e final do trecho calculado, de 0m a 1m ou de 1m a 2m multiplicado pelo fator de segurança γ_f . Serão calculados apenas estes dois trechos pois são o pior caso, resultando no esforço cortante máximo da estrutura, sendo suficientes para determinar o diâmetro máximo do estribo e consequentemente a menor largura útil para as barras longitudinais.

O valor de Z é obtido multiplicando a altura útil definida da viga por 0,8. Serão dimensionados apenas os dois primeiros metros pois a partir deles já é possível determinar o diâmetro máximo dos estribos, valor necessário para fazer a distribuição

das barras longitudinais por camada, encontrando os centros de gravidade e para posteriormente calcular a altura final da viga.

$$A_{sw} = \frac{Vd}{Z * f_{yd}} \quad (11)$$

Após os cálculos de área de aço é necessário verificar o concreto quanto ao seu estado limite de compressão comparando os valores do M_{uc} (momento limite de compressão do concreto) e M_d (momento de projeto) dados em kN.cm, onde, para o cálculo sem o uso de armadura de compressão, o limite mínimo da altura será a verificação do M_{uc} , que deve ser maior ou igual ao valor de M_d .

Quando a armadura de compressão for utilizada, será necessário verificar se o valor de M_d é maior que o M_{uc} e menor do que duas vezes o M_{uc} , como apresentado nas equações 12 e 13, onde f_{cd} é a resistência de projeto do concreto a compressão, b_w é a dimensão da base da seção transversal da viga em centímetros, d é a altura útil da viga em centímetros, M é o valor do momento fletor máximo em kN.cm e γ_f é o fator de segurança. Para o cálculo sem o uso de armadura de compressão, o limite mínimo da altura será a verificação do M_{uc} . Quando a armadura de compressão for utilizada, será necessário verificar se o valor de M_d é maior que o M_{uc} e menor do que duas vezes o M_{uc} .

$$M_{uc} = 0,272 * f_{cd} * b_w * d^2 \geq M_d \quad (12)$$

$$M_d = M * \gamma_f \quad (13)$$

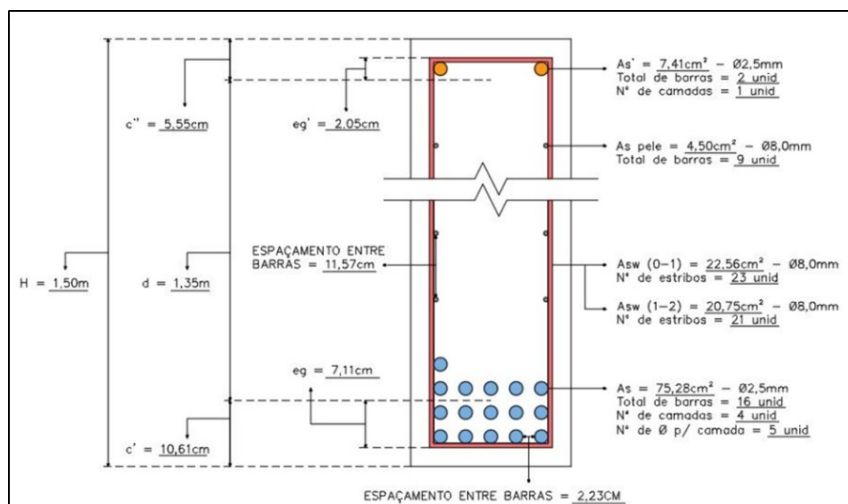
Caso M_d não for maior que o M_{uc} e menor do que duas vezes o M_{uc} , é necessário rever parâmetros, aumentando a altura da viga, largura da base ou o f_{ck} . Caso a exigência seja atendida, os parâmetros da viga não precisam ser alterados, porém será necessário utilizar uma armadura de compressão dimensionada a partir da equação 10 e recalculer a armadura de tração dimensionada através da equação 11.

Seguindo para determinação da altura final da viga, é feita a distribuição das barras longitudinais por camadas respeitando os valores de cobrimento definidos e o espaçamento mínimo entre barras de dois centímetros. Com as barras longitudinais em suas devidas posições é possível calcular o d' e d'' , representados na Figura 6. Com os valores de d' e d'' finais definidos, a partir da equação 14 é possível determinar a altura final da viga.

$$h = d + d' \quad (14)$$

A Figura 7 apresenta um exemplo hipotético de uma seção transversal de uma viga longarina com a disposição das ferragens de tração, compressão e cisalhamento representadas pelas cores azul, laranja e vermelho, respectivamente junto aos seus respectivos valores de dimensionamento calculados, sendo que a área da armadura de pele ($A_{s_{pele}}$) é igual a 1% da área da seção final da viga para cada lado, com espaçamento máximo de 20 cm e eg e eg' são iguais aos valores de d' e d'' , respectivamente, menos o cobrimento.

Figura 7 – Seção transversal com exemplo de resultados obtidos



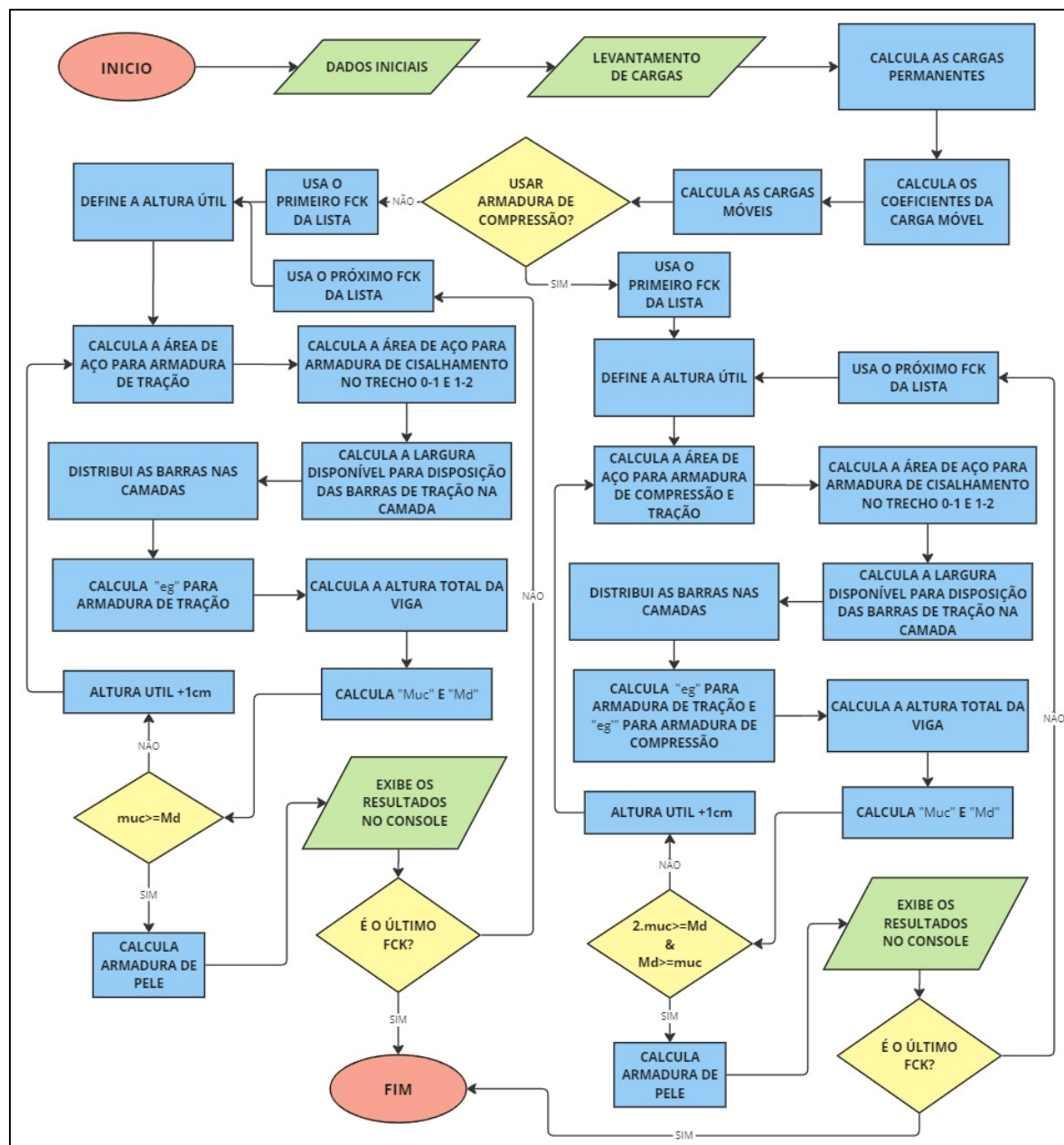
Fonte: Autor (2024).

3.2 FLUXOGRAMA DO ALGORITMO

De acordo com os cálculos de dimensionamento de longarinas descritos acima, o algoritmo deverá funcionar de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 8.

Após a conclusão do algoritmo de cálculo, foi desenvolvida uma interface gráfica para facilitar a sua utilização, nela são inseridos os dados de projeto e da seção para o dimensionamento da carga. Após calcular, a interface exibe um gráfico relacionando a altura mínima possível da viga com base nas verificações dos limites do concreto a compressão com os valores de f_{ck} utilizados, variando de 20 a 60. Selecionando um dos valores de f_{ck} abaixo do gráfico e recalculando, serão exibidas as informações de altura útil, altura final da viga, assim como a área de aço e bitolas escolhidas para o valor selecionado. As bitolas são definidas automaticamente de forma que sejam utilizadas a menor quantidade de barras possível a fim de obter os menores valores de d' e d'' com bitola máxima de 25mm.

Figura 8 – Fluxograma do funcionamento do algoritmo



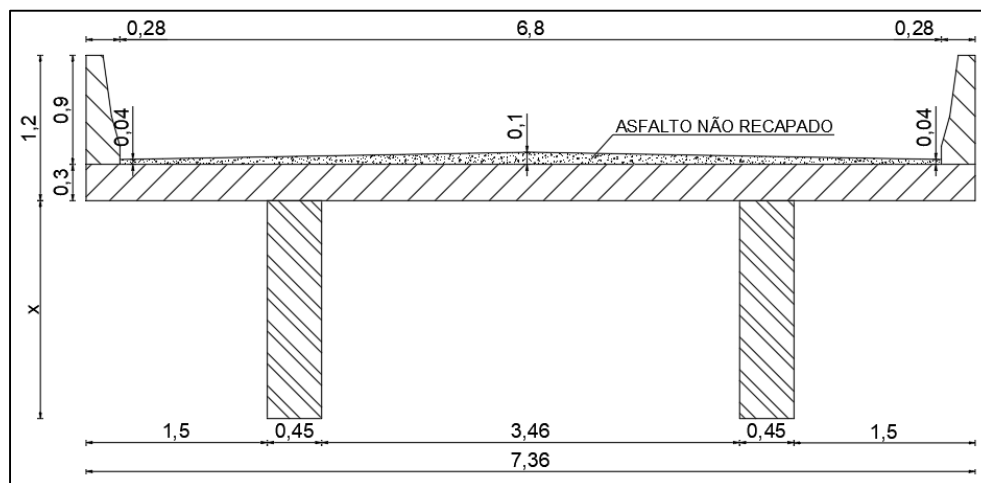
Fonte: Autor (2024).

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para dar início ao cálculo no algoritmo é preciso primeiramente definir os parâmetros de entrada, ou dados de projeto, conforme indicado na tela do algoritmo.

O modelo utilizado para a realização dos cálculos será composto por uma ponte hipotética com vão longitudinal de 20 m, valor compreendido entre os 8 m mínimos e 40 m máximos definidos como os limites do algoritmo. A seção transversal hipotética da ponte é definida pela Figura 9.

Figura 9 – Seção transversal da ponte hipotética calculada



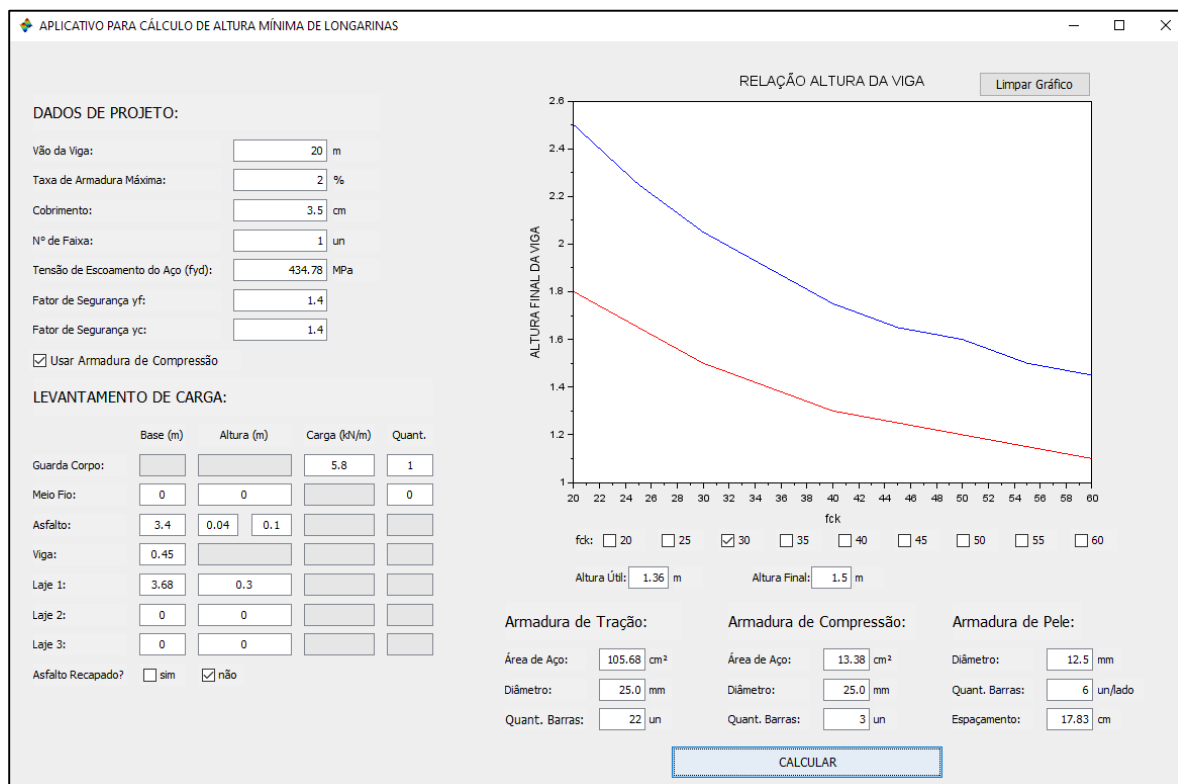
Fonte: Autor (2024).

Por se tratar de uma ponte simétrica, será calculada apenas uma das longarinas. Os valores a seguir foram definidos com base na NBR 6118 (2014), sendo que taxa de armadura máxima foi definida em 2%, valor que é definido pelo projetista e que deve estar abaixo do máximo de 4%, o cobrimento em 3,5 cm de acordo com a classe de agressividade ambiental III, a tensão de escoamento de projeto para o aço CA-50 foi de 434,78 MPa, e os coeficientes γ_c e γ_f em 1,4 para cargas variáveis.

O valor do número de faixas (n) foi calculado como igual a 1, sendo o número inteiro arredondado para baixo resultado da divisão da largura total da faixa de rolamento de 6,8 m, definida pela Figura 9, por 3,6 m. Após isso foi feita a entrada dos dados de projeto e levantamento de carga no algoritmo.

A Figura 10 mostra um exemplo dos resultados fornecidos pelo algoritmo, onde, no gráfico, a linha azul representa as alturas da viga com armadura simples (primeira situação calculada), e a linha vermelha com armadura dupla (segunda situação calculada após ser marcada a opção para utilizar armadura de compressão). O que é exibido no gráfico é a sobreposição dos dois cálculos, o que facilita a comparação de diferentes resultados.

Figura 10 – Captura de tela do algoritmo



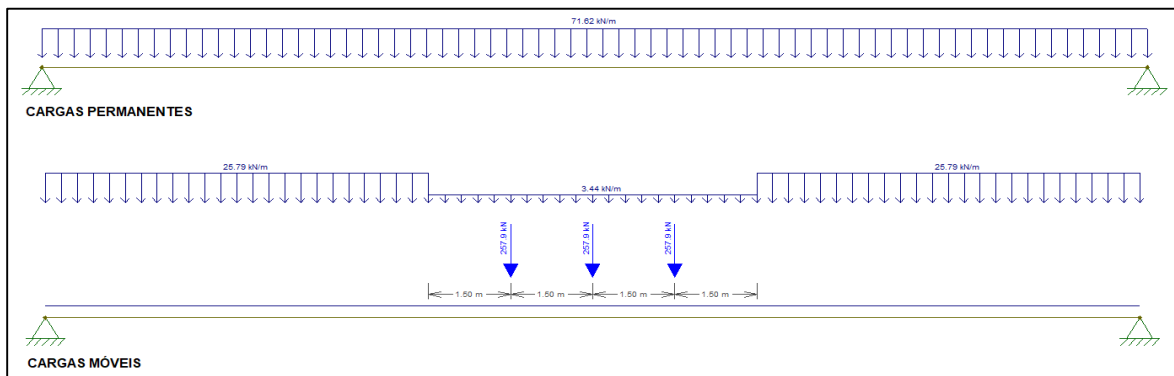
Fonte: Autor (2024).

A partir do gráfico é possível observar o impacto da utilização de armadura dupla na estrutura, reduzindo significativamente a altura final da viga de 2,05 m para 1,5 m para o valor de $f_{ck} = 30$ MPa marcado na interface. A tela também apresenta os resultados dos cálculos das áreas de aço, diâmetro e quantidade de barras para cada valor de f_{ck} selecionado.

Para validação dos resultados dos esforços de momento máximo e cortantes calculados pelo algoritmo, foi utilizado o software *Ftool*®, atribuindo a viga desenhada no software os mesmos atributos definidos nos dados de entrada do algoritmo, assim como os mesmos valores de cargas calculados no levantamento de carga. Foi atribuída também à viga os mesmos valores de altura e base da viga utilizados pelo algoritmo, conforme exemplo na Figura 11.

A partir disso, foram calculadas 18 vigas, uma para cada valor de f_{ck} disponível no algoritmo, para armadura simples e dupla, e comparado individualmente os valores dos esforços calculados pelo algoritmo e pelo *Ftool*®, resultando em valores iguais.

Figura 11 – Lançamento das cargas sobre a viga no *Ftool*®



Fonte: Autor (2024).

Podendo-se avaliar também que quanto maior o f_{ck} utilizado, menores são os valores dos esforços de momento e cortante obtidos, como é possível observar na Tabela 1, que traz alguns dos valores calculados pelo algoritmo desenvolvido comparando com os obtidos pelo *Ftool*®. Isso se deve ao fato de que o aumento do f_{ck} resulta na diminuição da altura da viga devido ao aumento da resistência a compressão, e por sua vez na diminuição da carga permanente.

Tabela 1 – Comparação resumida dos resultados do algoritmo com *Ftool*®

f_{ck}	Altura Útil (m)	Esforços	Unid.	Scilab®	Ftool®	Erro(%)
20	2,89	Momento Fletor Máximo	kN.m	7782,5	7782,5	0,00%
20	2,89	Esforço Cortante v0	kN	1600,6	1600,6	0,00%
20	2,89	Esforço Cortante v1	kN	1484,7	1484,7	0,00%
20	2,89	Esforço Cortante v2	kN	1368,9	1368,9	0,00%
25	2,46	Momento Fletor Máximo	kN.m	7540,6	7540,6	0,00%
25	2,46	Esforço Cortante v0	kN	1552,2	1552,2	0,00%
25	2,46	Esforço Cortante v1	kN	1441,2	1441,2	0,00%
25	2,46	Esforço Cortante v2	kN	1330,2	1330,2	0,00%
30	2,18	Momento Fletor Máximo	kN.m	7383,1	7383,1	0,00%
30	2,18	Esforço Cortante v0	kN	1520,2	1520,2	0,00%
30	2,18	Esforço Cortante v1	kN	1412,8	1412,8	0,00%
30	2,18	Esforço Cortante v2	kN	1305,0	1305,0	0,00%
35	1,97	Momento Fletor Máximo	kN.m	7264,0	7264,0	0,00%
35	1,97	Esforço Cortante v0	kN	1497,1	1497,1	0,00%
35	1,97	Esforço Cortante v1	kN	1391,6	1391,6	0,00%

35	1,97	Esforço Cortante v2	kN	1286,1	1286,1	0,00%
40	1,82	Momento Fletor Máximo	kN.m	7181,6	7181,6	0,00%
40	1,82	Esforço Cortante v0	kN	1480,2	1480,2	0,00%
40	1,82	Esforço Cortante v1	kN	1376,4	1376,4	0,00%
40	1,82	Esforço Cortante v2	kN	1272,6	1272,6	0,00%

Fonte: Autor (2024).

Tabela 1 – Comparação resumida dos resultados do algoritmo com *Ftool*® (Continuação)

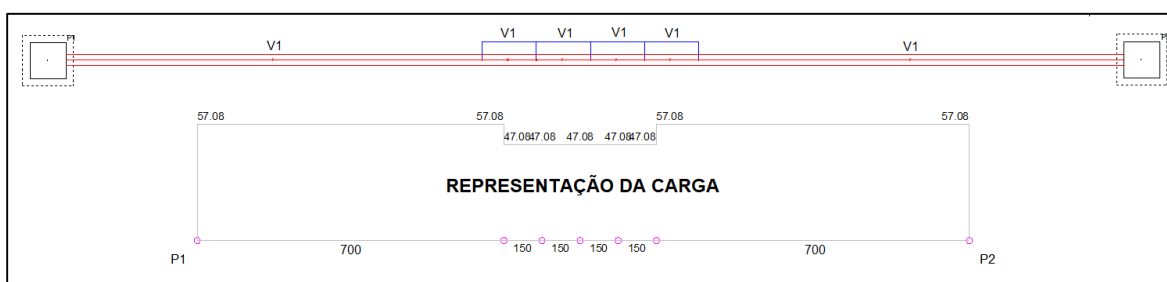
f_{ck}	Altura Útil (m)	Esforços	Unid.	<i>Scilab</i> ®	<i>Ftool</i> ®	Erro(%)
45	1,69	Momento Fletor Máximo	kN.m	7107,5	7107,5	0,00%
45	1,69	Esforço Cortante v0	kN	1465,6	1465,6	0,00%
45	1,69	Esforço Cortante v1	kN	1363,2	1363,2	0,00%
45	1,69	Esforço Cortante v2	kN	1260,9	1260,9	0,00%
50	1,59	Momento Fletor Máximo	kN.m	7051,3	7051,3	0,00%
50	1,59	Esforço Cortante v0	kN	1454,3	1454,3	0,00%
50	1,59	Esforço Cortante v1	kN	1353,1	1353,1	0,00%
50	1,59	Esforço Cortante v2	kN	1251,9	1251,9	0,00%
55	1,5	Momento Fletor Máximo	kN.m	7000,6	7000,6	0,00%
55	1,5	Esforço Cortante v0	kN	1444,2	1444,2	0,00%
55	1,5	Esforço Cortante v1	kN	1344,0	1344,0	0,00%
55	1,5	Esforço Cortante v2	kN	1243,8	1243,8	0,00%
60	1,43	Momento Fletor Máximo	kN.m	6961,3	6961,3	0,00%
60	1,43	Esforço Cortante v0	kN	1436,3	1436,3	0,00%
60	1,43	Esforço Cortante v1	kN	1336,9	1336,9	0,00%
60	1,43	Esforço Cortante v2	kN	1237,5	1237,5	0,00%

Fonte: Autor (2024).

A validação com precisão dos valores dos esforços de momentos fletores e forças cortantes calculados pelo algoritmo desenvolvido comprova a eficácia do algoritmo quanto ao cálculo destas forças.

Da mesma forma que foram validados os valores dos esforços de momento fletor máximo e cortantes, foi reproduzida dentro do *Eberick*® cada uma das 18 vigas calculadas. Como o *Eberick*® não faz o cálculo da carga móvel, para obtenção dos resultados, foram inseridas na viga forças que provocassem os mesmos esforços de momento e cortante calculados e comparados com os resultados do algoritmo para garantir a conformidade com as normas e a eficiência estrutural. A Figura 12 apresenta a modelagem e lançamentos das cargas sobre uma das vigas no software.

Figura 12 – Exemplo da modelagem e do lançamento das cargas sobre a viga no *Eberick*®



Fonte: Autor (2024).

A Tabela 2 apresenta e compara os resultados da área de aço e bitolas escolhidas pelo algoritmo desenvolvido no *Scilab*® com os valores obtidos através do *Eberick*®, onde A_s é a armadura de tração na viga com armadura simples, A_s' é a armadura de tração da viga com armadura dupla e A_s'' é a armadura de compressão.

Tabela 2 – Comparação dos resultados do algoritmo com *Eberick*®

f_{ck}		Algoritmo Desenvolvido			<i>Eberick</i> ®		
		A_s (cm²)	A_s' (cm²)	A_s'' (cm²)	A_s (cm²)	A_s' (cm²)	A_s'' (cm²)
20	Área de Aço	81,15	88,23	11,76	81,12	88,18	11,74
20	Armadura	17 Ø25	18 Ø25	3 Ø25	17 Ø25	18 Ø25	3 Ø25
25	Área de Aço	82,62	97,44	12,61	82,56	97,38	12,60
25	Armadura	19 Ø25	20 Ø25	3 Ø25	19 Ø25	20 Ø25	3 Ø25
30	Área de Aço	97,66	105,68	13,38	97,60	105,64	13,36
30	Armadura	20 Ø25	22 Ø25	3 Ø25	20 Ø25	22 Ø25	3 Ø25
35	Área de Aço	104,34	113,98	14,21	104,30	113,95	14,18
35	Armadura	22 Ø25	24 Ø25	3 Ø25	22 Ø25	24 Ø25	3 Ø25
40	Área de Aço	111,31	120,73	14,85	111,19	120,69	14,84
40	Armadura	23 Ø25	25 Ø25	4 Ø25	23 Ø25	25 Ø25	4 Ø25
45	Área de Aço	117,30	127,51	15,53	117,25	127,46	15,51

45	Armadura	24 Ø25	26 Ø25	4 Ø25	24 Ø25	26 Ø25	4 Ø25
50	Área de Aço	123,53	133,78	16,15	123,50	133,74	16,12
50	Armadura	25 Ø25	28 Ø25	4 Ø25	25 Ø25	28 Ø25	4 Ø25
55	Área de Aço	129,32	105,07	13,12	129,28	105,04	13,10
55	Armadura	27 Ø25	22 Ø25	3 Ø25	27 Ø25	22 Ø25	3 Ø25
60	Área de Aço	136,06	105,38	13,08	136,01	105,33	13,06
60	Armadura	28 Ø25	22 Ø25	3 Ø25	28 Ø25	22 Ø25	3 Ø25

Fonte: Autor (2024).

Na Tabela 2 não foi adicionada uma coluna de erro porque a principal comparação é entre a quantidade de barras, já que influenciam diretamente na altura final da viga. Pode-se ver também que a área de aço à tração e compressão possuem uma pequena diferença (erro máximo de 0,63%) possivelmente devido a pequenos arredondamentos ao longo do cálculo.

Os resultados apresentados na Tabela 2 mostram uma comparação detalhada entre os valores obtidos pelo algoritmo desenvolvido em *Scilab*[®] e os valores calculados pelo software *Eberick*[®], variando o valor de f_{ck} de 20 a 60 MPa. Ao analisar a variação de f_{ck} , observa-se que a área de aço (A_s) aumenta progressivamente com o aumento da resistência característica do concreto. Para $f_{ck} = 20$ MPa, a área de aço calculada pelo algoritmo é de 81,15 cm², enquanto para $f_{ck} = 60$ MPa, a área de aço chega a 123,53 cm². Essa tendência é consistente e indica a necessidade de mais aço à medida que a resistência do concreto aumenta para suportar as cargas aplicadas.

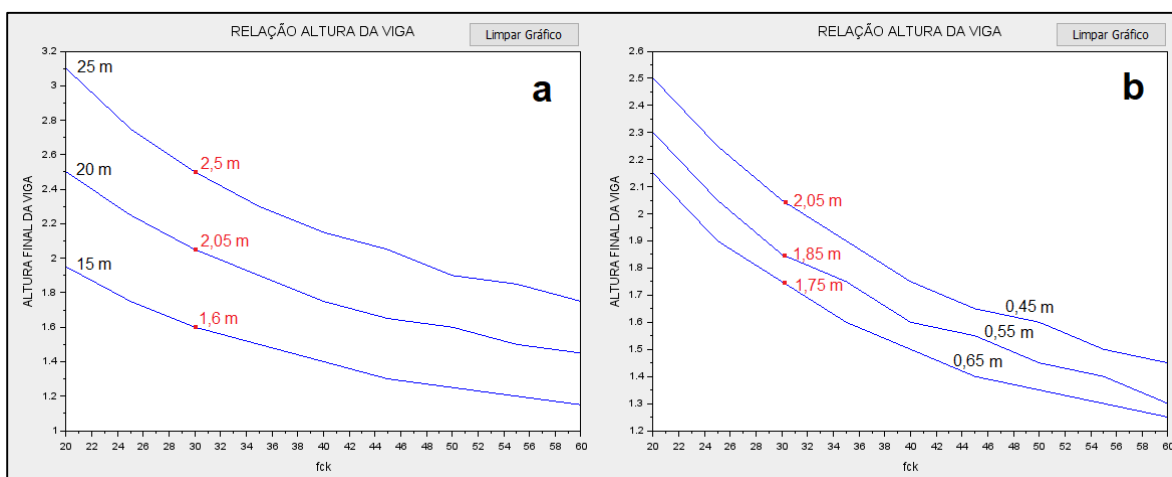
Além disso, a quantidade de barras de armadura necessária também aumenta com o aumento de f_{ck} . Para $f_{ck} = 20$ MPa, o número de barras é de 15 Ø25, aumentando para 27 Ø25 quando $f_{ck} = 60$ MPa, resultado direto do aumento da área de aço necessária.

Também é possível observar que a tendência do aumento na área de aço não se aplica a armadura dupla (A_s' e A_s'') para valores de f_{ck} superiores a 50 MPa. Isso se dá devido a diminuição do valor do limite de ductilidade (ϵ_{lim}) de 0,45 para 0,35, de acordo com as recomendações da NBR 6118 (2014) para valores de f_{ck} superiores a 50 MPa. Como é possível observar nas equações 9 e 10, a área de aço para armaduras duplas é calculada em função do valor do limite de ductilidade (ϵ_{lim}) e não em função do parâmetro de ductilidade (ϵ) calculado através da equação 7 para armaduras simples.

Outras análises possíveis de se realizar através do algoritmo, é a variação dos resultados de altura final mínima com base na variação do comprimento do vão (a) e/ou dimensão da base da viga (b), como mostrado na Figura 13. É possível observar

em (a) a variação do vão para os valores de 15 m, 20 m e 25 m, resultando em valores de alturas finais de viga crescentes, variando de 1,6 m até 2,5 m, para $f_{ck} = 30$ MPa e largura da viga de 0,45m. Por sua vez, em (b), mantendo o vão da ponte em 20m, é realizada a variação da base da viga para os valores de 0,45 cm, 0,55 cm e 0,65 cm, resultando em valores de alturas finais da viga decrescentes, variando de 2,05 m até 1,75 m, também para o para $f_{ck} = 30$ MPa.

Figura 13 – Resultados da altura da viga com base na variação do vão (a) e base da viga (b)



Fonte: Autor (2024).

As análises dos gráficos da Figura 13 revelam compreensões importantes para o dimensionamento otimizado de vigas longarinas de pontes de concreto armado. No gráfico (a), a relação direta entre o comprimento do vão e a altura da viga sugere que para projetos com vãos menores, é possível economizar na altura das vigas sem comprometer a segurança estrutural. Esta economia pode resultar em menores custos de construção e material.

No gráfico (b), a variação da base da viga destaca a importância de considerar a largura da seção transversal no projeto. Uma base maior permite reduzir a altura da viga necessária para suportar as mesmas cargas, promovendo uma utilização mais eficiente do concreto e do aço. Este ajuste pode ser particularmente útil em situações onde a altura total da ponte é restrita ou quando se busca minimizar a quantidade de material utilizado.

A alteração da largura da base da viga também ocasiona consequentemente na alteração da largura livre para distribuição das barras longitudinais que devem ser posicionadas dentro dos estribos, uma vez que larguras maiores permitem o posicionamento de mais barras na mesma camada, resultando na diminuição dos valores de d' e d'' e por sua vez na altura final da viga.

Esses resultados, combinados com os dados apresentados nas tabelas 1 e 2, reforçam a eficácia do algoritmo desenvolvido em *Scilab*® para fornecer pré-dimensionamentos precisos. A capacidade de ajustar a altura da viga com base no comprimento do vão e na largura da base oferece aos engenheiros e projetistas uma ferramenta poderosa para otimizar o uso de materiais e reduzir os custos de construção, ao mesmo tempo em que garantem a segurança e a durabilidade das estruturas.

O algoritmo composto por 2213 linhas de código pode ser acessado através do link: <https://abrir.link/pfAlr>. Para executar o código é necessário que o software *Scilab*® esteja instalado no computador, após isso basta abrir o código baixado dentro do *Scilab*® e executá-lo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho demonstrou a viabilidade e a eficiência de um algoritmo desenvolvido para a otimização do dimensionamento de vigas longarinas de pontes de concreto armado. O algoritmo, ao encontrar a altura mínima das vigas que atendam aos limites de compressão do concreto, mostrou-se uma ferramenta precisa e confiável.

Os resultados obtidos através do algoritmo desenvolvido em *Scilab*® foram comparados com os resultados gerados pelos softwares comerciais *Ftool*® e *Eberick*®. Essa comparação revelou uma precisão significativa nos valores de esforços de momentos fletores e forças cortantes calculados pelo algoritmo. Para todos os valores de f_{ck} e suas respectivas alturas úteis calculadas, os resultados dos esforços de momento fletor máximo e esforço cortante apresentaram uma margem de erro de 0,00%, comprovando a eficiência do algoritmo na determinação desses esforços. Esta precisão é crucial para garantir a segurança e a confiabilidade das estruturas projetadas.

A tabela de comparação das áreas de aço e bitolas escolhidas mostrou que o algoritmo é eficaz no dimensionamento das armaduras longitudinais. As pequenas variações encontradas, com um erro máximo de 0,63%, são atribuídas a arredondamentos nos cálculos. No entanto, essas diferenças não comprometem a integridade estrutural, pois o algoritmo fornece resultados que atendem às normas técnicas. Isso demonstra que o algoritmo pode ser utilizado como uma ferramenta confiável para o pré-dimensionamento de vigas longarinas, auxiliando engenheiros e projetistas na fase inicial do projeto fornecendo um panorama amplo do comportamento da estrutura quanto aos critérios estabelecidos.

Outro aspecto relevante é a capacidade do algoritmo de gerar gráficos que relacionam a altura mínima das vigas com os valores de f_{ck} . Esses gráficos permitem uma análise visual e comparativa da influência do f_{ck} na altura das vigas, facilitando a tomada de decisões de projeto. A interface gráfica desenvolvida torna o algoritmo acessível e fácil de usar, possibilitando que profissionais da área e estudantes façam ajustes e obtenham resultados rapidamente. A utilização desse algoritmo pode reduzir o tempo e os custos associados à readequação de projetos estruturais, promovendo uma maior eficiência no desenvolvimento de pontes.

A principal contribuição deste estudo é fornecer aos engenheiros e estudantes uma ferramenta adicional para o pré-dimensionamento de vigas longarinas, facilitando a tomada de decisões e aumentando a precisão dos projetos. Apesar das variações muito pequenas encontradas nas áreas de aço, o algoritmo demonstrou atender aos requisitos normativos, o que é essencial para garantir a segurança das estruturas. Além disso, a interface gráfica desenvolvida torna a utilização do algoritmo mais acessível, permitindo ajustes rápidos e obtenção de resultados de forma prática.

Futuras pesquisas podem explorar a expansão da metodologia aplicada neste algoritmo para maior quantidade de vigas longarinas e dimensionamentos de outros elementos estruturais de pontes, como pilares e fundações, ampliando ainda mais sua aplicação na engenharia civil. A continuação deste trabalho pode contribuir para o avanço da otimização estrutural, promovendo projetos cada vez mais eficientes e econômicos, sem comprometer a segurança e a qualidade das obras.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7188: Carga móvel rodoviária e de pedestre em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BORGHETTI, Everton. **Análise de diferentes propostas de longarinas em pontes de concreto armado através da ferramenta SAP 2000**. Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica apresentado à Assessoria de Pós-Graduação e Pesquisa pela Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – FATECS, Centro Universitário de Brasília – UniCEUB, Brasília-DF, 2016.

BRANCO, Hugo. **Colapso de pontes: Lições aprendidas**. Dissertação de Mestrado. Instituto superior de engenharia de Lisboa; 2013.

CAVALCANTE, Gustavo Henrique F. **Pontes em concreto armado: análise e dimensionamento**. Editora Blucher, 2019. E-book. ISBN 9788521218623. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521218623/>. Acesso em: 09 abr. 2024.

CORMEN, Thomas H.; LEISERSON, Charles E.; Ronald L. Rivest; e outros. **Algoritmos**. Grupo GEN, 2024. E-book. ISBN 9788595159914. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595159914/>. Acesso em: 17 abr. 2024.

COELHO, Álvaro. *et al.* **Considerações sobre a otimização de longarinas de pontes de concreto armado e concreto protendido**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS, 14, 2013 Rio de Janeiro.

Anais [...]. Viçosa: UFV, 2023. p. 1. Disponível em: http://abpe.org.br/trabalhos2023/trabalhos/ID_190.pdf. Acesso em: 6 abr. 2024.

DEBS, Mounir Khalil El; TAKEYA, Toshiaki. **Introdução às Pontes de Concreto**. São Carlos, 2007. Texto provisório de apoio à disciplina SET-412, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte - SGO**. Disponível em: <https://sisdnit.dnit.gov.br/sisdnit/jsp/>. Acesso em: 28 jun. 2021.

DRESCH, Fernanda; GOTO, Hudson; SCHMITZ, Rebeca J.; e outros. **Pontes**. Grupo A, 2018. E-book. ISBN 9788595024830. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595024830/>. Acesso em: 12 abr. 2024.

FABEANE, R. **Pontes mistas aço-concreto: Estudo de diretrizes para dimensionamento otimizado**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Passo Fundo; 2015.

FEITOSA, Karielson Medeiros. **Estudo de algoritmos de integração temporal na análise dinâmica de pórticos planos com o Método dos Elementos Finitos**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.

FURTADO, J.J.H.C. **Otimização de longarinas de pontes em concreto armado**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

MARCHETTI, Oswaldemar. **Pontes de concreto armado**. Editora Blucher, 2018. E-book. ISBN 9788521212799. Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521212799/>. Acesso em: 12 abr. 2024.

O MUNICÍPIO. **Nível do rio Itajaí-Mirim passa dos 8 metros em Brusque**.

Disponível em:

<https://omunicipio.com.br/nivel-do-rio-itajai-mirim-passa-dos-8-metros-em-brusque/>. Acesso em: 20 abr. 2024.

OLIVEIRA, Nayane Cecília Pereira de. **Aplicabilidade dos Algoritmos Genéticos na Engenharia Civil**. Monografia

(Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

RIBEIRO, Heitor Moura Dias. **Análise Comparativa no Uso de Algoritmos Genéticos e Baseados em Gradiente Aplicados à Otimização Estrutural**.

Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2022.

TQS INFORMÁTICA. **Sobre a empresa**.

Disponível em:

<https://www.tqs.com.br/tqsabout/company>. Acesso em: 20 abr. 2024

EXTRAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS PARA USO COMO ANTIOXIDANTES NATURAIS EM ÓLEOS VEGETAIS

EXTRACTION OF ESSENTIAL OILS FOR USE AS NATURAL ANTIOXIDANTS IN VEGETABLE OILS

Olga Cristina Cardoso Barbosa ¹

Álvaro Canto Michelotti ²

George Luiz Bleyer Ferreira ³

Junelene Costodio Pruner ⁴

Raquel Bonati Moraes Ibsch ⁵

RESUMO: Os óleos essenciais (OEs) são substâncias naturais voláteis obtidas de plantas aromáticas, amplamente estudadas por suas propriedades antioxidantes, antimicrobianas e terapêuticas. Este trabalho teve como objetivo realizar uma revisão da literatura sobre a extração e aplicação de OEs em óleos vegetais, explorando o seu potencial como antioxidantes naturais para prolongar a vida útil, preservar a qualidade e garantir a segurança desses produtos. A pesquisa foi realizada por meio de revisão bibliográfica de caráter descritivo e qualitativo, contemplando artigos científicos publicados entre 2018 e 2024, em bases de dados como MDPI, SciELO, ScienceDirect, entre outras. Os principais métodos de extração abordados incluem destilação por arraste a vapor, hidrodestilação, extração com solventes orgânicos, fluido supercrítico, maceração, enfloração e técnicas assistidas por micro-ondas. Cada técnica apresenta vantagens e limitações relacionadas à eficiência, custo, seletividade e preservação dos compostos bioativos. Os resultados demonstram que os OEs ricos em compostos fenólicos apresentam potencial antioxidante comparável ou superior aos aditivos sintéticos, podendo ser incorporados diretamente em alimentos, por meio de nanoemulsões ou em embalagens ativas. Apesar dos desafios quanto à padronização, volatilidade e sensorialidade, o uso de OEs representa uma alternativa promissora e alinhada ao movimento clean-label e às demandas por produtos mais naturais e seguros na indústria de alimentos.

Palavras-chave: óleos essenciais; extração; antioxidantes. óleos vegetais.

ABSTRACT: *Essential oils (EOs) are natural volatile compounds extracted from aromatic plants and widely examined for their antioxidant, antimicrobial, and therapeutic properties. The aim was to conduct a literature review on the extraction and application of essential oils (EOs) in vegetable oils, examining their potential as natural antioxidants to extend shelf life, preserve quality, and ensure the safety of these products. We conducted a descriptive and qualitative literature review using scientific*

¹ Acadêmica do curso de Direito - UNIFEBE. E-mail: olga.barbosa@unifebe.edu.br

² Doutor em Projeto Sist. Mecânicos. Docente - UNIFEBE. E-mail: alvaro.michelotti@unifebe.edu.br

³ Doutor em Eng. de Produção. Docente - UNIFEBE. E-mail: bleyer@unifebe.edu.br

⁴ Mestre em Eng. de Produção. Docente - UNIFEBE. E-mail: junelene@unifebe.edu.br

⁵ Mestre em Eng. Química. Docente e Orientadora - UNIFEBE. E-mail: raquel.moraes@unifebe.edu.br

articles published between 2018 and 2024 from databases such as MDPI, SciELO, and ScienceDirect. The primary extraction methods discussed include steam distillation, hydro distillation, organic solvent extraction, supercritical fluid extraction, maceration, enfleurage, and microwave-assisted techniques. Each method presents specific advantages and limitations in terms of efficiency, cost, selectivity, and the preservation of bioactive compounds. Results show that essential oils (EOs) rich in phenolic compounds exhibit antioxidant activity comparable to or even higher than that of synthetic additives and can be incorporated directly into foods, in nanoemulsions, or via active packaging systems. Despite the challenges associated with standardization, volatility, and strong sensory properties, essential oils (EOs) offer a promising natural alternative that aligns with clean-label trends and the increasing demand for safer and more natural food products.

Keywords: *essential oils. extraction. antioxidants. vegetable oils.*

1 INTRODUÇÃO

O uso de óleos essenciais (OEs) remonta às civilizações orientais antigas, com registros datados de aproximadamente 3.000 a.C. Povos como egípcios, gregos e romanos utilizavam essas substâncias extraídas de plantas aromáticas em rituais religiosos, práticas medicinais e cosméticos, evidenciando a sua relevância histórica (Do Prado *et al.*, 2021).

Atualmente, os OEs despertam grande interesse por sua versatilidade e potencial farmacológico, alimentício e cosmético, devido à presença de metabólitos secundários com ações antioxidantes e/ou antimicrobianas (Chen *et al.*, 2023).

Esses compostos atuam neutralizando espécies reativas, como radicais livres, responsáveis por danos celulares associados a doenças como câncer, distúrbios cardiovasculares e envelhecimento precoce (Kumari *et al.*, 2024). Além disso, os OEs inibem a oxidação lipídica, protegendo tanto os alimentos quanto os sistemas biológicos (Chen *et al.*, 2023; Bektasevic *et al.*, 2023). Essa funcionalidade tem impulsionado a sua aplicação em substituição a aditivos sintéticos, frequentemente associados a efeitos adversos à saúde. Tal movimento acompanha a tendência clean-label, que valoriza ingredientes naturais e reconhecíveis (Grand View Research, 2024).

Estudos demonstram alta eficácia antioxidante em OEs como os de canela, tomilho e cravo, devido à presença de compostos fenólicos como eugenol e timol. Esses óleos conseguiram reduzir a oxidação de ácidos graxos poli-insaturados e o estresse oxidativo em células sanguíneas (Chen *et al.*, 2023). Tal estresse, provocado pelo excesso de espécies reativas de oxigênio e nitrogênio (ROS/RNS), contribui para o desenvolvimento de doenças cardiovasculares, neurodegenerativas, diabetes, câncer e processos inflamatórios (Sharifi-Rad *et al.*, 2020; Aramouni *et al.*, 2023).

Desse modo, a extração dos OEs é de grande importância para a saúde devido à presença de substâncias com ação antioxidante, como os compostos fenólicos, que retardam ou neutralizam as reações oxidativas nos alimentos e no organismo, contribuindo para uma maior vida útil e longevidade, respectivamente (Da Chen *et al.*, 2023; Kumari *et al.* 2024).

Graças a essas características, os OEs vêm sendo incorporados tanto em alimentos quanto em embalagens. Entretanto, para serem utilizados na indústria de alimentos, os OEs devem ser amplamente disponíveis e classificados como seguros (GRAS – *Generally Recognized as Safe*).

Em relação à disponibilidade e obtenção, segundo Rodrigues (2020), diversos fatores podem influenciar o rendimento da extração dos OEs, incluindo a espécie vegetal, a época e técnicas para a colheita, partes da planta utilizada, além do solvente e do método de extração empregados. É importante considerar, no entanto, que o armazenamento dos OEs seja realizado de maneira adequada. Caso contrário, poderá haver um comprometimento da sua qualidade devido à oxidação e degradação, especialmente quando expostos ao calor, luz e umidade. Assim, a fim de preservar a qualidade dos OEs, é necessário armazená-los sob temperaturas baixas, em recipientes opacos, como garrafas de vidro âmbar ou de alumínio, em locais escuros e com baixa disponibilidade de oxigênio (Tran *et al.*, 2020; Ganosi *et al.*, 2023).

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi realizar uma revisão da literatura sobre a extração e aplicação de OEs em óleos vegetais, explorando o seu potencial como antioxidantes naturais para prolongar a vida útil, preservar a qualidade e garantir a segurança desses produtos.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Considerando os objetivos da pesquisa, a investigação foi realizada de forma exploratória e documental, de natureza qualitativa, utilizando como técnica de coleta de dados a pesquisa bibliográfica em teses, dissertações, artigos e revistas científicas.

Desse modo, foi realizada uma revisão de literatura para identificar os principais métodos de extração de óleos essenciais, bem como a sua aplicação na área de alimentos, mais especificamente na aplicação de aumento de vida de prateleira de óleos e gorduras vegetais, e ainda de produtos ricos nesses compostos orgânicos. Para tanto, a pesquisa realizada para esta revisão foi classificada como descritiva e qualitativa. A coleta de informações foi realizada por meio de uma análise bibliográfica, fundamentada nas obras de especialistas na área.

Este estudo utilizou um método qualitativo de pesquisa, por meio de revisão de literatura, que incluiu artigos publicados nos últimos 7 anos. Foram utilizadas as seguintes bases de dados: Google Acadêmico, MDPI, ResearchGate, SciELO, ScienceDirect (Elsevier), Spring, Wiley e Repositórios Institucionais. Como critério de busca, foram utilizadas as seguintes palavras-chave (em português e em inglês): óleos essenciais, compostos bioativos, antioxidantes, alimentos, óleos vegetais, oxidação, extração, vida útil, embalagens para alimentos, bem como diferentes combinações dessas palavras. A pesquisa ocorreu entre os meses de abril de 2023 e dezembro de 2024.

Com base nos resultados obtidos na revisão do tema, foi realizada uma análise detalhada dos métodos de extração de OEs, identificando as principais características de cada técnica e avaliando as suas respectivas vantagens e desvantagens, conforme apresentado a seguir.

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 SELEÇÃO DE ARTIGOS

Um número significativo de artigos científicos sobre OEs foi identificado. Após o refinamento da busca com base em palavras-chave relacionadas às áreas de Alimentos, Química e Bioquímica, e a análise criteriosa de títulos e resumos, foram selecionados os textos completos que abordavam a avaliação da atividade antioxidante, em especial quando utilizados em óleos vegetais (ou alimentos com óleos na sua composição). Como resultado, foram incluídos 60 artigos científicos na seleção final.

3.2 O QUE SÃO ÓLEOS ESSENCIAIS?

Os OEs são misturas complexas de compostos líquidos lipofílicos, orgânicos e voláteis, extraídos de plantas aromáticas, matérias-primas naturais de origem vegetal, por diferentes processos, tais como destilação a vapor e hidrodestilação, dentre outros (Sharma *et al.*, 2021). A obtenção das substâncias aromáticas presentes nos OEs pode ser feita de forma sintética, em laboratório, ou de forma natural (Mendonça *et al.*, 2024).

Derivados de metabólitos secundários, os OEs estão presentes em diferentes partes das plantas, como folhas, flores, frutos e cascas, possuindo cor e aroma característicos. A sua composição, rica em terpenos e fenilpropenos, é responsável por suas propriedades aromáticas e biológicas distintas (Scapinello *et al.*, 2024).

As plantas realizam diversos processos metabólicos que garantem o seu crescimento, reprodução e sobrevivência. Esses processos são divididos em metabolismo primário e metabolismo secundário. Segundo Marcolina (2021), o metabolismo primário está diretamente ligado ao desenvolvimento e crescimento da planta e inclui a fotossíntese, a respiração celular, divisão celular e reprodução.

Já o metabolismo secundário, por sua vez, está relacionado à comunicação e interação com diferentes organismos, atraindo-os ou repelindo-os. Desse modo, o metabolismo secundário é responsável, principalmente, pela defesa e proteção da planta contra ameaças externas, como patógenos, herbívoros e estresses ambientais. Desse metabolismo resulta a produção de uma ampla gama de compostos bioativos, que podem ser classificados em duas categorias principais: os terpenos e os fenilpropenos.

- **terpenos:** são formados por hidrocarbonetos compostos por várias unidades de isopreno, sendo os principais componentes dos óleos essenciais; podem repelir insetos, atrair polinizadores, proteger contra doenças e auxiliar na regulação de processos fisiológicos (Forenzi *et al.*, 2022).
- **fenilpropenos:** são compostos fenólicos ou polifenóis e podem variar de moléculas simples, tais como: ácidos fenólicos, para compostos altamente polimerizados, como taninos (Scapinello *et al.*, 2024); combatem radicais livres, influenciam a cor das plantas e atraem polinizadores (Oliveira, 2021).

Os compostos secundários são essenciais para a sobrevivência das plantas em ambientes desafiadores e são frequentemente explorados por suas propriedades medicinais e industriais. Cada óleo essencial pode conter de 20 a 800 substâncias químicas diferentes em concentrações variáveis, sendo uma delas a substância majoritária, enquanto as demais estão presentes em concentrações menores (Marcolina, 2021).

A mesma espécie de planta pode produzir óleos essenciais diferentes devido a variações no ambiente de crescimento, resultando em diferentes composições químicas, conhecidas como quimiotipos. Fatores como altitude, clima, luz, umidade, solo e crescimento da planta podem influenciar na produção dos quimiotipos, os quais podem ser utilizados em diversas indústrias, como farmacêutica, alimentícia e cosmética, principalmente (Ferraz, 2019).

Ainda conforme Macedo *et al.* (2021), determinados óleos essenciais possuem atividades farmacológicas, como atividades antibacterianas, antifúngicas e inseticidas. Além disso, alguns óleos demonstram efeitos terapêuticos, como estimulação da digestão, influência sobre parâmetros cardiovasculares e propriedades analgésicas. Para Marcolina (2021), plantas e frutas, como gengibre, erva-cidreira, sálvia e pitanga, reconhecidas pelos seus elevados teores de óleos essenciais, são frequentemente empregadas na medicina popular com base nessas características.

O Brasil destaca-se globalmente como um dos países com a maior diversidade vegetal e possui uma vasta experiência em conhecimento e tecnologia relacionados a plantas medicinais, integrando saberes tradicionais e científicos (Macedo *et al.*, 2021). Deste modo, não por acaso, o Brasil é o quarto maior produtor mundial de óleos essenciais, mas enfrenta obstáculos como a falta de padronização da qualidade e o baixo investimento governamental. Para superar esses desafios, foi criada em 2008 a Associação Brasileira dos Produtores de Óleo Essencial (ABRAPOE), que reúne fabricantes e instituições de pesquisa, visando desenvolver estudos para melhorar e padronizar a produção nacional (Marcolina, 2021).

3.3 PRINCIPAIS USOS DOS ÓLEOS ESSENCIAIS

Os óleos essenciais são amplamente utilizados em diversas áreas, como aromaterapia, cosméticos, perfumaria, produtos de limpeza e, mais recentemente, na indústria alimentícia. Cada óleo possui propriedades específicas que determinam a sua aplicação. Na área de alimentos, têm ganhado destaque por suas propriedades antioxidantes, além de serem naturais, biodegradáveis e com baixa toxicidade (Scapinello *et al.*, 2024).

Uma prática antiga é a aromaterapia, a qual utiliza os aromas dos óleos essenciais para promover o bem-estar emocional e mental. Estudos indicam que certos aromas, como a lavanda, podem reduzir o estresse, melhorar o sono e aliviar a ansiedade. Alguns óleos essenciais, como menta e eucalipto, têm sido tradicionalmente utilizados para promover a saúde respiratória (Kumari *et al.*, 2024).

Entretanto, embora os óleos essenciais ofereçam benefícios diversos, é essencial considerar as precauções de uso. Alguns óleos podem causar irritações em peles sensíveis, dores de cabeça, alucinações, entre outros, e a dosagem adequada deve ser observada (Alves *et al.*, 2022). Deste modo, grávidas, lactantes e crianças pequenas devem consultar um profissional de saúde antes de utilizar óleos essenciais.

No setor alimentício, diversos óleos essenciais de origem vegetal têm sido empregados por suas propriedades antimicrobianas e antioxidantes (Scapinello *et al.*, 2024). Em alimentos ricos em óleos e gorduras, a oxidação compromete a qualidade nutricional e sensorial, além de representar riscos à saúde, como envelhecimento precoce, doenças cardiovasculares e neurológicas, e desenvolvimento de câncer, devido ao estresse oxidativo e à formação de radicais livres (Tumilaar *et al.*, 2024). Desse modo, há uma crescente preocupação em manter a qualidade dos alimentos durante o processamento, armazenamento e comercialização, por meio de estratégias como controle de temperatura, exposição à luz e oxigênio, uso de embalagens adequadas e adição de antioxidantes (Ibsch *et al.*, 2020).

Dentre as medidas utilizadas para manter a qualidade e segurança dos óleos e gorduras, a incorporação de antioxidantes é uma das mais amplamente utilizadas na indústria. O aumento da demanda por produtos com menos aditivos sintéticos impulsiona a busca por alternativas naturais, especialmente compostos bioativos de origem vegetal (Ibsch *et al.*, 2020; Scapinello *et al.*, 2024). Nesse cenário, os óleos essenciais destacam-se como fontes promissoras de antioxidantes naturais, atendendo às expectativas dos consumidores e às exigências do mercado por alimentos mais naturais e seguros.

3.4 MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS PARA EXTRAÇÃO DOS ÓLEOS ESSENCIAIS

Os OEs são extraídos de diversas fontes vegetais, sendo extraídos de folhas, ervas, flores, cascas, raízes, sementes, madeiras e frutas. Cada matéria-prima oferece diferentes compostos aromáticos e terapêuticos, pois cada planta tem as suas especificidades químicas e aromas distintos, influenciando nas propriedades dos óleos extraídos e proporcionando uma ampla variedade de óleos essenciais no mercado (Bruno; Almeida, 2021).

Flores e pétalas de plantas são frequentemente utilizadas na extração de óleos essenciais devido à sua alta concentração de compostos aromáticos. A delicadeza dessas partes da planta, como evidenciado na técnica de enfleurage, contribui para óleos de alta qualidade (Do Prado *et al.*, 2021).

A casca e as raízes de certas plantas também são valiosas matérias-primas na produção de óleos essenciais. O óleo de casca de laranja, por exemplo, é extraído das cascas (Da De Souza *et al.*, 2024), enquanto o óleo de gengibre é obtido das raízes (Silva *et al.*, 2024). Essas partes da planta conferem notas aromáticas distintas aos óleos.

Conforme pode ser observado no Quadro 1, diversas matérias-primas são utilizadas para extração dos OEs, e têm se mostrado eficazes na conservação de alimentos devido às suas propriedades antioxidantes e antimicrobianas.

A seleção criteriosa e a compreensão das matérias-primas utilizadas na extração de óleos essenciais são fundamentais para garantir a obtenção de produtos de alta qualidade. O conhecimento profundo desses elementos contribui para a excelência na produção de óleos essenciais puros e eficazes.

Quadro 1 – Exemplos de óleos essenciais e principais atividades exercidas

Óleo essencial	Compostos	Atividade
Alecrim <i>Rosmarinus officinalis L.</i>	a-pineno, cânfora e 1,8 cineol	Antioxidante, antifúngica, antimicrobiana
~][Cravo <i>Eugenia caryophyllata</i>	Eugenol, cariofileno, humuleno e acetato de eugenol	Antioxidante, antimicrobiana
Hortelã Pimenta <i>Trachyspermum ammi L.</i>	Mentol, mentona e acetato de mentila	-
Lavanda <i>Lavandula angustifolia Mill</i>	Linalol, acetato de linalila e eucaliptol	Antifúngica
Manjerição <i>Ocimum basilicum L.</i>	Estragol, linalol e eucaliptol	Antifúngica

Fonte: Adaptado de Ribeiro *et al.* (2023).

Sementes e frutos são amplamente explorados na extração de óleos essenciais. Óleos como o de semente de uva e o de laranja, entre outros, são extraídos dessas partes da planta. A escolha dessas matérias-primas impacta diretamente nas propriedades e aplicações dos óleos resultantes (Randolpho *et al.*, 2020; De Menezes, *et al.*, 2021). Para Ferraz (2019), Vaičiulytė, Ložienė e Taraškevičius (2022), o solo e o clima nos quais as plantas são cultivadas desempenham um papel crucial na qualidade das matérias-primas. A composição do solo e os padrões climáticos podem afetar diretamente o perfil químico dos óleos essenciais produzidos.

3.5 MÉTODOS PARA EXTRAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS

A extração é uma operação unitária que envolve a transferência de massa de um soluto para uma substância extratora, que pode estar no estado líquido ou sólido. Existem três principais tipos de extração: líquido-líquido e sólido-líquido. Essa operação pode ser realizada por diferentes métodos, cuja escolha depende das características da matéria-prima vegetal e do uso pretendido para o extrato.

Os métodos mais comuns incluem prensagem mecânica, amplamente empregado para extração de óleos vegetais, arraste a vapor e extração com solventes orgânicos, esses preferencialmente utilizados para obtenção de óleos essenciais. O material vegetal, como frutos, folhas ou flores, é submetido a uma corrente de vapor de água, a qual volatiliza os compostos aromáticos presentes. Esses vapores são então conduzidos a um condensador, onde são resfriados e retornam à fase líquida. A separação entre o óleo essencial e a água ocorre por diferença de densidade (Castilho; Da Silva; Felisbino; Rodrigues, 2021).

Além dos métodos por arraste a vapor e extração por solvente, também são muito utilizados para extração dos OEs os métodos por hidrodestilação, maceração, enfleuragem, gases supercríticos e micro-ondas.

A escolha do método contribui significativamente para o rendimento e qualidade do OE extraído e deve considerar o tipo de matéria-prima disponível. Em 2018, Porto avaliou diferentes métodos de extração de óleos essenciais de coentro e orégano. A baixa eficiência observada em algumas técnicas foi atribuída à baixa concentração dos compostos nas plantas. As extrações por hidrodestilação, arraste a vapor e Soxhlet não resultaram em extratos finais. Já os métodos com Clevenger, percolação e maceração não permitiram a separação das fases. Apenas a técnica de *enfleurage*, utilizando óleo mineral, foi eficaz, produzindo extratos com características sensoriais distintas: aroma adocicado e coloração esverdeada para o coentro, e aroma típico com tonalidade amarelada para o orégano.

3.5.1 Método de destilação por arraste a vapor

A técnica de destilação por arraste a vapor é amplamente utilizada devido à sua simplicidade e ao seu impacto ambiental reduzido. Ela é eficaz na preservação das qualidades originais dos óleos essenciais, mantendo as suas propriedades bioativas e aromáticas e é especialmente adequada para materiais sensíveis à temperatura (Machado *et al.*, 2022; Pheko-Ofithile, Tshepo e Makhzoum, 2024).

Desse método, geralmente resulta em um rendimento ligeiramente inferior em comparação com a hidrodestilação, mas produz óleos essenciais com uma composição química mais rica e maior atividade biológica, como observado em *Laurus nobilis* L. (Řebíčková *et al.*, 2020).

Esse processo envolve a passagem de vapor de água por meio de um extrator contendo o material vegetal, o qual é previamente moído para aumentar a eficiência da extração. O vapor quente quebra as estruturas que contêm os óleos essenciais, os quais são então arrastados com o vapor para um condensador, onde a mistura gasosa

é convertida em líquida. Finalmente, a mistura é separada com base nas propriedades físicas dos seus componentes (Kaya *et al.*, 2020).

Apesar das vantagens, a destilação por arraste a vapor ainda enfrenta desafios, como a perda de componentes voláteis e o tempo prolongado de extração (Pheko-Ofithile; Tshepo; Makhzoum, 2024).

3.5.2 Método de extração por solventes orgânicos

Outro método utilizado para obtenção dos OEs é a extração por solventes orgânicos. Trata-se de uma técnica mais adequada à extração de óleos sensíveis a altas temperaturas, permitindo, deste modo, um maior rendimento nestes casos (Maldonado, 2022).

Diversos solventes orgânicos podem ser utilizados, mas o n-hexano é geralmente o mais indicado em virtude do seu baixo ponto de fusão (65 °C), alta estabilidade e alta capacidade de dissolução do extrato obtido. Entretanto, o n-hexano apresenta riscos significativos à saúde ocupacional e ao meio ambiente, devido à sua toxicidade ao sistema nervoso central e alta inflamabilidade (ponto de autoignição de 240 °C). Em função dessas preocupações, são investigadas alternativas mais seguras, como água, cetonas, hidrocarbonetos halogenados, aldeídos e álcoois de cadeia curta (Menezes *et al.*, 2021).

O solvente deve ser colocado em contato com o material vegetal e, após um tempo específico, ocorre a separação da fase sólida e líquida. Em seguida, o solvente deverá ser removido por evaporação. Entretanto, a principal limitação ao uso dessa técnica reside na completa remoção do solvente residual, ocasionando a extração de compostos que não são voláteis, podendo induzir a alterações nas moléculas extraídas (Marcolina, 2021).

A extração com solventes orgânicos é comumente realizada utilizando um dispositivo denominado Soxhlet, constituído por um compartimento central de vidro, conectado a um frasco de destilação de solvente na parte inferior e a um condensador posicionado na extremidade superior (Maldonado, 2022).

Trata-se de um método eficaz na extração de compostos voláteis, como o d-limoneno, o qual é um componente predominante em óleos essenciais de cascas de frutas cítricas (Aruna, *et al.*, 2022; Amanullah; Rasamani; Sukumar, 2024). Em um estudo realizado por Amanullah, Rasamani e Sukumar (2024), a eficiência da extração por Soxhlet foi otimizada por meio de ajustes na temperatura, no tempo de extração e na proporção sólido-líquido. No estudo realizado por eles, por exemplo, a extração de óleos essenciais de cascas de *Citrus sinensis* foi maximizada a 90 °C por 270 minutos, usando n-hexano como solvente.

Entretanto, embora o Soxhlet seja eficaz, métodos não convencionais, como a extração sob alta pressão e temperatura, podem oferecer vantagens em termos de economia de energia e tempo de extração, além de não apresentarem toxicidade e/ou inflamabilidade como o n-hexano, por exemplo. No entanto, o Soxhlet ainda continua a ser uma escolha popular devido à sua simplicidade e eficácia comprovada (Pereira *et al.*, 2019).

3.5.3 Método de extração por hidrodestilação

O método de obtenção de OEs por hidrodestilação é amplamente empregado em pesquisas laboratoriais devido à sua simplicidade e eficiência em pequena escala. No entanto, a sua aplicação em ambientes industriais é limitada, uma vez que o método é frequentemente classificado como artesanal e, portanto, menos compatível com processos automatizados em larga escala (Correa, Melo e Marques, 2023).

Na hidrodestilação, a amostra vegetal é totalmente submersa na água aquecida. O vapor gerado provoca a abertura das paredes celulares da planta e os seus compostos voláteis são então arrastados até um condensador, onde se resfriam e formam duas fases imiscíveis — água e óleo essencial — que se separam por diferença de densidade (Maldonado, 2022; Correa; Melo; Marques, 2023).

Segundo Maldonado (2022), no processo de hidrodestilação, frequentemente é necessário fragmentar o material vegetal em partes menores para facilitar a extração do óleo essencial e a remoção dos tricomas glandulares da planta. No entanto, algumas partes da planta, como flores, folhas e outras partes finas e não fibrosas, não requerem essa redução. Em contrapartida, as sementes devem ser completamente esmagadas, e raízes, caules e materiais lenhosos devem ser cortados em pedaços menores.

Cutrin *et al.* (2019) utilizaram a hidrodestilação para extrair óleos essenciais de gengibre (*Zingiber officinale*) e alecrim (*Rosmarinus officinalis*), empregando um sistema Clevenger acoplado a um balão de 1000 mL e aquecido por manta elétrica. Em cada ensaio, foram utilizados 300 g de folhas, com adição de água destilada na proporção de 1:10 (m/v), sob temperatura de 100 °C por 5 horas. O óleo obtido foi seco com sulfato de sódio anidro e armazenado a 4 °C em frascos âmbar. As extrações foram feitas em triplicata, e os óleos avaliados quanto à atividade antimicrobiana e antioxidante. Embora os rendimentos tenham sido inferiores aos reportados na literatura, o óleo de alecrim apresentou maior eficiência de extração em comparação ao de gengibre.

Já no estudo realizado por Da De Souza *et al.* (2024), a hidrodestilação mostrou-se eficaz na extração de óleo essencial de cascas residuais de laranja (OECL), utilizando sistema Clevenger. Dez amostras de 200 g foram submetidas à

destilação por 3 horas, com proporção casca/água de 1:10. O hidrolato foi centrifugado a 6000 rpm por 10 minutos, e o óleo obtido armazenado a -20 °C para análises. O rendimento foi determinado por gravimetria, e os extratos apresentaram significativa atividade antioxidante, com concentração efetiva de 89 mg·mL⁻¹ para inibição de 50% do radical livre 2,2-difenil-1-picrilhidrazil.

3.5.4 Método de extração por maceração (ou extração a frio)

O método da maceração, também conhecido como extração a frio, é um procedimento que deve ser aplicado às plantas secas, as quais entram em contato com um solvente ou óleo. A mistura ocasiona a dissolução gradual e a liberação dos princípios ativos. Para tanto, as plantas devem ser fragmentadas em pedaços pequenos para favorecer o contato eficiente com o solvente, sendo recomendável agitar o recipiente diariamente para auxiliar na extração (Marcolina, 2021). A Figura 1 ilustra as principais etapas da técnica.

Trata-se de uma técnica tradicional de extração utilizada, especialmente, em matrizes vegetais sensíveis ao calor. De acordo com Soltan *et al.* (2024), a técnica se mostra eficaz na preservação dos constituintes voláteis e termolábeis, sendo especialmente indicada para plantas como o alecrim, quando empregada com solventes como azeite de oliva, que também atua como conservante natural.

Figura 1 - Extração por maceração



Fonte: os autores (2024).

No estudo de Adegbanke e Bada (2024), a maceração foi aplicada à extração de óleos de cravo e gengibre com sucesso, apresentando bons resultados em termos de rendimento e qualidade, quando comparada ao método Soxhlet. Observou-se que fatores como tempo de contato, tipo de solvente e granulometria da amostra interferem diretamente na eficiência da extração.

Apesar de ser um processo demorado, podendo estender-se por horas, dias ou mesmo meses, a maceração demonstra eficácia ao extrair todos os compostos das plantas. Bitwell *et al.* (2023) afirmam que os métodos de extração a frio, como a maceração, são eficazes na preservação de compostos bioativos devido à ausência de calor, evitando a degradação térmica. No entanto, a escolha do solvente, a proporção solvente/matriz e o tempo de extração são fatores que podem afetar a eficiência do processo e a qualidade do óleo essencial obtido.

3.5.5 Método de extração por enfloração (*enfleurage*)

Marcolina (2021) destaca a técnica conhecida como *enfleurage*, a qual é utilizada para extrair óleos essenciais de pétalas de flores, empregando gorduras vegetal ou animal desodorizadas, em temperatura ambiente. As pétalas frescas são dispostas sobre uma camada de gordura, que absorve os seus compostos aromáticos. O processo é repetido de 30 a 40 vezes, substituindo as pétalas até a saturação da gordura (conhecida como “pomada”), que então é lavada com álcool para separar os compostos aromáticos. O óleo essencial final é obtido após a evaporação do álcool por destilação a baixas temperaturas.

Embora tenha sido amplamente utilizado no passado e possa ser considerado obsoleto devido à sua lentidão e baixo rendimento, é um método ainda empregado, principalmente por algumas indústrias de perfumes. Isso ocorre especialmente quando se trata da extração de plantas com baixo teor de óleo e alto valor comercial (Prado *et al.*, 2021).

Prado *et al.* (2021) utilizaram a técnica de *enfleurage* para extrair óleos essenciais de folhas de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) e hortelã (*Mentha x piperita* L.). As folhas foram imersas em gordura vegetal hidrogenada, com trocas a cada três dias. Ao término do processo, a gordura foi destilada com etanol para liberação dos óleos. O método mostrou-se viável para a extração de óleos essenciais foliares, embora o rendimento varie conforme a espécie vegetal. Foram obtidos 5,64 mL de óleo de manjeriço e 2 mL de hortelã, com estimativas de 0,66 mL e 0,23 mL de óleo por 100 g de gordura, respectivamente. Os autores ressaltam que os valores podem ter sido subestimados devido à perda de óleo durante o uso do rotaevaporador.

Outro estudo, realizado em 2024 por Agrawal, Joshi e Roy, investigou os constituintes químicos e a atividade antimicrobiana do extrato obtido por *enfleurage* das flores de *G. resinifera*. A análise revelou a presença de compostos com atividade antimicrobiana significativa contra várias cepas bacterianas e fúngicas, destacando o potencial do *enfleurage* na obtenção de extratos bioativos.

3.5.6 Método de extração com fluido supercrítico

A extração com dióxido de carbono supercrítico (CO_2) tem se consolidado como uma alternativa sustentável e altamente eficiente para a obtenção de compostos bioativos de origem vegetal, como óleos essenciais, ácidos graxos e fitoquímicos. Essa tecnologia é baseada na utilização do CO_2 em condições acima do seu ponto crítico ($31,1^\circ\text{C}$ e $73,8\text{ bar}$), nas quais o fluido apresenta propriedades intermediárias entre as fases líquida e gasosa — alta difusividade, baixa viscosidade e densidade variável — que permitem extrair seletivamente compostos lipofílicos e voláteis (Cui *et al.*, 2024).

Cui *et al.* (2024) investigaram a extração de óleo essencial de pétalas de rosas Hetian por meio do uso de CO_2 . O estudo demonstrou que a otimização da temperatura, da pressão e da granulometria da matéria-prima é determinante para o aumento do rendimento da extração. As condições ideais permitiram a recuperação de compostos voláteis em teores superiores aos obtidos por destilação, com aroma e composição mais preservados.

De modo geral, os estudos convergem quanto à eficiência, seletividade e segurança da extração com CO_2 supercrítico, destacando-se também por seu caráter sustentável. No entanto, limitações como os elevados custos operacionais e a necessidade de cosolventes para compostos polares ainda representam desafios. Avanços tecnológicos e a crescente demanda por métodos compatíveis com os princípios da química verde têm impulsionado a superação dessas barreiras.

3.5.7 Método de extração assistida por micro-ondas (MAE)

A extração assistida por micro-ondas (MAE) tem se destacado como uma técnica inovadora e eficiente para a obtenção de óleos essenciais de plantas aromáticas. Essa metodologia utiliza a energia das micro-ondas para aquecer rapidamente a matriz vegetal e o solvente, promovendo a ruptura das células vegetais e facilitando a liberação dos compostos voláteis.

Em um estudo recente, Yeasmin *et al.* (2024) investigaram a extração de óleo essencial de folhas de limão (*Citrus limon*) utilizando MAE. Os resultados demonstraram que a técnica proporcionou um rendimento superior e uma composição química mais rica em comparação com métodos tradicionais, como a hidrodestilação. Além disso, o tempo de extração foi significativamente reduzido, evidenciando a eficiência do processo.

Além disso, um estudo de revisão por Joco *et al.* (2023) analisou diversas técnicas inovadoras de extração de óleos essenciais, incluindo a MAE. Os autores enfatizaram que a MAE oferece vantagens significativas, como maior eficiência, preservação de compostos sensíveis ao calor, redução no uso de solventes e menor consumo de energia. Essas características tornam a técnica uma opção promissora para aplicações nas indústrias alimentícia, cosmética e farmacêutica.

No Quadro 2 é apresentado um comparativo entre os métodos de extração para OEs pesquisados neste estudo, destacando as suas principais características, vantagens e desvantagens.

Quadro 2 – Comparativo entre os principais métodos de extração para OEs

Método de Extração	Características	Vantagens	Desvantagens
Destilação por arraste a vapor	Uso de vapor d'água para volatilizar compostos, sem contato direto com a água.	Preserva compostos sensíveis ao calor direto; método tradicional e seguro.	Alto consumo energético; nem todos os compostos são totalmente extraídos.
Com solventes orgânicos	Uso de solventes orgânicos (ex: etanol, hexano) para dissolver os compostos.	Alta eficiência; útil para compostos pouco voláteis.	Riscos de toxicidade; necessidade de remover solventes residuais.
Hidrodestilação	Amostra vegetal submersa em água em ebulição; extração por condensação.	Equipamentos simples; amplamente usada em laboratório.	Podem degradar compostos voláteis; requer longos tempos de extração.
Maceração (extração a frio)	Imersão da planta em solvente à temperatura ambiente por dias ou semanas.	Preserva compostos termossensíveis; método simples e seguro.	Tempo de extração muito longo; baixo rendimento.
<i>Enfleurage</i>	Flores em contato com gordura neutra; absorção por repetição de ciclos.	Preserva integralmente o aroma das flores delicadas.	Muito lenta; alto custo e uso de gordura, animal ou vegetal.
Fluido supercrítico (CO ₂)	Uso de CO ₂ acima do ponto crítico como solvente de alta seletividade.	Alta seletividade, rendimento e pureza; processo limpo e sem resíduos tóxicos.	Alto custo e complexidade de equipamentos; limitações com compostos polares.
Assistida por micro-ondas	Aquecimento rápido da matriz vegetal por radiação de micro-ondas.	Rápido, eficiente, reduz uso de solvente; boa preservação de compostos sensíveis.	Pode exigir equipamentos especializados; controle fino de tempo e temperatura.

Fonte: os autores (2024).

3.6 O QUE SÃO ÓLEOS VEGETAIS: ESTRUTURA QUÍMICA E PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

Os óleos e gorduras, pertencentes à classe dos lipídios, podem ser de origem vegetal ou animal. Podem ser extraídos de sementes, grãos, algas, animais superiores e peixes. São biomoléculas apolares, insolúveis em água, com função energética e estrutural nos organismos vivos. Estão entre os três principais macronutrientes, com proteínas e carboidratos, sendo componentes essenciais das membranas celulares (Calugar, Grozea e Butnariu, 2024; Ferreira *et al.*, 2022; Ibsch *et al.*, 2020).

No setor alimentício, são consumidos tanto na sua forma natural quanto em preparações culinárias, contribuindo para propriedades organolépticas importantes, como textura, sabor e coloração. Além do seu valor nutricional, os lipídios possuem aplicações industriais diversificadas, sendo utilizados como intermediários químicos e insumos para a fabricação de sabões, detergentes, vernizes, resinas, cosméticos, lubrificantes, biocombustíveis e fármacos, entre outros (Ferreira *et al.*, 2022).

Segundo a Resolução ANVISA RDC n.º 481, de 15 de março de 2021, óleos vegetais são líquidos a 25 °C (tais como os óleos de soja, milho e canola) e as gorduras vegetais são sólidas ou pastosas à mesma temperatura (tais como a gordura de coco e a gordura de palma).

As estruturas químicas dos óleos e gorduras são relativamente simples e alguns deles são impróprios para consumo humano sem o devido processamento prévio (óleos de colza, algodão e rícino). São compostos que possuem três ésteres de cadeia longa ligados ao glicerol. Os ácidos carboxílicos de cadeias longas que formam os ésteres são chamados ácidos graxos. Não necessariamente os três ácidos graxos que compõem os triglicerídeos precisam ser idênticos (Tian *et al.*, 2023).

Os ácidos graxos, por sua vez, podem ser classificados conforme o grau de insaturação: são monoinsaturados quando possuem apenas uma ligação dupla na cadeia carbônica; poli-insaturados quando apresentam duas ou mais; e saturados quando não há presença de ligações duplas, o que lhes confere uma estrutura totalmente saturada. Nos ácidos graxos insaturados, pode ocorrer isomeria geométrica, resultando em isômeros *cis* ou *trans*, que apresentam propriedades físico-químicas distintas. A presença de ligações duplas influencia diretamente o ponto de fusão dessas moléculas (Guo *et al.*, 2023).

3.7 PRINCIPAIS FATORES QUE AFETAM A VIDA ÚTIL DOS ÓLEOS VEGETAIS

A rancidez, resultado da oxidação lipídica, é a principal responsável pela perda de qualidade dos óleos e gorduras, comprometendo o seu valor nutricional e sendo uma das maiores causas de rejeição por parte dos consumidores. Além de reduzir o valor nutricional, esse processo pode gerar compostos tóxicos devido à formação de radicais livres e espécies reativas de oxigênio, associados a doenças como câncer e envelhecimento precoce. Também são responsáveis por alterar o sabor e o aroma, reduzindo a vida útil do produto e afetando negativamente a sua aceitação (Loganathan *et al.*, 2022; Ibsch *et al.*, 2020).

A vida útil dos óleos e gorduras vegetais pode ser afetada por diversos fatores, como a luz, o calor, a umidade, oxigênio, metais, armazenamento inadequado e pela oxidação, a qual é uma das principais causadoras de deterioração dos óleos.

Desse modo, a oxidação lipídica pode ser retardada por meio do controle dos fatores que contribuem para sua ocorrência: temperatura, exposição à luz e presença de oxigênio. Isso pode ser feito por meio do uso de embalagens adequadas e/ou da adição de antioxidantes que impeçam o desenvolvimento de sabores desagradáveis, conhecidos como *off-flavours*, decorrentes da formação de radicais livres que levarão à formação de compostos oxidativos, como peróxidos e aldeídos (Ibsch *et al.*, 2020).

Além disso, a composição química dos óleos é determinante na sua estabilidade. Aqueles ricos em ácidos graxos insaturados, como os óleos de cártamo, soja e girassol, são mais suscetíveis à rancidez oxidativa, devido à maior reatividade (Soukup; Kouřimská, 2019; Symoniuk *et al.*, 2022). Por outro lado, óleos com maior proporção de ácidos graxos saturados apresentam maior resistência à oxidação (Soukup; Kouřimská, 2019; Ibsch *et al.*, 2020).

Com relação ao uso de embalagens mais adequadas, a prática de armazenar óleos comestíveis em recipientes opacos retarda efetivamente a formação de peróxidos. No entanto, a indústria tem adotado predominantemente embalagens plásticas transparentes de tereftalato de polietileno (PET) devido à sua leveza, resistência, vedação eficiente e facilidade de transporte em larga escala. Apesar dessas vantagens logísticas, a transparência dessas embalagens pode acelerar a deterioração do óleo, a menos que sejam adicionados aditivos anti-UV na sua estrutura (Di Mauro *et al.*, 2019).

Já em relação à inclusão de antioxidantes, naturais ou sintéticos, é considerada uma das mais eficazes na prevenção da degradação oxidativa de óleos e gorduras, sendo amplamente aplicada na indústria de óleos e gorduras vegetais. Antioxidantes sintéticos clássicos – como *BHA* (butil-hidroxi-anisol), *BHT* (butil-hidroxitolueno), *TBHQ* (terc-butil-hidroquinona) e *propil galato* – têm sido amplamente empregados devido à sua alta eficácia em estabilizar óleos e prevenir o aparecimento de ranço (Jeruto *et al.*, 2024; Ibsch *et al.*, 2020).

Entretanto, apesar do uso extensivo de antioxidantes sintéticos na indústria alimentícia, a sua segurança tem sido alvo de questionamentos, e há diversas restrições regulatórias em muitos países. O uso prolongado desses compostos pode estar relacionado ao surgimento de doenças degenerativas, além de alguns, apresentarem potencial carcinogênico. Também há uma percepção negativa por parte dos consumidores (Gharby *et al.*, 2022; Ibsch *et al.*, 2020).

Diante dessas limitações, há um crescente interesse no uso de antioxidantes naturais, considerados mais seguros. Compostos bioativos provenientes de ervas e especiarias têm sido amplamente estudados, destacando-se o extrato de alecrim (*Rosmarinus officinalis L.*), que possui alta atividade antioxidante, solubilidade em

gordura e é autorizado como aditivo alimentar na função de antioxidante (INS 392) em diversas categorias de alimentos, conforme a Resolução-RDC n.º 281, de 29 de abril de 2019 do Ministério da Saúde. Especificamente, é autorizado para uso em óleos de peixe e óleos vegetais (exceto azeite de oliva e óleos virgens).

3.8 USO DE ÓLEOS ESSENCIAIS PARA AUMENTO DA VIDA ÚTIL DOS ÓLEOS VEGETAIS

Os OEs ricos em fenólicos têm exibido atividade antioxidante comparável ou superior à de aditivos sintéticos tradicionais. O Quadro 3 apresenta algumas fontes naturais de antioxidantes e o tipo de óleo vegetal que foi adicionado, com comprovada eficiência antioxidante.

Plantas e temperos são valiosos antioxidantes naturais, e isso é devido à presença de substâncias fenólicas nos óleos essenciais. Portanto, entre os diversos estudos sobre substâncias naturais com propriedades antioxidantes, muitos deles estão focados nas substâncias fenólicas que podem agir como doadores de hidrogênio para os radicais livres, resultando em um radical estável (Hüther *et al.*, 2023).

Os OEs provenientes de plantas têm sido examinados como agentes inibidores do crescimento de patógenos em alimentos, tais como *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, entre outros (Hüther *et al.*, 2023; Scapinello *et al.*, 2024).

Quadro 3 – Exemplos de óleos essenciais com função antioxidante para óleos vegetais

Fonte natural do antioxidante	Óleo vegetal avaliado	Resultados obtidos
Óleo essencial de gengibre	Óleo de canola	Os extratos de gengibre (6-gingerol, 8-gingerol, 10-gingerol, 10-gingerol e 6-shogao) apresentaram propriedades antioxidantes.
Óleo essencial de casca de laranja	Ghee (óleo de manteiga)	O ghee suplementado com extrato de casca de laranja foi mais estável a 6 e 32 °C em comparação com o armazenado a 60 °C. No ghee suplementado com óleo essencial de casca de laranja, houve níveis significativamente menores de peróxidos, TBA e ácidos graxos livres (AGL) em comparação ao ghee suplementado com BHA.
Óleo essencial de orégano	Azeite de oliva extravirgem	O óleo essencial extraído da folha de orégano, adicionado na concentração de 5g/100ml, inibiu significativamente a lipoperoxidação do azeite de oliva virgem
Óleo essencial de manjerição	Óleo de girassol	A adição do óleo essencial de manjerição ao óleo de girassol, na concentração de 200-500 mg.kg ⁻¹ , apresentou estabilidade oxidativa comparável à estabilidade do BHT adicionado ao óleo de girassol

Adaptado de Jeruto *et al.* (2024).

Assim, em função dos óleos essenciais serem ricos em compostos bioativos antioxidantes e antimicrobianos, desempenham um importante papel na minimização ou eliminação de microrganismos e na redução da oxidação lipídica dos óleos vegetais. Essa ação contribui significativamente para prolongar a vida útil destes óleos (Gharby *et al.*, 2022; Khan *et al.*, 2023; Ribeiro *et al.*, 2023).

Entretanto, segundo Scapinello *et al.* (2024), o uso industrial dos OEs pode enfrentar diversas limitações, como a alta variabilidade na sua composição química, possíveis interações com a matriz alimentar, riscos toxicológicos, propriedades sensoriais intensas, além da necessidade de padronização quanto à forma de aplicação. Ademais, a sua natureza volátil e a susceptibilidade à oxidação exigem o desenvolvimento de tecnologias e pesquisas que viabilizem alternativas para superar essas barreiras.

Desse modo, entre as alternativas tecnológicas voltadas à indústria de alimentos, destacam-se os processos de encapsulação e a produção de nanoemulsões, que favorecem a estabilidade dos compostos bioativos, aumentam a sua biodisponibilidade, prolongam a vida útil e facilitam a sua incorporação em matrizes alimentares. Outra estratégia promissora é o uso de embalagens ativas com incorporação de óleos essenciais, permitindo a liberação controlada de compostos antimicrobianos e antioxidantes diretamente da embalagem para o alimento, sem a necessidade de adição direta ao produto (Scapinello *et al.*, 2024; Hadidi *et al.*, 2020).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os óleos essenciais (OEs) são substâncias voláteis obtidas a partir de plantas aromáticas, cujos compostos bioativos — como terpenos, álcoois e ésteres — são responsáveis por propriedades antimicrobianas, antioxidantes e terapêuticas. São amplamente utilizados nas indústrias cosmética, farmacêutica, alimentícia e de perfumaria, além de serem empregados na aromaterapia e na medicina tradicional. Esses compostos são produzidos pelas plantas por meio de metabolismo secundário, e a sua composição química pode variar conforme fatores ambientais, como luminosidade, tipo de solo, altitude e umidade, resultando em diferentes quimiotipos (Vaičiulytė; Ložienė; Taraškevičius, 2022).

A obtenção e aplicação dos OEs dependem de métodos específicos de extração, capazes de preservar a sua integridade química. Dentre os principais processos utilizados destacam-se a hidrodestilação, a destilação por arraste a vapor, a extração com solventes orgânicos, o uso de fluidos supercríticos, a enfloração, a maceração e métodos assistidos por micro-ondas. A seleção da técnica ideal está relacionada às características da matéria-prima utilizada e às propriedades desejadas no produto final, considerando os critérios de eficiência, seletividade, custo e preservação de compostos termossensíveis (Vázquez-Aguilar *et al.*, 2022).

Os óleos vegetais, por sua vez, são produtos lipídicos extraídos de sementes, frutos ou outras partes de plantas, ricos em ácidos graxos que determinam as suas propriedades físico-químicas e aplicações. Esses óleos também são amplamente utilizados nas indústrias alimentícia, cosmética e farmacêutica. A qualidade e a estabilidade dos óleos vegetais e essenciais dependem não apenas da técnica de extração, mas também de fatores como tipo de embalagem, exposição à luz, oxigênio, calor e presença de metais. A oxidação é um dos principais mecanismos de degradação, e estratégias como o uso de antioxidantes naturais, gases inertes e armazenamento em frascos escuros são importantes para preservar a sua funcionalidade (Silva, 2022).

Portanto, compreender a composição, os métodos de extração e os fatores que influenciam a estabilidade dos óleos essenciais e vegetais é essencial para garantir a sua eficácia, segurança e aplicabilidade industrial. Tais conhecimentos favorecem o desenvolvimento de soluções tecnológicas alinhadas às demandas por produtos naturais, sustentáveis e com alto valor funcional (Gomes; Silva, 2019).

5 AGRADECIMENTOS

Este projeto de pesquisa foi financiado pelo UNIEDU, Programa de Bolsas Universitárias de Santa Catarina.

REFERÊNCIAS

- ADEGBANKE, Omolara Racheal; BADA, Raymond Temilola. Comparative Analysis of Oil Extraction from Clove and Ginger using Maceration and Soxhlet Methods: Physicochemical Properties and Quality Assessment. **IPS Journal of Agriculture, Food Technology and Security**, v. 1, n. 1, p. 10-19, 2024.
- AGRAWAL, Shivankar; JOSHI, Rajesh K.; ROY, Subarna. Chemical Constituents and Antimicrobial Activity of Enfleurage Extract of Gardenia resinifera Flower. **Chemistry of Natural Compounds**, v. 60, n. 5, p. 972-975, 2024.
- ALVES, Nathalia Visgueira *et al.* Potencial farmacológico dos óleos essenciais: uma atualização. **Práticas integrativas e complementares: visão holística e multidisciplinar**. Editora Científica Digital, v. 13, p. 144-160, 2022.
- AMANULLAH, Muthahar Fazila; RASAMANI, Padmapriya; SUKUMAR, M. Process kinetics optimization for extraction of essential oil from the peel of Citrus sinensis for the development of food packaging film. **Journal of Food Process Engineering**, v. 47, n. 4, p. e14613, 2024.
- ARAMOUNI, Karl *et al.* Biochemical and cellular basis of oxidative stress: implications for disease onset. **Journal of Cellular Physiology**, v. 238, n. 9, p. 1951-1963, 2023.
- ARUNA, T. *et al.* Hydrodistillation and soxhlet method of extraction and analyses of chemical composition of citrus peel essential oil. **Madras Agricultural Journal**, v. 109, n. special, p. 1, 2022.
- BEKTASEVIC, Mejra *et al.* Phytochemical profile, antioxidant activity and cholinesterase inhibition potential of essential oil and extracts of *Teucrium montanum* from Bosnia and Herzegovina. **Separations**, v. 10, n. 8, p. 421, 2023.
- BITWELL, Chibuye *et al.* A review of modern and conventional extraction techniques and their applications for extracting phytochemicals from plants. **Scientific African**, v. 19, p. e01585, 2023.
- BRASIL. **Resolução RDC/ANVISA/MS nº 481, de 15 de março de 2021.** Regulamento técnico que dispõe sobre os requisitos sanitários para óleos e gorduras vegetais. Disponível em: https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/5887540/RDC_481_2021_.pdf/0b35722f-6275-48d1-b15f-e07992242188. Acesso em: 14 nov. 2024.
- BRASIL. **Resolução RDC/ANVISA/MS nº 281, de 29 de abril de 2019.** Regulamento técnico que autoriza o uso de aditivos alimentares e coadjuvantes de tecnologia em diversas categorias de alimentos. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2019/rdc0281_29_04_2019.pdf. Acesso em: 14 nov. 2024.
- BRUNO, Catarina; ALMEIDA, Márcia R. Óleos essenciais e vegetais: matérias-primas para fabricação de bioprodutos nas aulas de química orgânica experimental. **Química Nova**, v. 44, p. 899-907, 2021.
- CALUGAR, Lucian; GROZEA, Ioana; BUTNARIU, Monica. Vegetable Oils in Maintaining Health. **Journal Med Clin Nurs Stud**, v. 2, n. 2, p. 1-7, 2024.
- CASTILHO, Giovanna Kawasaki; DA SILVA FELISBINO, Sabrina; RODRIGUES, Natalia Mayume. Estudo sobre os tipos de extração para óleos essenciais e óleos vegetais. **RCMOS-Revista Científica Multidisciplinar O Saber**, v. 1, n. 10, p. 52-59, 2021.
- CHEN, Xiaohua *et al.* Antioxidant activities of essential oils and their major components in scavenging free radicals, inhibiting lipid oxidation and reducing

cellular oxidative stress. **Molecules**, v. 28, n. 11, p. 4559, 2023.

CORREA, Otávio Bernhardt; MELO, Aline Resmini; MARQUES, Carolina Resmini Melo. Análise de diferentes métodos de extração de óleo essencial de cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum*). **Revista Vincci-Periódico Científico do UniSATC**, v. 8, n. 2, p. 261-281, 2023.

CUI, Wei *et al.* Research on the Supercritical CO₂ Extraction Process of *Hetian Rose* Essential Oil. **Processes**, v. 12, n. 7, p. 1396, 2024.

CUTRIM, E. S. M. *et al.* Avaliação da atividade antimicrobiana e antioxidante dos óleos essenciais e extratos hidroalcoólicos de *Zingiber officinale* (Gengibre) e *Rosmarinus officinalis* (Alecrim). **Revista Virtual de Química**, v. 11, n. 1, p. 60-81, 2019.

DA DE SOUZA, Tercio *et al.* Uso de cascas de laranja para extração de óleo essencial e avaliação de suas atividades biológicas. **Revista Ifes Ciência**, v. 10, n. 1, p. 01-23, 2024.

DE MENEZES, Maraísa Lopes *et al.* Avaliação da extração por soxhlet do óleo de sementes de uva bordô utilizando como solventes alternativos o álcool etílico e isopropílico. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 8, p. 77169-77180, 2021.

DI MAURO, Eduardo *et al.* Smart packaging in the sustainability challenge: Eumelanin as a UV-absorption enhancer of polymers. **IEEE Transactions on Nanotechnology**, v. 18, p. 1160-1165, 2019.

DO PRADO, Hellen Ramos *et al.* Aplicabilidade do Método de enfleurage para Extração de Óleos Essenciais de Espécies Vegetais Applicability of the enfleurage Method for Extraction of Essential Oils from Plant Species. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 12, p. 117457-117479, 2021.

FERRAZ, André. **Guia Completo da Aromaterapia para Iniciantes. Como usar a Aromaterapia para Transformar sua Saúde e Equilibrar suas Emoções.** Viver de Aromas, on-line. Disponível em: https://viverdearomas.com.br/wp-content/uploads/2019/10/Guia_completo_da_aromaterapia_para_iniciantes_2019-2_compresso.pdf. Acesso em: 5 dez. 2024.

FERREIRA, Patrícia G. *et al.* Aqui tem química: supermercado Parte I. Óleos e gorduras. **Revista Virtual de Química**, v. 14, p. 185, 2022.

GANOSI, Eugenia *et al.* An In-Depth Stability Study of the Essential Oils from *Mentha piperita*, *Mentha spicata*, *Origanum vulgare*, and *Thymus vulgaris*: the Impact of Thermal and Storage Conditions. **Separations**, v. 10, n. 9, p. 488, 2023.

GHARBY, Saïd *et al.* An overview on the use of extracts from medicinal and aromatic plants to improve nutritional value and oxidative stability of vegetable oils. **Foods**, v. 11, n. 20, p. 3258, 2022.

GOMES, T. S.; SILVA, A. L. Raw Materials in Essential Oil Production: Influence on Quality and Composition. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 12, p. 67-78, 2019.

GRAND VIEW RESEARCH. **Natural Food Preservatives Market Trends.** Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/natural-food-preservatives-market-report>. Acesso em: 6 dez. 2024.

GUO, Qin *et al.* New research development on trans fatty acids in food: Biological effects, analytical methods, formation mechanism, and mitigating measures. **Progress in lipid research**, v. 89, p. 101199, 2023.

HADIDI, Milad *et al.* Chitosan nanoparticles loaded with clove essential oil: Characterization, antioxidant and

antibacterial activities. **Carbohydrate polymers**, v. 236, p. 116075, 2020.

HÜTHER, Cristina M. et al. Aqui tem Química: Parte VI. O Prazer dos Sabores Naturais. **Revista Virtual de Química**, v. 15, n. 1, 2023.

IBSCH, Raquel Bonati Moraes *et al.* Study of pure and combined antioxidants for replacing TBHQ in soybean oil packed in pet bottles. **Journal of food science and technology**, v. 57, p. 821-831, 2020.

JERUTO, Ronoh D. *et al.* Comparing Synthetic and Natural Antioxidants in Vegetable Oils: Effects on Oxidation and Oil Quality. **Asian Journal of Applied Chemistry Research**, v. 15, n. 4, p. 119-137, 2024.

JOCO, Randy A. *et al.* Recent Development on the Extraction Process of Plants Essential Oil and its Effect on Chemical Composition: A Review. **Advanced Journal of Graduate Research**, v. 14, n. 1, p. 9-20, 2024.

KAYA, Durmuş Alpaslan *et al.* Selection of optimal operating conditions for extraction of *Myrtus Communis* L. essential oil by the steam distillation method. **Molecules**, v. 25, n. 10, p. 2399, 2020.

KHAN, Sohail *et al.* The extraction and impact of essential oils on bioactive films and food preservation, with emphasis on antioxidant and antibacterial activities—a review. **Foods**, v. 12, n. 22, p. 4169, 2023.

KUMARI, Shweta *et al.* Therapeutic and Pharmacological Applications of Essential Oils in Skin Care and Aromatherapy: Benefits, Mechanisms, and Safety Considerations. **International Journal for Multidisciplinary Research**, v. 6, n. 4, July-August, 2024.

LOGANATHAN, Radhika *et al.* A review on lipid oxidation in edible oils. **Malaysian Journal of Analytical Sciences**, v. 26, n. 6, p. 1378 – 1393, 2022.

MACEDO, Julimery Gonçalves Ferreira *et al.* Therapeutic indications, chemical

composition and biological activity of native Brazilian species from *Psidium* genus (*Myrtaceae*): a review. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 278, p. 114248, 2021.

MACHADO, Carlos Alberto *et al.* Steam distillation for essential oil extraction: An evaluation of technological advances based on an analysis of patent documents. **Sustainability**, v. 14, n. 12, p. 7119, 2022.

MALDONADO, Gabriela. **Estudo sobre os métodos de extração de óleos essenciais: uma revisão integrativa**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Química). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2022.

MARCOLINA, Marzy. **Óleos essenciais: estudo de extração e atividade antimicrobiana**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2021.

MENDONÇA, Augusto Cezar *et al.* Óleos essenciais naturais e sintéticos: benefícios na indústria de fragrâncias. **Revista Ft**, v. 28, n. 136, 2024.

OLIVEIRA, Laís Farias Azevedo de Magalhães. **Nanopartículas de sílica mesoporosa carregadas com extrato de própolis vermelha: síntese, caracterização e avaliação in vitro da atividade antioxidante, antimicrobiana e antiviral**. 2021. Tese de Doutorado (Ciências dos Materiais) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2021.

PHEKO-OFITLHILE, Tshepo; MAKHZOUM, Abdullah. Impact of hydrodistillation and steam distillation on the yield and chemical composition of essential oils and their comparison with modern isolation techniques. **Journal of Essential Oil Research**, v. 36, n. 2, p. 105-115, 2024.

PORTO, Laís Lourdes. **Avaliação do potencial antimicrobiano de óleos essenciais de coentro (*coriandrum***

sativum L.) e orégano (*origanum vulgare* L.). 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Alimentos). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2018.

RANDOLPHO, Gabriela Arelhano *et al.* Resíduos de frutas transformados em novos produtos alimentícios: uma revisão sistemática. **Multitemas**, p. 297-311, 2020.

ŘEBÍČKOVÁ, Kristýna *et al.* Comparison of chemical composition and biological properties of essential oils obtained by hydrodistillation and steam distillation of *Laurus nobilis* L. **Plant foods for human nutrition**, v. 75, n. 4, p. 495-504, 2020.

RIBEIRO, Bárbara Raianne Silva Carneiro *et al.* Atividade conservante de óleos essenciais em alimentos: uma revisão da literatura. **Caderno de Graduação-Ciências Biológicas e da Saúde-UNIT-SERGIPE**, v. 8, n. 1, p. 63-76, 2023.

RODRIGUES, Manuela Sulzbach. **Influência de diferentes genótipos e métodos de extração sobre o rendimento e composição dos óleos essenciais de tangerineiras.** 2020. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

SCAPINELLO, Jaqueline *et al.* Aplicação de óleos essenciais em alimentos: uma revisão sobre desafios e perspectivas. **Revista Acta Ambiental Catarinense**, v. 21, n. 1, p. 01-20, 2024.

SHARIFI-RAD, Mehdi *et al.* Lifestyle, oxidative stress, and antioxidants: back and forth in the pathophysiology of chronic diseases. **Frontiers in physiology**, v. 11, p. 552535, 2020.

SHARMA, Shubham *et al.* Essential oils as additives in active food packaging. **Food Chemistry**, v. 343, p. 1-10, 2021.

SILVA, Maria Alice Brandão *et al.* Guia prático de extração do óleo essencial de gengibre. 2024.

SILVA, Nádia Santana de Andrade da. **Propriedades terapêuticas dos óleos essenciais frente as bactérias**

***Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*: uma revisão de literatura.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Farmácia) – UNIMAM – Centro Universitário Maria Milza, Governador Mangabeira, 2022.

SYMONIUK, Edyta *et al.* Oxidative stability and antioxidant activity of selected cold-pressed oils and oils mixtures. **Foods**, v. 11, n. 11, p. 1597, 2022.

TIAN, Mingke *et al.* The chemical composition and health-promoting benefits of vegetable oils—a review. **Molecules**, v. 28, n. 17, p. 6393, 2023.

TRAN, Thi Kim Ngam *et al.* Impact of Different Storage Conditions on Composition of Lemongrass (*Cymbopogon citratus* L.) Essential Oil of Tien Giang Province, Vietnam. **Asian Journal of Chemistry**, v. 32, n. 11, p. 2743-2747, 2020.

TUMILAAAR, Sefren Geiner *et al.* A comprehensive review of free radicals, oxidative stress, and antioxidants: Overview, clinical applications, global perspectives, future directions, and mechanisms of antioxidant activity of flavonoid compounds. **Journal of Chemistry**, v. 2024, n. 1, p. 5594386, 2024.

VAIČIULYTĖ, Vaida; LOŽIENĖ, Kristina; TARAŠKEVIČIUS, Ričardas. Impact of edaphic and climatic factors on *Thymus pulegioides* essential oil composition and potential prevalence of chemotypes. **Plants**, v. 11, n. 19, p. 2536, 2022.

VÁZQUEZ-AGUILAR, Mireya *et al.* Essential oils: an overview of extraction methods, applications, and perspectives. **Biocontrol Systems and Plant Physiology in Modern Agriculture**, p. 93-124, 2022.

YEASMIN, Mst Sarmina *et al.* Optimization of green microwave-assisted extraction of essential oil from lemon (*Citrus limon*) leaves: Bioactive, antioxidant and antimicrobial potential. **Current Research in Green and Sustainable Chemistry**, v. 8, p. 100413, 2024.

MELHORIAS NO BIOPOLIMENTO: DESAFIOS E SOLUÇÕES PARA UMA LAVANDERIA INDUSTRIAL

IMPROVEMENTS IN BIOPOLISHING: CHALLENGES AND SOLUTIONS FOR AN INDUSTRIAL LAUNDRY

Francisco Odisi ¹

Vivien Rossbach ²

Enéias Maffezzolli ³

Junelene Costodio Pruner ⁴

Elizabete Larissa Debatin ⁵

RESUMO: A presente pesquisa investiga o processo de biopolimento, utilizado no tratamento de *pilling* em tecidos, um problema que causa a formação de aglomerados de fibras na superfície, prejudicando a aparência e a durabilidade dos tecidos. A justificativa para o estudo está na importância de otimizar o biopolimento para aumentar a qualidade dos tecidos. Este estudo foi realizado com base em amostras de tecido coletadas em uma lavanderia industrial. Análises de microscopia revelaram que o processo atualmente utilizado pela empresa não é totalmente eficaz na eliminação do *pilling*. O estudo propõe soluções para otimizar o processo, incluindo ajustes nos parâmetros de aplicação da enzima, como pH, temperatura e concentração, além da avaliação de novas enzimas. Concluiu-se que a otimização do biopolimento pode resultar em tecidos com menor propensão ao *pilling* e melhor qualidade.

Palavras-chave: indústria têxtil; lavanderia industrial; biopolimento; enzimas; *pilling*.

1 INTRODUÇÃO

O fenômeno de *pilling* em materiais têxteis, caracterizado pela formação de aglomerados superficiais de fibras curtas e soltas, constitui um desafio significativo para a indústria têxtil (Gonçalves, 2022). Este problema compromete a estética e a durabilidade dos produtos, exercendo um impacto negativo na satisfação do consumidor. Entre as fibras naturais utilizadas no setor, o algodão destaca-se por suas propriedades de conforto e versatilidade. No entanto, sua estrutura fibrosa o torna particularmente suscetível ao *pilling*, depreciando o valor agregado dos artigos têxteis.

¹ Mestre em Eng. Química. Docente - UNIFEBE. E-mail: francisco@unifebe.edu.br

² Doutora em Eng. Química. Docente - UNIFEBE. E-mail: vivien.rossbach@unifebe.edu.br

³ Mestre em Eng. Química. Docente - UNIFEBE. eneias.maffezzolli@unifebe.edu.br

⁴ Doutora em Eng. de Produção. Docente - UNIFEBE. E-mail: junelene.pruner@unifebe.edu.br

⁵ Mestranda em Eng. Química. Docente - UNIFEBE. E-mail: elizabete.debatin@unifebe.edu.br

Nesse contexto, a investigação e a implementação de estratégias eficazes para mitigar o *pilling* em tecidos de algodão são uma área de pesquisa de considerável relevância científica e econômica. O biopolimento enzimático surge como uma alternativa tecnológica promissora, baseada na ação catalítica de enzimas celulases para a hidrólise controlada das microfibrilas superficiais das fibras celulósicas (Andreaus, 2001). Este processo apresenta-se como uma abordagem mais sustentável em relação aos métodos convencionais, visando melhorar o toque superficial dos tecidos e reduzir a propensão à formação de *pilling*.

O presente estudo tem como objetivo analisar o processo de biopolimento em uma lavanderia industrial, identificando as limitações de sua aplicação prática e propondo soluções baseadas em evidências científicas e técnicas para otimizar sua eficácia no tratamento do *pilling* em tecidos de algodão. A análise considera as etapas do processo produtivo, as dificuldades observadas e a avaliação da eficácia do biopolimento por meio de análises microscópicas, confrontando os resultados com a literatura especializada para desenvolver melhorias aplicáveis ao contexto industrial investigado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PILLING: DEFINIÇÃO E MECANISMO DE FORMAÇÃO

O pilling, um processo que compromete a estética têxtil, manifesta-se por meio da formação de aglomerados esféricos ou nódulos de fibras na superfície do tecido, conferindo-lhe uma aparência envelhecida e pouco atraente. Esse fenômeno é primariamente induzido pela fricção e pelos atritos constantes durante o manuseio e as etapas de lavagem, o que inevitavelmente leva à liberação de fibras curtas que compõem a tessitura do fio, as quais, ao se entrelaçarem, formam os característicos "bolinhos" ou pilosidades. A suscetibilidade e a intensidade do pilling são intrinsecamente influenciadas por uma variedade de elementos cruciais, abrangendo a natureza específica da fibra utilizada, o método de construção do tecido que define sua integridade estrutural, os tratamentos e acabamentos superficiais aplicados para modificar suas propriedades, e, crucialmente, as condições de uso diário e os procedimentos de manutenção adotados pelo consumidor, que podem exacerbar ou mitigar o problema. Em tecidos de algodão, por exemplo, a tendência inerente das fibras celulósicas a se desprenderem da matriz têxtil representa um fator significativo que aumenta a probabilidade de ocorrência do pilling, demandando cuidados específicos para preservar a qualidade do material (Gonçalves, 2022).

2.2 BIOPOLIMENTO ENZIMÁTICO: PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES

O biopolimento enzimático representa uma abordagem inovadora e refinada no acabamento têxtil, utilizando o poder catalítico de enzimas, notavelmente as celulases, para transformar a textura de tecidos compostos por fibras celulósicas, com destaque para o algodão. A ação precisa das celulases reside na hidrólise seletiva das ligações glicosídicas que estruturam as longas cadeias de celulose, orquestrando a remoção controlada e gradual das microfibrilas superficiais soltas e das extremidades de fibra diminutas que naturalmente se projetam da estrutura do fio, conferindo uma aspereza indesejada (Andreaus, 2001). Esse tratamento enzimático resulta em tecidos que exibem uma superfície notavelmente mais suave e homogênea ao toque e visualmente, o que, por sua vez, implica uma diminuição considerável na propensão inerente dessas fibras à formação do incômodo pilling, prolongando a vida útil e a estética das peças. Adicionalmente, o biopolimento é amplamente valorizado como uma opção de acabamento têxtil que se alinha com princípios de sustentabilidade ambiental, apresentando-se como uma alternativa ecologicamente consciente aos métodos químicos agressivos e aos processos mecânicos tradicionais, principalmente devido à sua operação eficiente em condições de temperatura e pH mais amenas, além do uso de enzimas, que são catalisadores biológicos intrinsecamente biodegradáveis e menos impactantes ao meio ambiente (Gonçalves, 2022).

2.3 CONTEXTO INDUSTRIAL

A imersão no ambiente operacional de uma lavanderia industrial revelou uma visão aplicada e valiosa do processo de biopolimento em tecidos de algodão, permitindo um contato direto com os desafios reais da indústria têxtil. A constatação das dificuldades enfrentadas pela empresa parceira durante a crucial etapa de biopolimento, especialmente no que tange à obtenção de resultados ótimos na eliminação das indesejáveis pilosidades, despertou um interesse investigativo na busca por soluções mais eficazes e inovadoras. As detalhadas observações realizadas *in loco* proporcionaram uma compreensão aprofundada de que o protocolo de biopolimento atualmente implementado não alcança uma eficácia plena na prevenção do pilling, suscitando importantes questionamentos sobre a necessidade de refinar os parâmetros operacionais do processo ou de explorar a integração de estratégias complementares para mitigar completamente esse problema recorrente na indústria têxtil.

2.4 ANÁLISE MICROSCÓPICA DE AMOSTRAS TÊXTEIS

As análises de microscopia conduzidas nas amostras de tecidos submetidos ao processo de biopolimento em uso evidenciaram a permanência de fibras superficiais não totalmente removidas. Essa constatação microscópica oferece uma explicação visual para a eficácia apenas parcial do método de biopolimento atualmente implementado na lavanderia industrial. A presença dessas fibras soltas na superfície do tecido é um indicativo direto de que o processo, embora exerça algum efeito, não consegue eliminar completamente as microfibrilas responsáveis pela formação do pilling.

Essas observações laboratoriais reforçam as dificuldades práticas previamente reportadas pela empresa em alcançar um controle verdadeiramente satisfatório sobre a ocorrência do pilling nos tecidos de algodão. A correlação entre a persistência de fibras superficiais observada por microscópico e a formação de "bolinhas" relatada pela lavanderia sugere fortemente a necessidade de uma revisão aprofundada do processo de biopolimento. Essa revisão pode envolver ajustes precisos nos parâmetros operacionais, como tempo de tratamento, concentração enzimática, pH e temperatura, ou até mesmo a consideração da incorporação de estratégias complementares para otimizar a remoção das fibras soltas e, conseqüentemente, minimizar de forma mais eficaz a formação do pilling.

2.5 ESTRATÉGIAS PARA OTIMIZAÇÃO DO BIOPOLIMENTO ENZIMÁTICO

A análise aprofundada da literatura científica existente e a consulta detalhada às fichas técnicas de diversos produtos enzimáticos disponíveis no mercado revelaram um leque de potenciais abordagens para aprimorar o processo de biopolimento atualmente empregado. O objetivo central dessa investigação foi identificar estratégias capazes de promover uma eliminação mais completa e eficiente das fibras superficiais soltas, precursoras do indesejável pilling nos tecidos de algodão processados pela lavanderia industrial.

Entre as diversas soluções promissoras que emergiram dessa revisão, algumas se destacaram pela sua potencial capacidade de otimizar o biopolimento. Uma delas reside na otimização precisa das condições de processo, o que envolve um ajuste criterioso de parâmetros cruciais como a concentração da enzima celulase utilizada, a duração do tratamento aplicado ao tecido, a temperatura ideal para a máxima atividade enzimática e a manutenção do pH adequado para a reação de hidrólise das ligações glicosídicas da celulose. Outra estratégia relevante envolve a seleção criteriosa de enzimas celulasas que apresentem uma maior especificidade e atividade direcionada às fibras de algodão, buscando uma ação enzimática mais eficiente e, ao mesmo tempo, precisamente controlada para evitar danos à estrutura do tecido.

Adicionalmente, a implementação de etapas de pré-tratamento nos tecidos antes da aplicação das enzimas celulases surge como uma tática interessante para facilitar o acesso das enzimas às microfibrilas superficiais, aumentando potencialmente a eficácia do biopolimento subsequente. Por fim, a adoção de métodos de monitoramento contínuo da atividade enzimática durante o processo e a avaliação objetiva do grau de pilling resultante podem fornecer dados valiosos para realizar ajustes em tempo real, garantindo uma maior consistência e eficácia na eliminação do pilling. A combinação estratégica e bem fundamentada dessas soluções, considerando tanto o conhecimento científico quanto as necessidades e particularidades da empresa, apresenta um caminho promissor para alcançar uma melhoria significativa na eficácia do processo de biopolimento e, conseqüentemente, na qualidade dos tecidos de algodão processados.

2.6 BENEFÍCIOS DA OTIMIZAÇÃO DO BIOPOLIMENTO

A adoção e a implementação de um processo de biopolimento otimizado e bem ajustado desencadeiam uma cascata de vantagens significativas que reverberam tanto na dinâmica operacional da indústria têxtil quanto na experiência e satisfação do consumidor final. No âmbito industrial, um biopolimento de alta eficácia se traduz diretamente na produção de tecidos que exibem uma notável resistência à formação do pilling, elevando o valor intrínseco do produto acabado e, conseqüentemente, minimizando o volume de reclamações de clientes e as perdas financeiras associadas a produtos defeituosos. Além disso, o processo de biopolimento pode conferir aos tecidos de algodão um toque substancialmente mais macio e agradável, com um acabamento superficial mais liso e um brilho sutil que aprimora a estética do material. Para o consumidor, esses aprimoramentos se materializam em roupas e outros artigos têxteis que demonstram uma maior durabilidade ao longo do tempo, mantendo uma aparência impecável por um período consideravelmente mais extenso e proporcionando uma sensação mais confortável e suave em contato com a pele. Vale ressaltar que a incorporação de tecnologias inovadoras como o biopolimento também se harmoniza com a crescente e urgente demanda global por práticas e processos produtivos que incorporem princípios de sustentabilidade ambiental na indústria têxtil, agregando um valor adicional à marca e aos produtos.

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 ANÁLISE MICROSCÓPICA

A análise microscópica das amostras de tecido de algodão desempenhou um papel fundamental na investigação detalhada do fenômeno de pilling em diversas fases do processamento têxtil, com os resultados apresentados na Figura 1.

No exame dos tecidos em seu estado bruto, ou seja, crus, observou-se uma quantidade considerável de pilling sob uma magnificação de 10x (Fig. 1-a). Essa constatação evidencia a inerente suscetibilidade do algodão não processado ao desenvolvimento de pilosidades, um aspecto intrínseco à sua estrutura fibrosa.

Ao analisar a amostra pré-alvejada (Fig. 1-b), notou-se uma leve diminuição na presença de pilling após a etapa de clareamento. Esse achado sugere que o processo de alveamento exerce um efeito mitigador inicial sobre a formação de pilling; contudo, é importante ressaltar que o pilling não foi completamente eliminado nessa fase.

O tecido que passou pelo tingimento com pigmento laranja (Fig. 1-c) apresentou uma quantidade reduzida de pilling em comparação com a amostra pré-alvejada. Essa diferença pode ser atribuída, em parte, à uniformidade da coloração, que potencialmente facilitou a visualização e a quantificação mais precisa das pilosidades presentes na superfície do tecido.

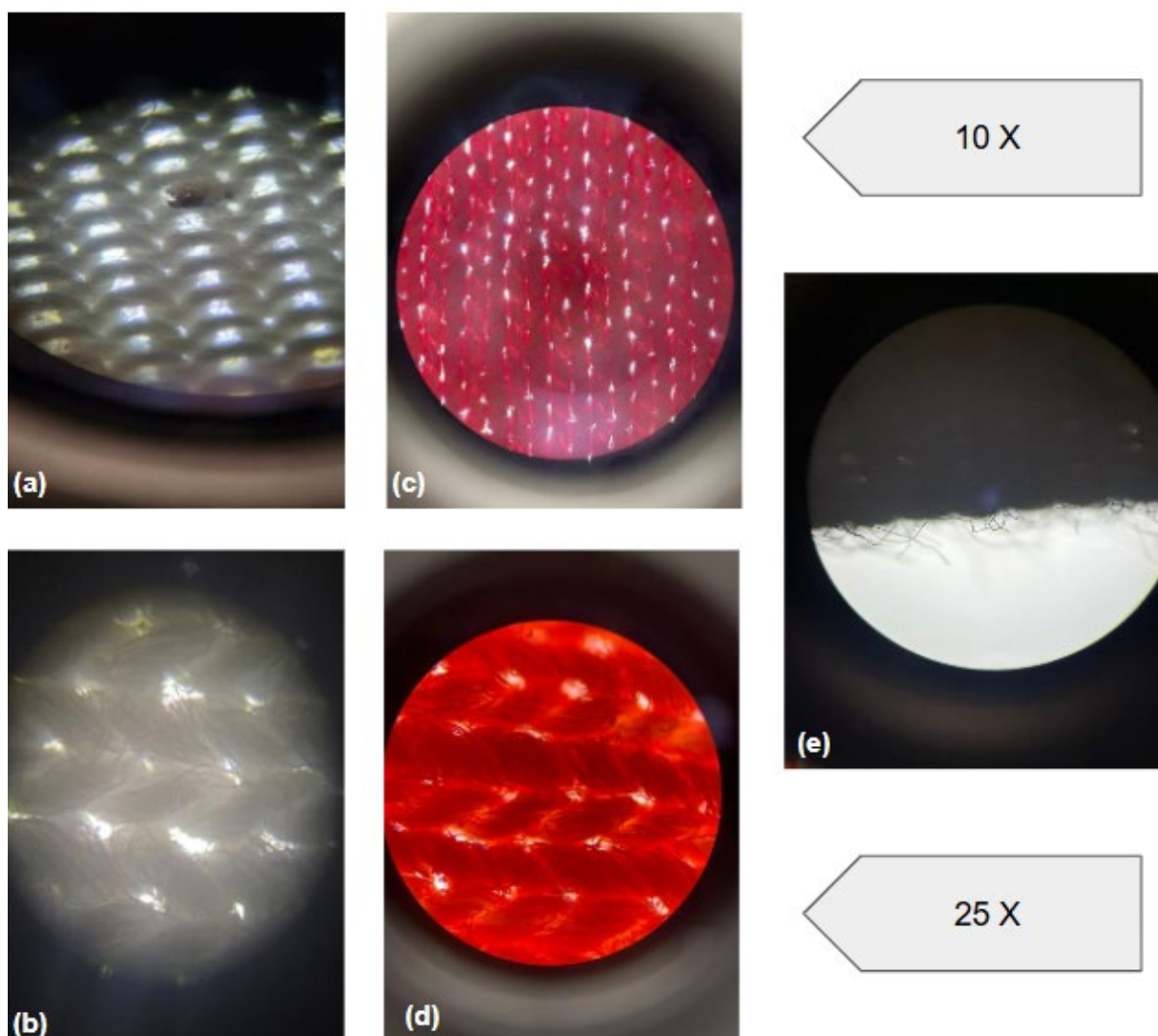
O aumento da magnificação para 25x (Fig. 1-b e 1-d) proporcionou uma visualização mais clara e detalhada do pilling, revelando a presença de fibras emaranhadas tanto no tecido pré-alvejado quanto no tecido cru dobrado (Fig. 1-e).

A análise comparativa entre as amostras revelou que o tecido cru exibia fibras mais densamente emaranhadas, contribuindo para a maior propensão ao pilling observada nesse estágio. Em contrapartida, o processo de alveamento parece induzir um afrouxamento da estrutura fibrosa, explicando possivelmente a discreta redução no *pilling* observada na amostra pré-alvejada. No tecido tingido, a uniformidade da cor permitiu identificar que, apesar da menor quantidade, o *pilling* remanescente se tornava mais perceptível, podendo influenciar a intensidade da coloração.

Essas observações microscópicas evidenciam a complexa interação entre o entrelaçamento das fibras, os diversos processos de beneficiamento têxtil e a tendência à formação de *pilling*. Nesse contexto, a eficácia do biopolimento enzimático na remoção ou prevenção do *pilling* assume um papel crucial na determinação da qualidade final do tecido.

Os resultados obtidos sugerem que o processo de biopolimento atualmente empregado na lavanderia industrial analisada promove uma redução do *pilling*, mas não o elimina por completo. Portanto, a otimização desse processo emerge como uma estratégia promissora para aprimorar a qualidade dos tecidos de algodão, com foco na minimização efetiva da formação de *pilling*.

Figura 1 - Imagens das amostras de tecido no microscópio: (a) malha crua; (b) malha pré-alvejada; (c) malha tinta; (d) malha sem biopolimento; (e) *pilling* em malha crua.



3.2 PROPOSIÇÃO DE UM PROCESSO DE TINGIMENTO E BIOPOLIMENTO MODIFICADO

As análises microscópicas conduzidas nas instalações laboratoriais da UNIFEBE forneceram evidências que corroboram a hipótese inicial de que o processo de biopolimento atualmente empregado na empresa em questão demonstra uma eficácia limitada na resolução completa do problema de *pilling*. Diante dessa constatação, o presente estudo direcionou seus esforços para a investigação aprofundada de potenciais soluções, visando mitigar esse desafio persistente.

Um dos parâmetros críticos que se destaca como passível de otimização é a concentração enzimática. A literatura especializada, conforme apontado por Miettinen-Oinonen (1997), sugere uma faixa de dosagem que varia de 0,05% a 6% de enzima em relação à massa do substrato têxtil. Essa faixa é ajustável em função do efeito desejado, das características específicas do processo em questão e da

atividade enzimática da enzima utilizada. Estudos comparativos que avaliaram diferentes formulações de celulases, incluindo uma celulase ácida comercial, uma celulase ácida multicomponente e uma endoglucanase ácida monocomponente, em tecido de algodão "interlock", demonstraram claramente a influência significativa da seletividade enzimática, da relação de banho empregada e da agitação mecânica aplicada na eficácia global do processo de biopolimento. A seleção criteriosa da enzima, considerando sua seletividade tanto em relação ao equipamento utilizado quanto ao tipo de fibra que está sendo processada, emerge como um fator determinante para a obtenção de um acabamento enzimático otimizado e de alta qualidade (Lin; Hsieh, 2001).

Adicionalmente, a determinação precisa da concentração proteica presente no complexo enzimático assume um papel de relevância na correta interpretação dos resultados obtidos nas análises de atividade enzimática específica (Perfeto, 2012). É importante ressaltar que a concentração proteica total encontrada em celulases comerciais nem sempre apresenta uma correlação direta com a atividade celulásica, o que se deve à presença de proteínas não celulásicas ou desnaturadas no complexo enzimático.

A estratégia central delineada para o aprimoramento do processo de biopolimento na empresa em foco baseou-se em um ajuste cuidadoso e preciso dos parâmetros de pH, temperatura, tempo de contato e concentração enzimática. Esse ajuste foi realizado em estrita consonância com as recomendações da literatura especializada e as especificações técnicas detalhadas do produto Biokey 48. A enzima Biokey 48, um composto enzimático formulado com celulases selecionadas, foi avaliada como uma alternativa promissora para o biopolimento em uma ampla faixa de pH, demonstrando sua aplicabilidade especialmente em artigos finos de algodão e suas misturas. Suas propriedades físico-químicas, que incluem sua forma líquida levemente amarelada, pH entre 4,0 e 6,0, solubilidade em água e caráter aniônico, mostram-se compatíveis com as exigências encontradas em processos industriais.

A aplicação otimizada da enzima Biokey 48 requer a adesão rigorosa aos parâmetros especificados pelo fabricante, considerando a influência de fatores, como pH, temperatura, tempo de contato e a quantidade de fibrilas presentes no tecido a ser tratado. Recomenda-se o monitoramento cuidadoso das variações físicas observadas no tecido durante o processo, para realizar ajustes precisos na dosagem enzimática, evitando tanto a insuficiência quanto o excesso de enzima. Em lavanderias industriais, a maior agressividade física característica do processo pode favorecer a quebra das fibrilas e, conseqüentemente, permitir a utilização de tempos de contato enzimático menores em comparação com tinturarias. As recomendações do fornecedor para a enzima Biokey 48 incluem uma dosagem na faixa de 0,3% a

0,5%, tempo de contato de 15 a 30 minutos, temperatura entre 50 °C e 60 °C e pH entre 5,0 e 7,0. O armazenamento adequado da enzima, em recipientes fechados, protegidos da luz solar e em temperatura controlada, é crucial para a manutenção de sua estabilidade por até 6 meses.

A enzima EZ 9012, fornecida pela empresa Hanier Especialidades Químicas, representa outra alternativa viável para o biopolimento de artigos celulósicos. Sua aplicação tem como objetivo principal a remoção eficaz de fibrilas superficiais e a prevenção da formação de *pilling*. A eficácia desta enzima é influenciada por uma variedade de fatores, incluindo a composição, construção e densidade do tecido, o tempo de tratamento empregado, o pH e a temperatura do banho, a relação de banho utilizada, a ação mecânica do equipamento e a presença de outros produtos químicos no processo. O fornecedor enfatiza a importância crítica do controle preciso do pH, da temperatura e da relação de banho, recomendando uma relação de banho máxima de 1:8 para otimizar a eficiência da enzima EZ 9012 em lavanderias industriais. A dosagem recomendada para processos descontínuos (esgotamento) em fibra de algodão varia de 1% a 2%. O protocolo de aplicação sugerido pelo fornecedor envolve o ajuste do pH do banho para a faixa entre 4 e 5,5, a dosagem da enzima, o aquecimento do banho a 55 °C e a manutenção destas condições por um período de 30 a 60 minutos. A inativação da enzima é realizada elevando-se o pH para 9 com a adição de barrilha e aquecendo o banho a 75 °C por 10 minutos. Após a conclusão do biopolimento, o tecido deve ser lavado antes de prosseguir para as etapas subsequentes do processo.

3. 3 RELAÇÃO ENTRE O PROCESSO ATUAL E AS FICHAS TÉCNICAS

A Tabela 1 apresenta uma comparação sistemática entre os parâmetros do processo de biopolimento atualmente empregado na empresa e as recomendações dos fornecedores das enzimas Biokey 48 e EZ 9012 para otimizar a eficácia do tratamento. Os dados compilados na tabela foram extraídos das fichas técnicas de cada produto, as quais refletem os resultados de testes e definições estabelecidas pelos fabricantes em seus laboratórios.

Tabela 1 - Características das enzimas para biopolimento: atual e sugerida

Enzima - características	Biokey 48 - atual	Biokey 48 - ficha técnica	EZ 9012
Fornecedor	Akmey	Akmey	Hanier
pH de aplicação	Não é citado	5,0 a 7,0	4,5 a 5,0
Tempo de contato	13 minutos	15 a 30 minutos	30 a 60 minutos
Temperatura ideal de aplicação	65°C	50°C a 60°C	55°C

Tipo de enzima	Celulase	Celulase	Celulase
Dosagem	0,35%	0,3% a 0,5%	1,0% a 2,0%
Relação de banho	1/8	Não é citado	1/8
Desativação	Não é citado	Aumento temperatura ou pH	pH 9,0 a 75°C

Fonte: Processo de biopolimento atual e ficha técnica das enzimas EZ 9012 e Biokey 48.

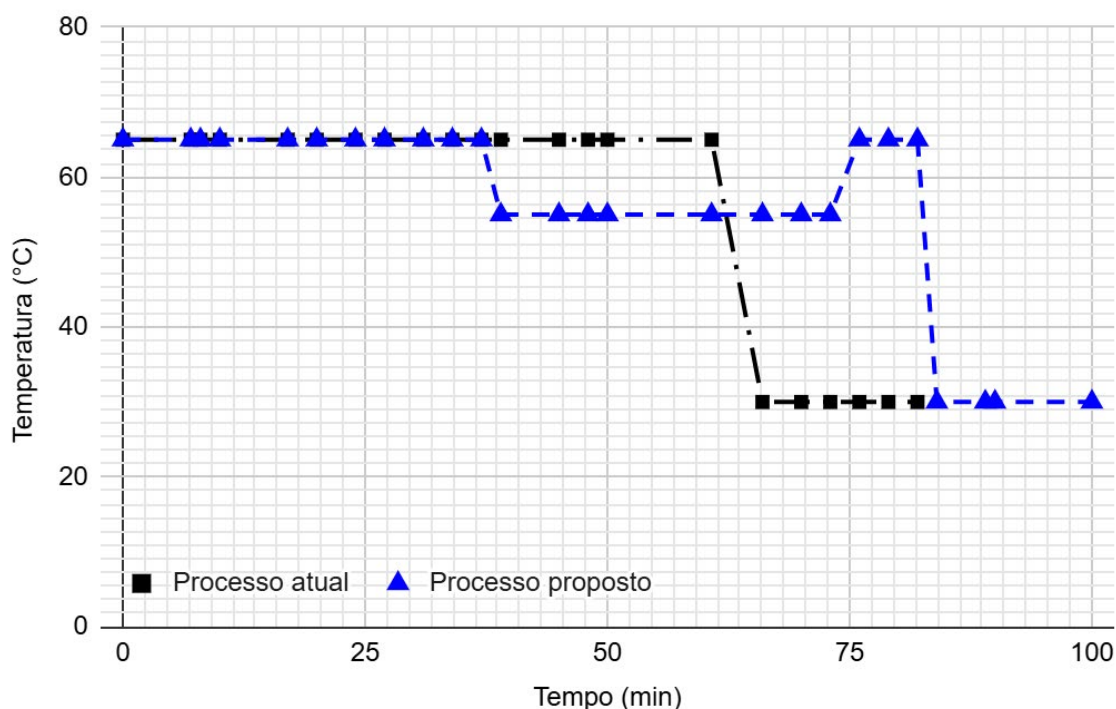
A comparação entre o processo atual e as recomendações dos fornecedores revela discrepâncias significativas em parâmetros críticos que afetam a eficácia do biopolimento. Por exemplo, o processo atual carece de controle de pH, o que pode comprometer a atividade enzimática das celulases, que atuam em faixas de pH ótimas (5,0 a 7,0 para Biokey 48 e 4,5 a 5,0 para EZ 9012).

Da mesma forma, a temperatura inadequada pode desnaturar a enzima (50 °C a 60 °C para Biokey 48 e 55 °C para EZ 9012), e o tempo de contato insuficiente (15 a 30 minutos para Biokey 48 e 30 a 60 minutos para EZ 9012) resulta em remoção incompleta das fibrilas. Além disso, a dosagem incorreta (0,3% a 0,5% para Biokey 48 e 1,0% a 2,0% para EZ 9012) leva ao desperdício ou ineficácia da enzima, e a relação de banho inadequada (1:8 para EZ 9012) prejudica a interação enzima-substrato.

Por fim, métodos de desativação inadequados podem deixar resíduos de enzima ativa, danificando o tecido. A Tabela 1 reforça a necessidade de alinhar o processo atual com as melhores práticas dos fornecedores para otimizar o biopolimento. Dessa forma, o controle adequado de pH, temperatura, tempo de contato, dosagem, relação de banho e desativação da enzima é essencial para a eficácia, qualidade e eficiência econômica do processo.

A Figura 2 ilustra, por meio de gráficos de temperatura em função do tempo, a sequência de etapas do processo de tingimento e biopolimento, tanto na metodologia atual quanto na proposta de otimização. O gráfico do processo atual (representado pela linha com marcadores quadrados pretos) exibe uma temperatura relativamente constante ao longo do tempo, com variações abruptas em momentos específicos do processo. Em contraste, o gráfico do processo proposto (representado pela linha com marcadores triangulares azuis) demonstra uma variação mais controlada e gradual da temperatura, especialmente na etapa de biopolimento, onde se observam patamares e transições de temperatura mais definidos e ajustados.

Figura 2 - Comparação entre o processo de biopolimento atual e o processo proposto.



A comparação visual fornecida pela Figura 2 destaca as diferenças cruciais entre o processo de biopolimento atual e a abordagem otimizada. Enquanto o processo atual opera com uma temperatura mais constante, o que pode levar a ineficiências e menor controle sobre a atividade enzimática, o processo proposto introduz uma dinâmica de temperatura mais refinada. As variações de temperatura controladas no processo otimizado refletem a preocupação em ajustar precisamente as condições para a ação enzimática ideal, como recomendado pelas especificações técnicas das enzimas e pela literatura especializada. Essa modulação da temperatura, juntamente com o controle de outros parâmetros, como pH e concentração enzimática, tem o potencial de aumentar significativamente a eficácia do biopolimento, resultando em tecidos com qualidade superior e menor propensão ao *pilling*.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise abrangente realizada nesta pesquisa lança luz sobre a importância crítica da aplicação precisa e otimizada de enzimas nos processos de biopolimento, especialmente quando o foco reside na mitigação eficaz do fenômeno de *pilling* em tecidos, um desafio persistente na indústria têxtil. As observações meticolosas e os resultados robustos obtidos por meio das análises microscópicas conduzidas ao longo deste estudo fornecem evidências empíricas que confirmam uma realidade complexa: o processo de biopolimento atualmente empregado na lavanderia

industrial parceira, embora demonstre uma capacidade inegável de promover uma redução perceptível na ocorrência de *pilling*, não atinge a desejável marca da eliminação completa desse problema.

Essa constatação, por si só, ressalta a necessidade premente de um escrutínio aprofundado e de um refinamento estratégico das metodologias existentes, buscando alavancar o potencial máximo do biopolimento enzimático. Nesse contexto, a comparação direta e sistemática entre o protocolo de biopolimento em prática e as recomendações técnicas detalhadas fornecidas pelos fabricantes das enzimas (especificamente Biokey 48 e EZ 9012) revela discrepâncias notáveis em uma série de parâmetros cruciais que governam a eficácia do processo.

Parâmetros como o pH da solução, a temperatura de aplicação das enzimas, o tempo de contato entre a enzima e o tecido, e a dosagem precisa da enzima são identificados como fatores de influência crítica que demandam uma atenção especial. A otimização cuidadosa desses parâmetros, guiada pelas evidências científicas e pelas especificações técnicas dos fornecedores, emerge como uma estratégia promissora para aprimorar consideravelmente a eficácia do biopolimento e, por conseguinte, elevar a qualidade final dos tecidos tratados.

As melhorias propostas neste estudo, que abrangem desde o ajuste fino dos parâmetros do processo até a criteriosa avaliação de enzimas alternativas com perfis de ação otimizados e a implementação de sistemas robustos de monitoramento e controle contínuo, representam um esforço concentrado para alinhar o protocolo de biopolimento da empresa com as melhores práticas estabelecidas pela indústria têxtil global. A Figura 2 do estudo serve como uma representação visual poderosa desse conceito, ilustrando claramente o potencial de um processo de biopolimento otimizado para gerar resultados superiores.

No entanto, é crucial enfatizar que a transição do conhecimento teórico para a aplicação prática requer uma etapa fundamental de validação. Recomenda-se fortemente a realização de testes práticos e abrangentes nas instalações da empresa, para verificar empiricamente a eficácia das otimizações propostas e determinar a combinação estratégica de abordagens que se mostre mais adequada para atender às necessidades e aos desafios específicos enfrentados pela organização.

A busca incessante pela excelência deve ser o princípio norteador nesse processo, visando não apenas aprimorar a qualidade dos produtos têxteis, mas também fortalecer a posição competitiva da empresa no exigente mercado consumidor. Ao investir em inovação e otimização contínua, a indústria têxtil pode superar os desafios impostos pelo *pilling* e entregar produtos de valor superior aos consumidores.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio da Lavanderia Têxtil Multilave no desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ANDREAUS, J. A aplicação de celulase em processos de desbotamento. **Revista Química Têxtil**, n° 64, 2001. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/30306/1/Aplica%C3%A7%C3%B5esEnzimasInd%C3%BAstria.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2025.
- FERREIRA, F. C. S. **Avaliação dos efeitos da aplicação da enzima celulase nas propriedades de substratos têxteis de algodão**. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Florianópolis, 2012. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFSC_c4b054a547268f17925da9a04f1cd9b4. Acesso em: 21 mar. 2025.
- FERREIRA, F. C. S. **Avaliação dos efeitos da aplicação da enzima celulase nas propriedades de substratos têxteis de algodão**. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2012. Disponível em: Avaliação dos efeitos da aplicação da enzima celulase nas propriedades de substratos têxteis de algodão (ufsc.br). Acesso em: 7 out. 2025.
- GONÇALVES, Ana Sofia da Silva. **Estudo de defeitos na indústria têxtil**. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Têxtil, Universidade do Minho, 2022. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/83758/1/Ana%20Sofia%20da%20Silva%20Goncalves.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2025.
- LIN, C. H.; HSIEH, Y. L. Direct scouring of greige cotton fabrics with proteases. **Textile Research Journal**, v. 71, n. 5, p. 425-434, 2001.
- MARROQUES, Julia Cruz *et al.* **Aplicação de enzimas na indústria têxtil**. 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/30306/1/Aplica%C3%A7%C3%B5esEnzimasInd%C3%BAstria.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2025.
- MIETTINEN-OINONEN, A. S. K.; ELOVAINIO, M. J.; SUOMINEN, P. L. **Cellulase composition for biofinishing cellulose-containing textile materials**. Patente Americana 5858767, 1997.
- MONTEIRO, Valdirene Neves; DO NASCIMENTO SILVA, Roberto. Aplicações industriais da biotecnologia enzimática. **Revista Processos Químicos**, v. 3, n. 5, p. 9-23, 2009.
- PERFETO, M. W. **Avaliação do efeito da inibição da celulase no biopolimento de substrato de algodão**. 2012. 96 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/31336/1/avaliacaobiopolimentotecidadenim.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2025.
- SILVA, Daniele Cardoso da. **Avaliação da eficácia do tratamento enzimático de biopolimento de tecido denim**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Paraná, 2021. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/31336>. Acesso em: 21 mar. 2025.
- SILVA, Daniele Cardoso da. **Avaliação da eficácia do tratamento enzimático de biopolimento de tecido denim**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/31336>. Acesso em: 21 mar. 2025.

NOVAS SIMULAÇÕES DE ESTABILIDADE DE TALUDE A PARTIR DE ESTUDO GEOTÉCNICO PREEXISTENTE EM GASPAR - SC

NEW SLOPE STABILITY SIMULATIONS BASED ON PRE-EXISTING GEOTECHNICAL STUDY IN GASPAR - SC

Celso da Silva Mafra Junior ¹

Vitor Hugo Schlindwein ²

Alexandre Maines³

RESUMO: Deslizamentos de terra são um dos principais tipos de desastres naturais e causam danos ambientais e sociais à população próxima dessas áreas. Geralmente ocasionados pela inadequada ocupação dessas encostas, e em muitos casos, a execução desses taludes não considera estudos e ensaios técnicos para a verificação dessa estabilidade. O município de Gaspar-SC apresenta um longo histórico de deslizamentos de terra, principalmente em épocas do ano em que há grande acúmulo de chuvas contínuas. O objetivo foi realizar novas simulações de estabilidade de talude com base em um estudo geotécnico preexistente, situado no imóvel onde se planeja executar um loteamento residencial. Foi inserido o nível d'água nas simulações já realizadas no estudo preexistente, para análise e comparação dos valores obtidos, e estudada uma nova simulação com a geometria recomendada na bibliografia. Como resultado, as simulações evidenciam boa sensibilidade em relação à presença do nível d'água, reduzindo o valor do fator de segurança. Além disso, foi possível verificar a instabilidade que o talude pode apresentar, apenas seguindo os parâmetros recomendados pela bibliografia.

Palavras-chave: deslizamentos de terra; simulações; estabilidade de talude.

ABSTRACT: *Landslides are one of the primary types of natural disasters, causing significant environmental and social damage to populations living in these areas. Improper use or development of slopes typically causes them. In many cases, the construction of these slopes does not take into account studies and technical tests to verify their stability. The municipality of Gaspar, SC, has a long history of landslides, particularly during periods of heavy and continuous rainfall. The aim was to conduct new simulations of slope stability based on an existing geotechnical study for the property designated for a residential subdivision. We inserted the water level into the simulations already performed in the pre-existing research for analysis and comparison of the values obtained and studied a new simulation with the geometry recommended in the bibliography. The simulations demonstrated a notable sensitivity to the presence of the water level, resulting in a decrease in the safety factor. Furthermore, it was possible to confirm the potential instability of the drop by adhering to the parameters outlined in the bibliography. In addition, it was possible to verify the instability that the slope may present simply by following the parameters recommended in the bibliography.*

¹ Mestre em Geotecnia. UNIFEBE. E-mail: celso.mafra@unifebe.edu.br

² Engenheiro Civil. UNIFEBE. E-mail: vitor.schlindwein@unifebe.edu.br

³ Doutor. UNIFEBE. E-mail: alexandre.maines@unifebe.edu.br

Keywords: *landslides; simulations; slope stability.*

1 INTRODUÇÃO

O município de Gaspar localiza-se no estado de Santa Catarina, sendo uma das cidades que compõem a mesorregião do Vale do Itajaí, na qual possui grande existência de taludes naturais. Apresenta um longo histórico de deslizamentos de terra, principalmente em épocas do ano em que há grande acúmulo de chuvas contínuas.

Esses deslizamentos de terra são geralmente ocasionados pela inadequada ocupação dessas encostas e, em muitos casos, a execução desses taludes não considera estudos e ensaios técnicos para a verificação dessa estabilidade, colocando as pessoas que residem próximas em risco.

Nesse contexto, durante este trabalho, verifica-se, por meio de simulações no software MacStars 2000, o estudo dos fatores de segurança resultantes, referente à resistência do solo definido no estudo preexistente, considerando taludes com diferentes características estabelecidas.

Para tanto, o objetivo geral é realizar simulações de estabilidade de talude com base em um estudo geotécnico preexistente, situado no imóvel onde se planeja executar um loteamento residencial. Dessa forma, é preciso que elas estejam localizadas em uma área segura, sem riscos de deslizamento.

Quanto aos objetivos específicos, foram delimitados como: (i) estudar os dados apresentados no estudo geotécnico preexistente; (ii) propor novos estudos de estabilidade do talude; (iii) simular em software as novas propostas; e, (iv) analisar criticamente os resultados obtidos.

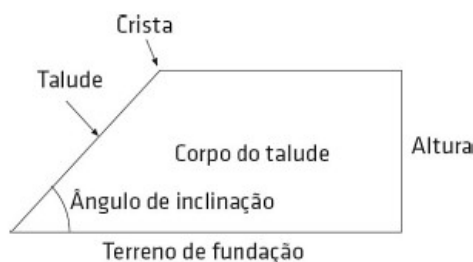
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ESTABILIDADE DE TALUDES

Segundo Gerscovich (2016), talude é o nome que se dá a qualquer superfície inclinada de um maciço de solo ou rocha. Quando construído pelo homem, são chamados de aterros e cortes, ou sendo natural é denominada como encosta. A altura e inclinação adequadas devem ser respeitadas durante a execução dos cortes ou aterros, seguindo conforme proposto em projeto para garantir a estabilidade da obra. Já na elaboração do projeto, depende-se das propriedades geomecânicas dos materiais e das condições de fluxo.

Com o mesmo raciocínio, Fiori (2015) afirma que qualquer superfície inclinada que limita um maciço de terra, de rocha ou de ambos é considerada talude. Pode ser natural, na qual se definem as encostas ou vertentes, ou artificial, quando construído pelo homem, sendo os cortes e aterros. Na Figura 1 é possível verificar a terminologia normalmente utilizada para taludes.

Figura 1 - Terminologia normalmente utilizada para taludes



Fonte: Fiori (2015).

Na teoria, um talude se apresenta como uma massa de solo submetida a três campos de força distintos: forças devidas ao peso dos materiais, forças devidas ao escoamento da água e forças devidas à resistência ao cisalhamento. Deve-se levar em conta o equilíbrio entre essas forças para o estudo da estabilidade de taludes, uma vez que as duas primeiras se somam e tendem a movimentar a massa de solo encosta abaixo, enquanto a última atua como um freio a essa movimentação. Além disso, para se projetar corretamente as medidas preventivas a escorregamentos, é muito importante compreender o mecanismo de atuação de cada força (Fiori, 2015).

Conforme a NBR 11.682 (ABNT, 1991), o talude para ser estável não pode apresentar trincas, sulcos, erosão, cicatrizes, abatimentos, surgências anormais de água, rastejo, ranhuras em obras locais, por serem considerados sintomas de instabilidade. A resistência ao cisalhamento, sendo a função do atrito e coesão do material, é de fundamental importância para manter a estabilidade de um talude em solo. Estando sua estrutura intimamente ligada ao histórico de tensões sofridas: erosão, tectonismo, intemperismo etc.

Deslizamento de encosta é o movimento de massa em declive de vários tipos de solo, rocha ou detritos sobre terrenos inclinados devido à gravidade. Muitas vezes podem ser observados onde as atividades humanas alteraram as características naturais do terreno, modificando as condições de equilíbrio existentes em um determinado momento e local, ou gerando novas formas em encostas cuja geometria é menos estável do que as condições originais. Portanto, deslizamentos de terra podem afetar não apenas encostas naturais, mas também encostas artificiais (Vedovello; Macedo, 2007).

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (2010), a inclinação do talude é determinada na elaboração do projeto, antes de o início do serviço. Nos cortes, o talude é resultante da escavação realizadas em terreno natural. Já nos aterros, a colocação dos materiais, provenientes dos cortes e/ou empréstimos, em camadas sucessivas compactadas, obtêm-se os taludes. A natureza do solo, e a altura destes, determina a inclinação tanto nos cortes como nos aterros. Tendo-se sempre presente que cada tipo de solo merece um estudo específico. DNIT (2010) ainda recomenda para os cortes, um talude máximo de 1:1 (V:H) e, para os aterros compactados, a inclinação máxima de 2:3 (V:H).

A NBR 11.682 (ABNT, 2009) apresenta uma tabela onde demonstra fatores de segurança mínimos para deslizamentos, para cada finalidade proposta que envolva o talude, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Fatores de segurança mínimo para deslizamento

Nível de segurança contra danos materiais e ambientais	Nível de segurança contra danos a vidas humanas: Alto	Nível de segurança contra danos a vidas humanas: Médio	Nível de segurança contra danos a vidas humanas: Baixo
Alto	1,5	1,5	1,4
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

Fonte: Adaptado de NBR 11.682 (ABNT, 2009).

2.2 RESISTÊNCIA DE CISALHAMENTO DO SOLO

Os solos podem resistir a esforços cisalhantes devido à resistência no contato entre grãos, e pela interferência que o arranjo estrutural impõe quando se promove um deslocamento relativo entre partículas. Assim, a resistência ao cisalhamento dos solos é função de duas componentes: resistência entre partículas e imbricamento. A resistência entre partículas depende do atrito entre grãos e da existência ou não de ligações físico-químicas entre partículas, a coesão. Por sua vez, a resistência adicional causada pelas diferenças nos arranjos entre partículas, refere-se ao imbricamento (Gerscovich, 2016).

Segundo Vargas (1977), todo problema de ruptura em mecânica dos solos pode acontecer devido à tensão cisalhante atingir o valor limite da resistência ao cisalhamento.

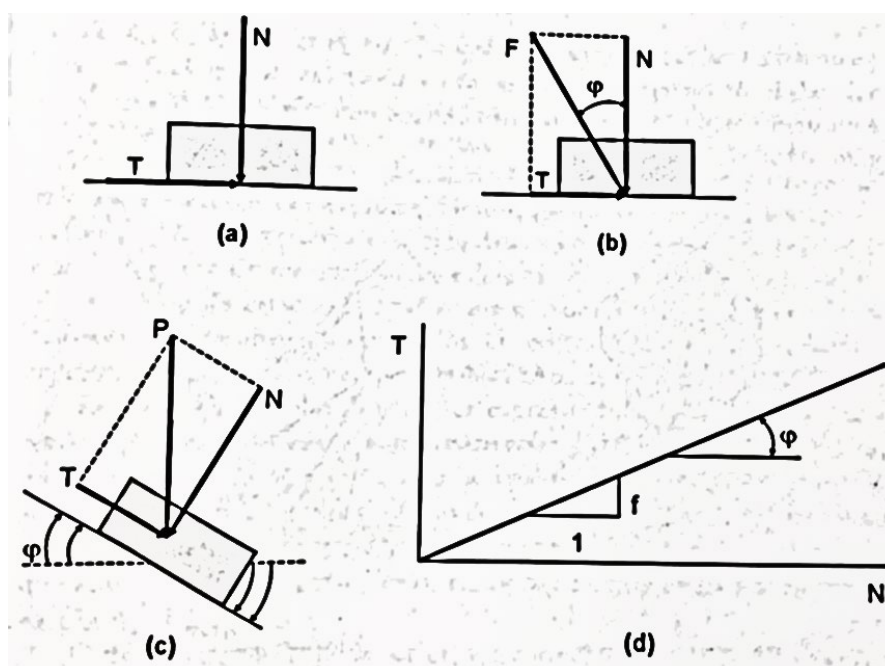
O cisalhamento é quase sempre um fenômeno que ocorre da ruptura dos solos. A máxima tensão de cisalhamento que o solo pode suportar sem sofrer ruptura, ou a tensão de cisalhamento do solo no plano em que a ruptura estiver ocorrendo é denominada de resistência ao cisalhamento (Pinto, 2006).

O atrito e a coesão são as principais propriedades dos materiais ligadas à discussão de problemas de estabilidade e resistência dos solos, que também estão ligadas à resistência ao cisalhamento (Guidicini; Nieble, 1983).

2.2.1 Atrito

De acordo com Pinto (2006), atrito é a resistência entre partículas que estão em contato. A resistência devido ao atrito pode ser estudada como um problema de deslizamento de um corpo sobre uma superfície plana horizontal, de acordo com a Figura 2 (a).

Figura 2 - Esquemas do atrito entre dois corpos



Fonte: Pinto (2006).

Segundo Pinto (2006) a força horizontal necessária para fazer o corpo deslizar deve ser maior que $f * N$. Existe proporcionalidade entre a força tangencial e a força normal. Essa relação também se escreve da seguinte forma: $T = N * tg\varphi$, onde:

N – Força vertical transmitida pelo corpo;

T – Força horizontal;

f – Coeficiente de atrito entre os dois materiais;

φ – Ângulo de atrito, o ângulo formado pela resultante das duas forças com a força normal.

Atingindo o ângulo de atrito, a componente tangencial é maior do que a resistência ao deslizamento, que depende da componente normal, e o ângulo de atrito é o ângulo máximo que a força transmitida pelo corpo à superfície pode fazer com a normal ao plano de contato sem que ocorra deslizamento (Pinto, 2006). Conforme se mostra na Figura 2 (b).

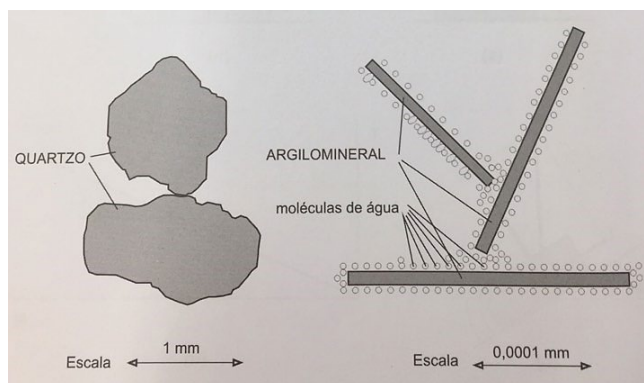
A inclinação do plano de contato também pode ser a causa do deslizamento, que altera os componentes normal e tangencial ao plano do peso próprio, atingindo na situação-limite, a relação expressa pela equação $T = N * tg\phi$ (Pinto, 2006). De acordo com a Figura 2 (c).

Experiências realizadas com corpos sólidos definem que o coeficiente de atrito independe da área de contato e da força normal aplicada. A resistência ao deslizamento é diretamente proporcional à tensão normal e pode ser representada por uma linha reta (Pinto, 2006). Conforme mostra a Figura 2 (d).

2.2.2 Coesão

Segundo Pinto (2006), o atrito entre as partículas está ligado especialmente à resistência ao cisalhamento dos solos. No entanto atrações químicas entre as partículas podem resultar em uma resistência independente da tensão normal atuante no plano, e constitui uma coesão real. Como se uma cola estivesse sido aplicada entre os dois corpos ilustrados na Figura 3.

Figura 3 - Transmissão de forças entre partículas



Fonte: Pinto (2006).

De acordo com Vargas (1977), a coesão é a resistência que a fração argilosa empresta ao solo, pelo qual ele se torna capaz de se manter coeso em forma de torrões ou blocos. Os solos que têm essa propriedade, chamam-se coesivos. Já os solos não coesivos são as areias puras e pedregulhos, esfrelam-se facilmente ao serem cortados ou escavados.

A parcela de coesão em solos sedimentares é relativamente pequena se relacionada à resistência por causa do atrito entre os grãos. Encontram-se solos naturalmente cimentados por diversos agentes, entres os quais solos evoluídos pedologicamente, que apresentam parcelas de coesão real de significativos valores (Pinto, 2006).

Outra analogia de acordo com Caputo (1988) é que a coesão se distingue em coesão aparente e coesão real, a primeira, resulta da pressão capilar da água contida no solo, e comporta-se como se fosse uma pressão externa, já a segunda, é devido às forças eletroquímicas de atração das partículas de argila.

2.2.3 Critérios de ruptura

Critérios de ruptura são formulações que buscam refletir as circunstâncias em que resulta na ruptura dos materiais. Existem critérios que determinam máximas tensões de compressão, tração ou cisalhamento. Um critério é satisfatório à medida que resulta no comportamento do material em questão (Pinto, 2006).

O estudo da resistência ao cisalhamento dos solos é a análise estado de tensões que provoca a ruptura (Pinto, 2006). Segundo o autor, os critérios que representam o comportamento dos solos da melhor forma são os de Coulomb e de Mohr.

Segundo Pinto (2006), o critério de Coulomb pode ser expresso da seguinte forma: não pode ocorrer ruptura se a tensão de cisalhamento não exceder um valor que é resultado da expressão $c + f \cdot \sigma$. Esses parâmetros estão representados na Figura 4 (a), sendo:

c – Coesão;

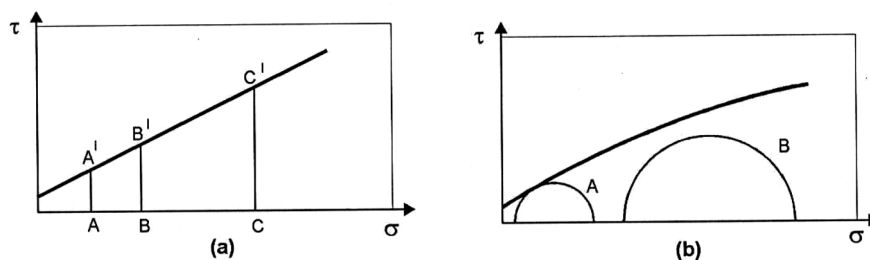
f – Coeficiente de atrito interno;

σ - Tensão normal existente no plano de cisalhamento.

Já o critério de Mohr pode ser expresso como: não ocorrerá ruptura sempre que o círculo representativo do estado de tensões estiver no interior de uma curva, que é a envoltória dos círculos relativos a estados de ruptura, observados experimentalmente para o material (Pinto, 2006).

A Figura 4 (b) representa a envoltória de Mohr, e o círculo A representa a tangente, indicando um estado de tensão na ruptura e o círculo B retrata um estado de tensão em que não há ruptura (Pinto, 2006).

Figura 4 - Representação dos critérios de ruptura, sendo (a) de Coulomb e (b) de Mohr

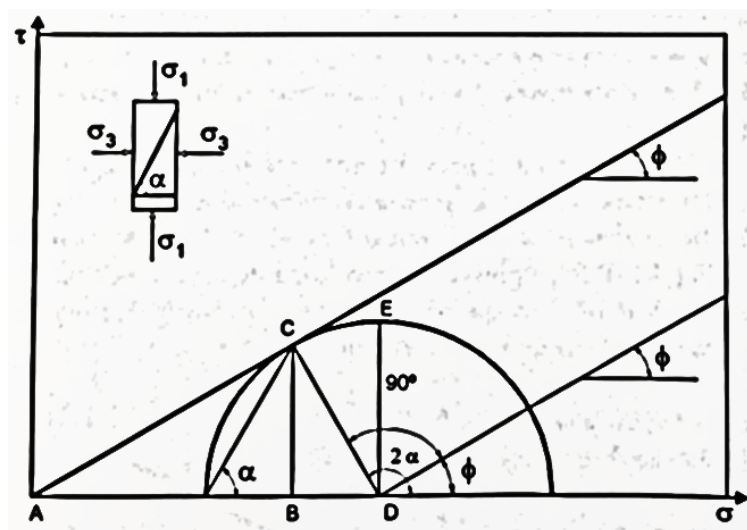


Fonte: Pinto (2006).

Ao se fazer uma reta como a envoltória de Mohr, seu critério de resistência fica análogo ao de Coulomb, ponderando a expressão critério de Mohr-Coulomb, empregada na Mecânica dos Solos.

Na Figura 5, um círculo de Mohr tangência a envoltória. Isso incide no plano em que ocorre a tensão normal indicada pelo segmento AB e a tensão cisalhante BC, que é menor do que a tensão cisalhante. A tensão normal AD proporciona uma resistência ao cisalhamento maior do que a tensão cisalhante atuante (Pinto, 2006).

Figura 5 - Análise do estado de tensões no plano de ruptura



Fonte: Pinto (2006).

2.3 INFLUÊNCIA DA ÁGUA NA ESTABILIDADE DE TALUDES

Guidicini e Nieble (1983) afirmam que na realização de um ensaio de cisalhamento utilizando o mesmo material, considerado nas condições seca e saturada, é possível verificar que os resultados na situação saturada são sistematicamente inferiores, onde teor de umidade atua reduzindo principalmente sobre a coesão.

“A água no solo origina-se de muitas fontes e é um dos fatores que mais interferem na estabilidade de taludes. A pressão na água pode ser positiva ou negativa e variar conforme a existência ou não de movimentação” (Gerscovich, 2016, p. 96).

Gerscovich (2016) ainda afirma que mesmo após a estiagem das chuvas, o processo de fluxo interno da água no solo continua a acontecer. Devido a essas circunstâncias, é possível que o deslizamento ocorra algum tempo após o evento pluviométrico, em período sem chuva.

Muitos geólogos e engenheiros têm considerado que os deslizamentos de terra, ocorridos durante períodos de chuvas intensas, são causados pela diminuição da resistência ao cisalhamento por efeito lubrificante da água que se infiltrou no solo (Fiori, 2015).

Os deslizamentos, advindos em função da percolação d'água, ocorrem por dois fatores durante períodos de chuva, ou onde há a elevação do nível do lençol freático, ou simplesmente pela saturação que se cria entre as camadas superficiais do solo. Ambas contribuindo para a instabilidade do talude (Marangon, 2018).

Gerscovich (2016) menciona que quando existe a presença do nível d'água no solo, este pode ser dividido em três zonas: não saturada; saturada por capilaridade; e saturada abaixo do nível d'água, sendo positivas as pressões de água. As pressões negativas e denominadas sucção ficam acima do nível d'água. Pressões positivas tendem a afastar as partículas sólidas, e as negativas contribuem como agentes de atração dessas partículas. Logo, na região não saturada, o solo ganha uma resistência adicional, cuja magnitude depende do valor da sucção.

Do ponto de vista prático, a água pode ser considerada incompressível e sem nenhuma resistência ao cisalhamento, permitindo sob a ação de altas pressões, penetrar em microfissuras e poros, e exercer pressões elevadas que podem levar enormes maciços ao colapso (Marangon, 2018).

2.4 MÉTODOS E ANÁLISES DE ESTABILIDADE DE TALUDES

Avaliar a estabilidade de encostas, tornou-se um estudo constante na mecânica dos solos e das rochas. Existem diversos métodos para a verificação da estabilidade de taludes, mas dependendo do procedimento, pode haver algumas diferenças.

O problema de estabilidade, portanto, deve ser avaliado em função do tipo de ruptura que se espera para o material. Para métodos analíticos, de uma forma geral, o tipo de ruptura enfatizado na bibliografia referente ao assunto é a ruptura circular, com a superfície de ruptura curva ou em cunha, assemelhando-se a um círculo.

Neste trabalho, é utilizado o método de avaliação por ruptura circular. Assim, somente as metodologias abordadas se fazem presentes nesta revisão bibliográfica.

Os métodos se fundamentam na predeterminação de uma superfície de ruptura, na qual a massa de terreno passível é dividida em fatias e o somatório das forças resultantes de cada fatia determinará o fator de segurança do talude.

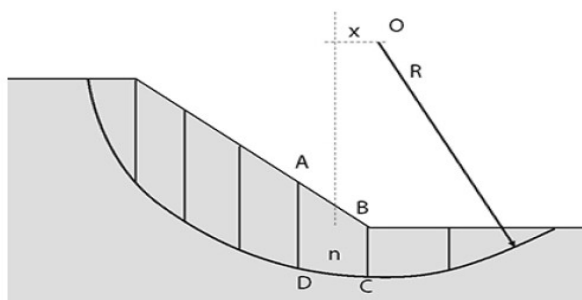
A análise de estabilidade abrange um conjunto de métodos visando à definição de um índice ou de uma grandeza que permita quantificar o quão próximo um talude ou encosta se encontra de acontecer a ruptura (Augusto Filho; Virgili, 1998).

2.4.1 Equilíbrio limite

Segundo Gerscovich (2016), o método consiste na determinação do equilíbrio de uma massa ativa de solo, a qual pode ser delimitada por uma superfície de ruptura circular, poligonal ou de outra geometria qualquer. O método expõe que a ruptura ocorre ao longo de uma superfície e que todos os elementos ao longo dessa superfície atingem simultaneamente a mesma condição de $FS = 1$. Assumem-se as seguintes premissas:

Postula-se um mecanismo de ruptura, isto é, atribui uma determinada região de potencial ruptura (circular, planar etc.). Então divide-se em fatias o solo acima da superfície, conforme Figura 6.

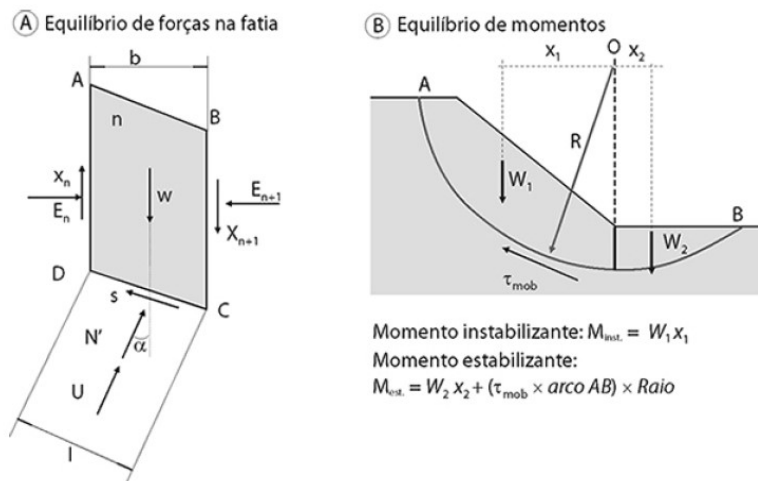
Figura 6 - Exemplos de divisão em fatias de uma superfície circular



Fonte: Gerscovich (2016).

Por meio da equação da estática se determina o equilíbrio, conforme Figura 7. Esse equilíbrio de forças é feito pela análise do equilíbrio de cada fatia. O equilíbrio de momentos realiza-se comparando o somatório dos momentos estabilizantes e instabilizantes, e uma das incógnitas do problema é a tensão cisalhante mobilizada (τ_{mob}).

Figura 7 - Equações de equilíbrio

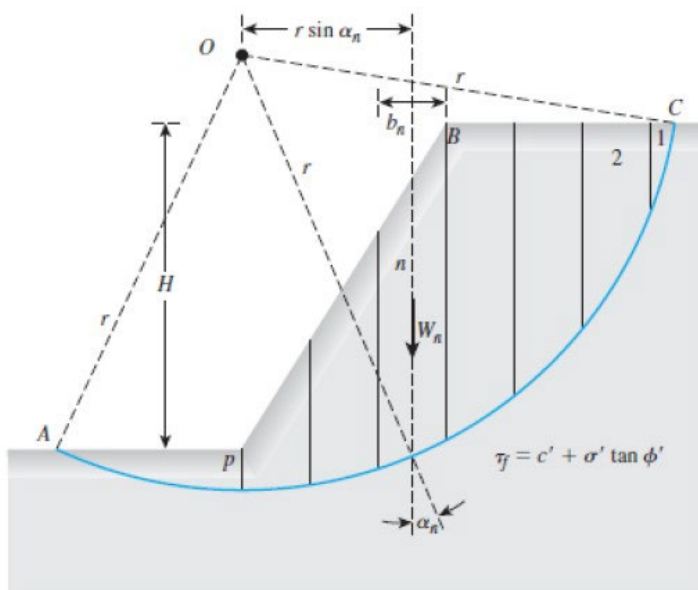


Fonte: Gerscovich (2016).

2.4.2 Método comum das fatias

Em 1936, o engenheiro sueco Fellenius desenvolveu o método que é conhecido como sueco ou de fatias. Baseia-se na análise estática do volume de material situado acima de uma superfície potencial de escorregamento de secção circular, divide-se então esse volume em fatias verticais, demonstrado na Figura 8, as quais são analisadas de maneira individual, como se fosse único bloco deslizando (Fiori, 2015). Conforme Figura 9.

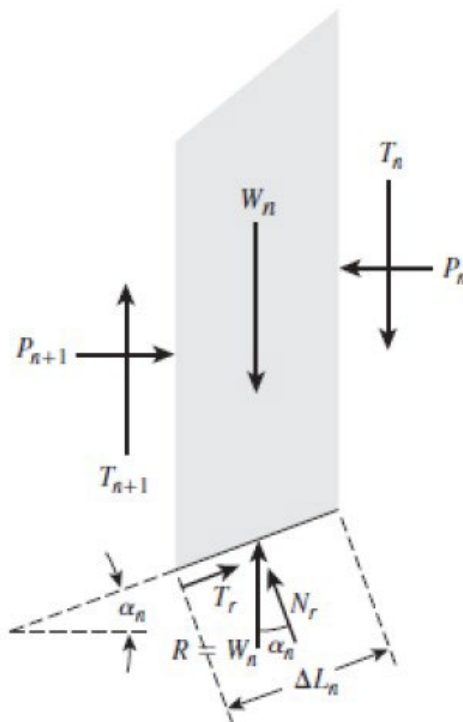
Figura 8 - Esquema de divisão do talude em fatias verticais e indicação da superfície de potencial ruptura



Fonte: Das (2013).

A maioria dos *softwares* de computador utiliza o método de fatias, já que pode prontamente adaptar geometrias complexas dos taludes, condições variáveis do solo e a influência de cargas externas (Abramson *et al.*, 2002).

Figura 9 - Distribuição das forças atuantes sobre uma fatia

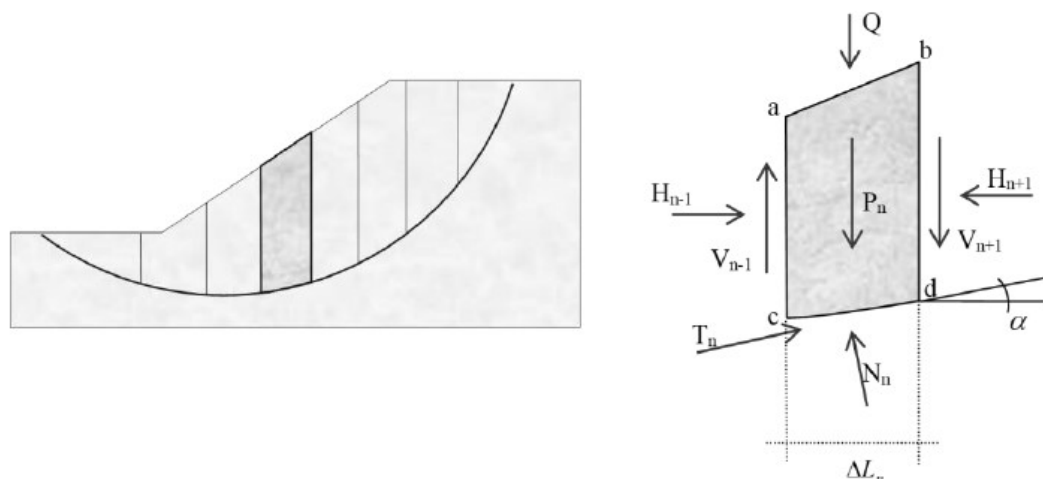


Fonte: Das (2013).

2.4.3 Ruptura circular: Método Bishop (1955)

De acordo com Fiori e Carmignani (2009), utilizando como base a divisão de camadas de escorregamento, o método de Bishop tem por objetivo analisar o equilíbrio. Bishop apresentou esse método em 1955, no qual considera a análise da estabilidade de um talude utilizado na divisão da cunha de escorregamento em diversas fatias. A Figura 10 mostra a distribuição do talude em fatias e as forças atuantes em uma delas.

Figura 10 - Análise por divisão em fatias



Fonte: Mafra Júnior (2003).

Sobre a fatia "*n*" existem forças a considerar, que são as seguintes:

P_n – Peso da fatia;

Q – Sobrecarga;

N_n – Reação normal ao longo da superfície de ruptura;

T_n – Reação tangencial normal ao longo da superfície de ruptura;

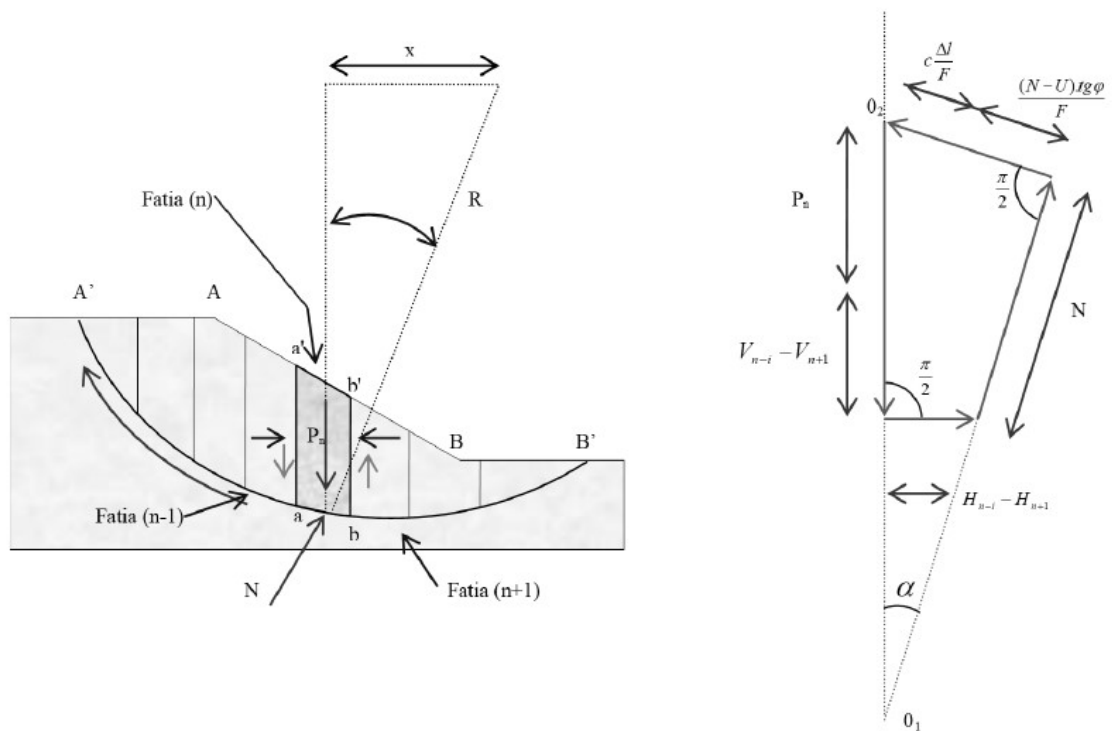
H_{n+1} e H_{n-1} – Componentes normais das reações das fatias vizinhas;

V_{n-1} e V_{n+1} – Componentes verticais das reações das fatias vizinhas;

R_{n-1} e R_{n+1} – Reações das fatias vizinhas.

Fellenius apresentou a proposta de divisão de cunhas em fatias no ano de 1936, sendo a análise de Bishop baseada nesse método. Apresenta-se, a seguir, a formulação implementada por Bishop, segundo Fiori e Carmignani (2009), a Figura 11, apresenta a distribuição de forças em uma fatia de solo "*n*", em uma vertente com deslizamento rotacional.

Figura 11 - Distribuição de forças em uma fatia de solo "n", em uma vertente com deslizamento rotacional



Fonte: Mafra Júnior (2003).

Do polígono de forças, indicado na Figura 11, obtém-se projetando as forças segundo a direção do peso 01 e 02, para um solo sem coesão.

$$P_n + V_{n-1} - V_{n+1} = N \cos \alpha + \frac{(N-U)tg\varphi}{F} \operatorname{sen} \alpha + c \frac{\Delta l}{F} \operatorname{sen} \alpha \quad (1)$$

Onde U é a força neutra e F_s é o fator de segurança. Como $N = P_e + U$, tem-se:

$$P_n + V_{n-1} - V_{n+1} = N \cos \alpha + U \cos \alpha + \frac{p_e tg \alpha}{F_s} + c \frac{\Delta l}{F_s} \operatorname{sen} \alpha \quad (2)$$

Por outro lado, a resistência ao cisalhamento "s" efetivamente mobilizada sobre o arco "ab" é igual a: $F_r = cl + (N-U)tg\phi$ onde cl é a força de resistência devida à coesão (c) do solo.

$$s = c \frac{\Delta l}{F} + \frac{(N-U)tg\varphi}{F}, \text{ onde } c \text{ é a coesão e } \varphi \text{ o ângulo de atrito interno.} \quad (3)$$

Escrevendo-se a igualdade dos momentos em relação ao centro "O" do círculo de raio "R", obtêm-se:

$$\sum P_n x = \sum sR = \frac{R}{F} \sum [c\Delta l + (N - U \operatorname{tg} \phi)] \quad (4)$$

Como $x = R \operatorname{sen} \alpha$, tem-se:

$$F_s = \frac{\sum [c\Delta l + (N - U) \operatorname{tg} \phi]}{\sum P_n \operatorname{sen} \alpha} \quad (5)$$

Substituindo o valor de (N-U) anteriormente obtido, tem-se:

$$F = \frac{1}{\sum P_n \operatorname{sen} \alpha} \sum c\Delta l \left(\frac{[P_n + V_{n-1} - V_{n+1} - U \cos \alpha] \operatorname{tg} \phi + c\Delta l \cos \alpha}{\cos \alpha + \frac{\operatorname{sen} \alpha}{F_s} \operatorname{tg} \phi} \right) \quad (6)$$

E finalmente, chega-se à equação geral de Bishop:

$$F = \frac{1}{\sum P_n \operatorname{sen} \alpha} \sum \frac{[P_n + V_{n-1} - V_{n+1} - U \cos \alpha] \operatorname{tg} \phi + c\Delta l \cos \alpha}{\cos \alpha + \frac{\operatorname{sen} \alpha}{F} \operatorname{tg} \phi} \quad (7)$$

Na equação a diferença entre $(V_{n-1} - V_{n+1})$ pode ser igualada a zero, ou seja:

$\Sigma(V_{n-1} + V_{n+1}) \operatorname{tg} \phi = 0$, pois segundo o autor, o erro resultante dessa simplificação é da ordem apenas de 1%.

Partindo disso, um trabalho analítico leva à equação final do método simplificado de Bishop, que será descrito a seguir.

2.4.4 Método simplificado de Bishop

Partindo do método analítico da equação de Bishop, leva a uma equação simplificada do método, Fiori e Carmignani (2009) afirmam que se introduzido a simplificação, ou seja, fazendo $(V_{n-1} - V_{n+1}) = 0$, chega-se à expressão F_s conhecida como método simplificado de Bishop, muito usado no estudo de estabilidade de taludes na atualidade.

A partir daí um trabalho analítico leva à equação final do método simplificado de Bishop, descrita a seguir:

$$\text{Fazendo que } b = l \cos \alpha \text{ e } M_{(\alpha)} = \cos \alpha \left(1 + \frac{tg \varphi tg \alpha}{F_s} \right) \quad (8)$$

Substituindo esses valores na equação acima, obtém-se a equação:

$$F = \frac{\sum (bc + P - \mu b) g \varphi \frac{1}{M_{(\alpha)}}}{\sum P \sin \alpha} \quad (9)$$

Como o F_s aparece em ambos os membros da equação simplificada de Bishop, é necessária uma interação, na qual se assume um valor para a variável no primeiro termo da equação, calculando-se a segunda, até que os valores coincidam.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

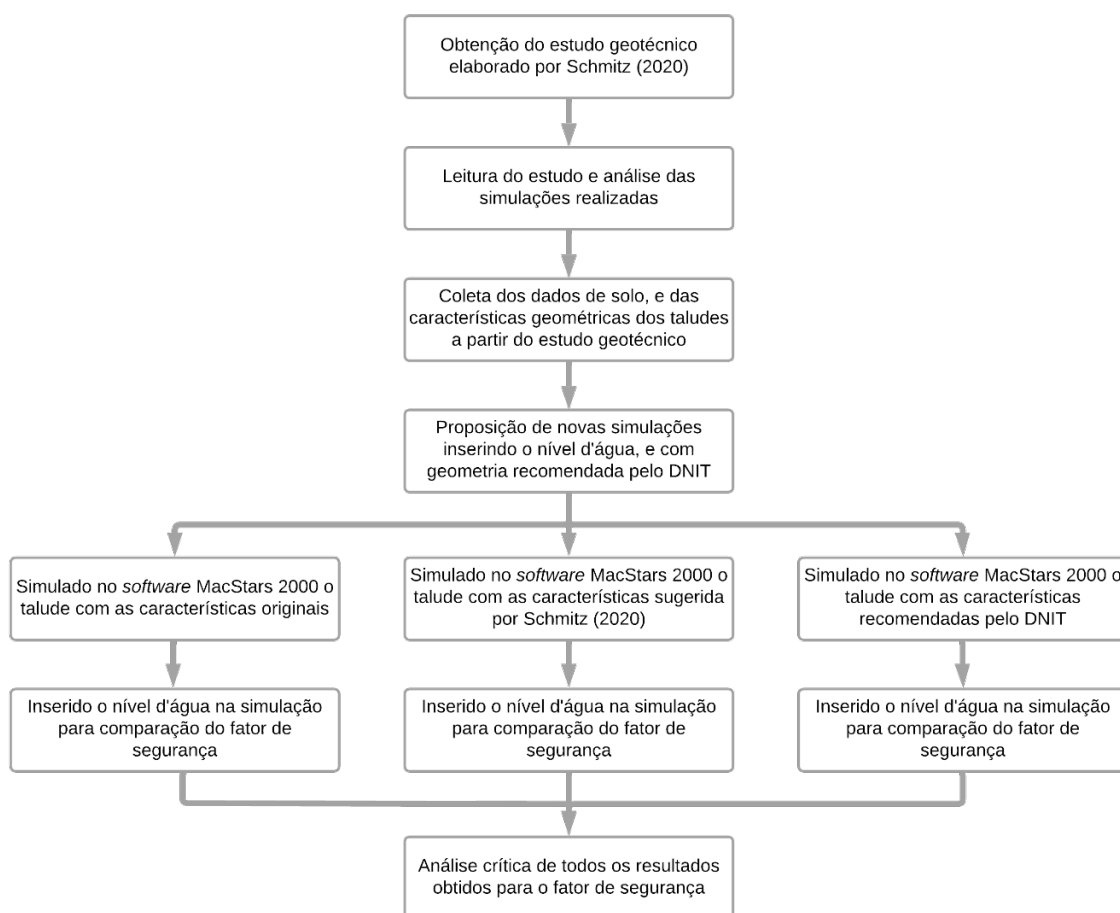
A presente pesquisa foi de natureza quantitativa, a qual Richardson (2008) caracteriza pela utilização da quantificação tanto na coleta como no tratamento de informações por meio de técnicas estatísticas, desde as mais simples até as mais complexas. Quanto ao objetivo se caracterizou como exploratória, já que tem por finalidade proporcionar maior familiaridade com o problema (Gil, 2022).

Em relação aos procedimentos técnicos consistiu em um estudo de caso, definido por Gil (2022) como um estudo profundo e exaustivo de um ou poucos casos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento, é uma investigação de um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto real. Além disso, classificou-se também como pesquisa documental, devido à utilização de dados já existentes elaborados para finalidades diversas. Esses dados são obtidos por meio de acervos internos à organização, não sendo obtidos em bibliotecas ou bases de dados (GIL, 2022).

Sendo essencial para qualquer estudo, é a relação entre população e amostra. A população é o conjunto de tudo que se pretende estudar, logo a população estudada neste trabalho são os taludes em solos, podendo ser encontrados diversos tipos, cada um com uma característica diferente, havendo alguns com solos mais resistentes,

com rochas, e outros com solos bem frágeis, alguns com uma inclinação bem acentuada, outros já com pouca inclinação. Já a amostra se refere ao talude existente na localidade do futuro loteamento, onde se coletou uma amostra para a realização do estudo geotécnico de avaliação de estabilidade de encostas por Schmitz (2020). A Figura 12 ilustra um fluxograma resumo da metodologia aplicada nesse trabalho para obtenção dos resultados de fator de segurança a serem comparados.

Figura 12 – Fluxograma resumo da metodologia aplicada

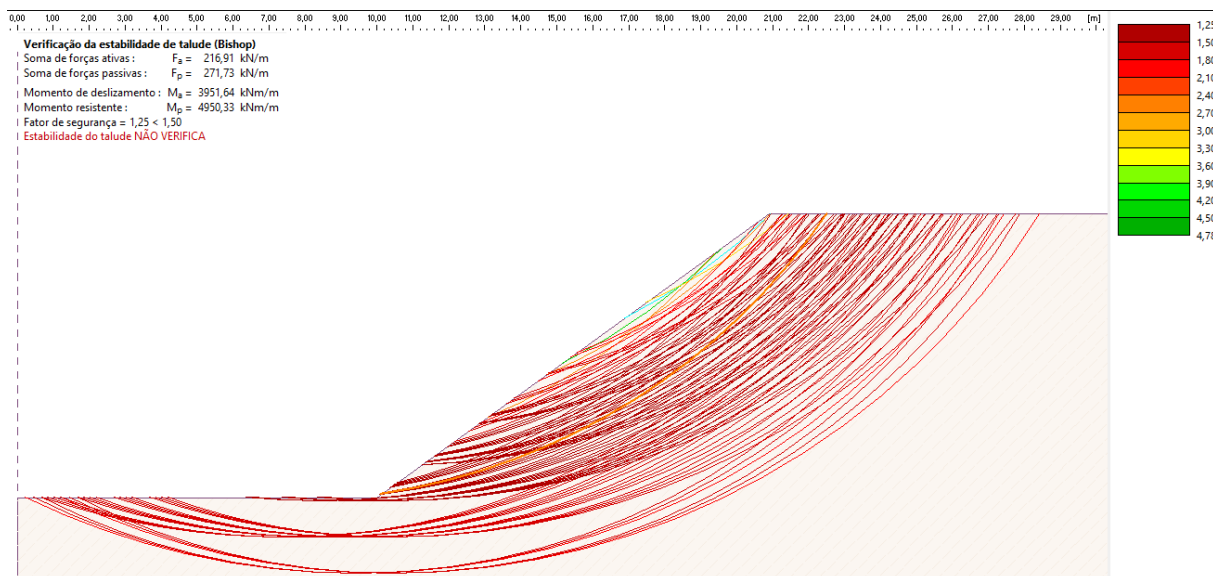


Fonte: elaborado pelos autores (2022).

Utilizou-se para coleta de dados deste trabalho o “Estudo geotécnico: avaliação de estabilidade de encostas”, realizado pelo engenheiro civil V. Schmitz, na data de 13 de julho de 2020. A partir dele retirou-se informações referentes aos dados da resistência do solo, à geometria do talude original sem modificações e à geometria do talude sugerido, que possuía fator de segurança acima de 1,50 proposto pela NBR 11.682 (ABNT, 2009) para a finalidade desejada. O estudo tinha como finalidade comprovar para a Defesa Civil do município de Gaspar-SC, se o talude original existente no imóvel, possuía segurança para não deslizar, haja vista a implantação futura de um loteamento no local.

Segundo o estudo geotécnico, o talude original, sem nenhuma modificação, possui uma inclinação de 35° (0,7V: 1,0H), tendo seu ponto mais crítico com a altura de 7,88 metros a partir do pé do talude. E o solo estudado possui um peso específico aparente de $1,949 \text{ g/cm}^3$, ângulo de atrito de $26,94^\circ$ e a coesão de 5,90 KPa. Logo após simulado pelo *software* GEO 5, Schmitz (2020) identificou um fator de segurança de 1,25, ilustrado na Figura 13, sendo menor que o recomendado de 1,50.

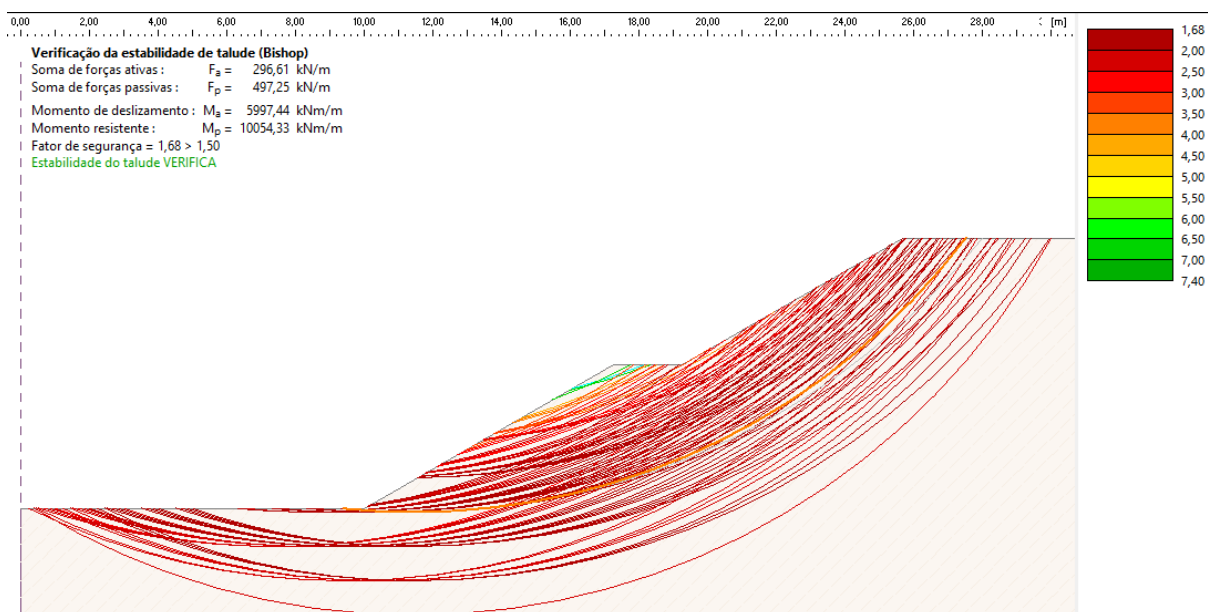
Figura 13 - Simulação talude original sem modificações



Fonte: Schmitz (2020).

Schmitz (2020) sugere a readequação do talude com uma geometria de duas bancadas com inclinação de 30° (0,58V: 1,0H), tendo a primeira 4,19 metros de altura para o pé do talude, um patamar de 2,00 metros, e a segunda bancada com 3,69 metros de altura para a crista do talude. Nesse sentido, utilizou-se os mesmos dados de solo da simulação do talude original, na qual resultou em um fator de segurança de 1,68 conforme se demonstra a Figura 14, sendo superior ao recomendado de 1,50.

Figura 14 - Simulação talude sugerido



Fonte: Schmitz (2020).

Porém em nenhuma das simulações de Schmitz (2020) foi utilizado o nível d'água para as análises da estabilidade. Logo, apresentou-se neste trabalho, a mesma simulação do talude original sem nível d'água, para que se pudesse ter como base o mesmo valor do fator de segurança encontrado por Schmitz (2020), haja vista que todas as simulações deste trabalho foram realizadas no *software* MacStars 2000. Em sequência, inseriu-se o nível d'água na simulação, estando esse nível em uma faixa entre 1,50 metros e 2,00 metros de profundidade, para que fosse comparado e analisado a interferência do nível d'água nessa geometria.

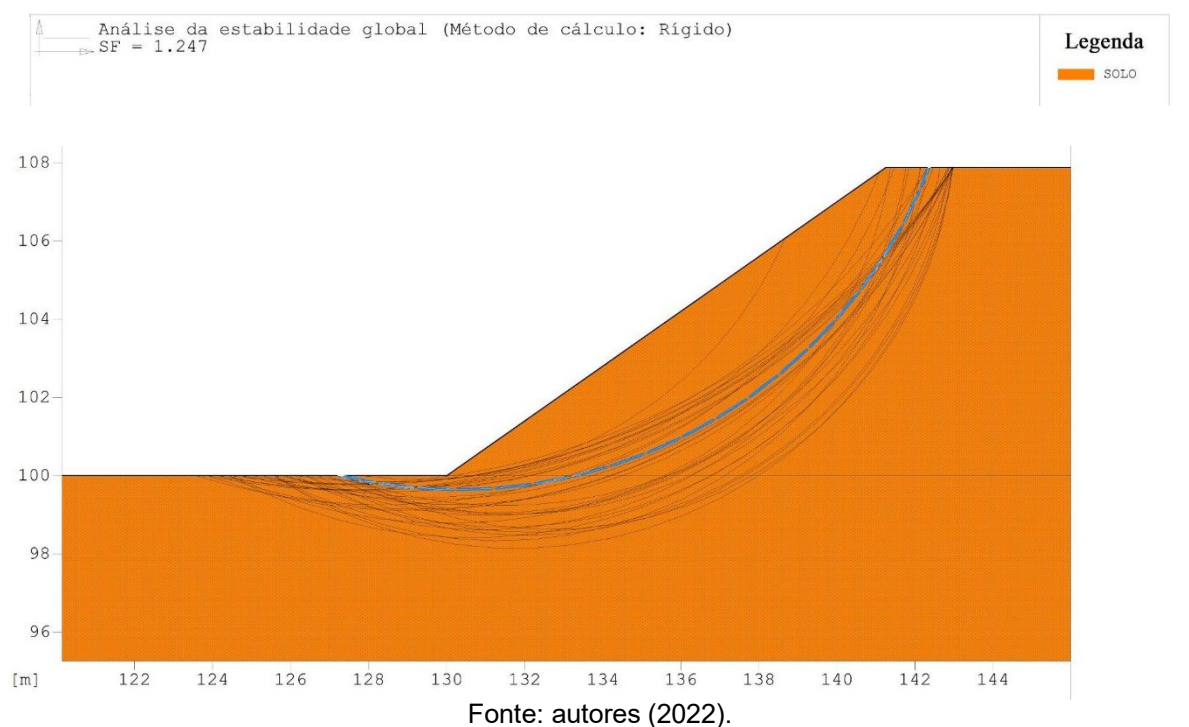
Em seguida, realizou-se a simulação do talude sugerido por Schmitz (2020), conforme se mostra na Figura 14, para verificar se o valor do fator de segurança seria similar. Em sequência, inseriu-se o nível d'água na simulação, estando esse nível em uma faixa entre 1,50 metros e 2,00 metros de profundidade, podendo, assim, também ser comparado e analisado a interferência do nível d'água nessa simulação.

Por fim, realizou-se uma nova simulação com os mesmos dados do solo fornecido no estudo. Utilizou-se a geometria sugerida pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT, com características de 1,0V: 1,0H, ou seja, 45°, sendo esse parâmetro aceito para aprovações na maioria das cidades na elaboração de projetos de corte em taludes. Também se fez a simulação com e sem nível d'água, para comparar e analisar essa nova situação proposta. Vale ressaltar ainda que a simulação seguindo os parâmetros do manual do DNIT (2010), na presente pesquisa não contempla a criação de nenhum patamar no talude, já que segundo o manual, é recomendado apenas para taludes acima de 10,00 metros de altura, não sendo o caso nesta situação estudada.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

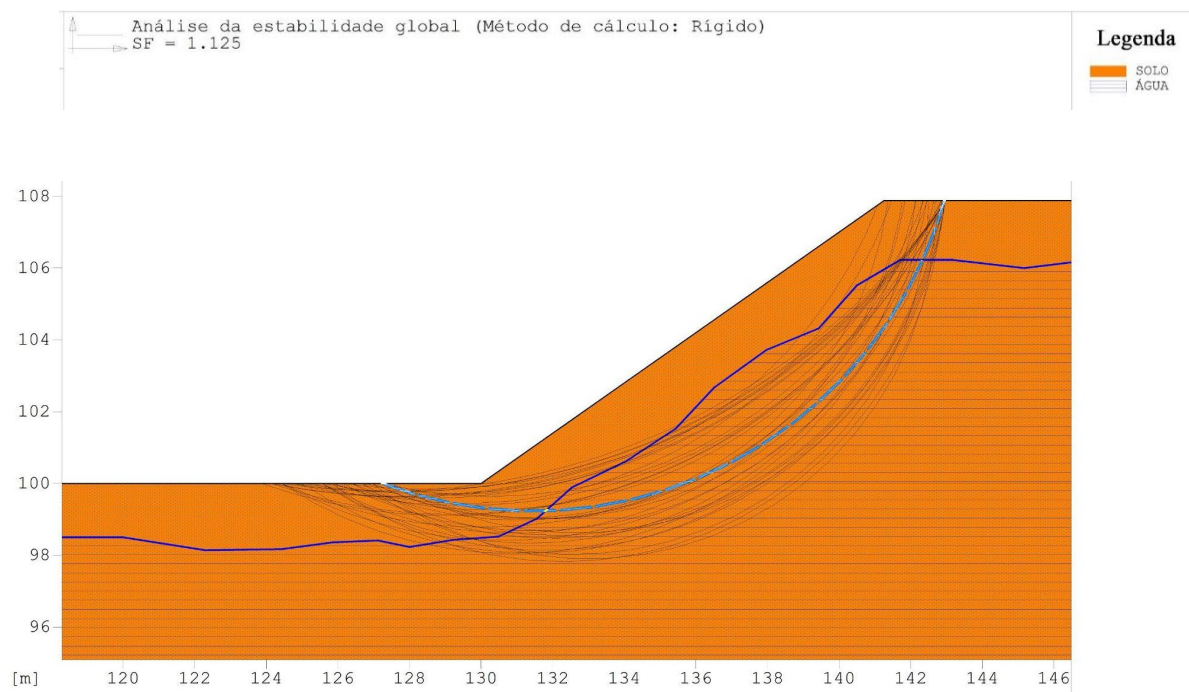
Na primeira simulação realizada, em que foi estudado o talude original sem nível d'água, o resultado obtido foi de 1,247 conforme Figura 15. Comparando com o resultado de 1,25 obtido por Schmitz (2020), em sua simulação, pode-se perceber que foi o mesmo. Além disso, as simulações teriam sido executadas em programas diferentes, podendo ocorrer diferenças no arredondamento de valores. Logo, foi possível dar seguimento no presente trabalho inserindo o nível d'água.

Figura 15 - Simulação talude original sem nível d'água



Na simulação do talude original considerando o nível d'água (Figura 16), o resultado obtido no fator de segurança foi de 1,125. Assim sendo, houve uma redução no fator de segurança de 9,75% entre a simulação sem e com nível d'água. Sendo significativa essa redução na simulação, confirma-se a hipótese de que há uma diminuição na estabilidade do talude quando submetido o nível d'água em sua simulação.

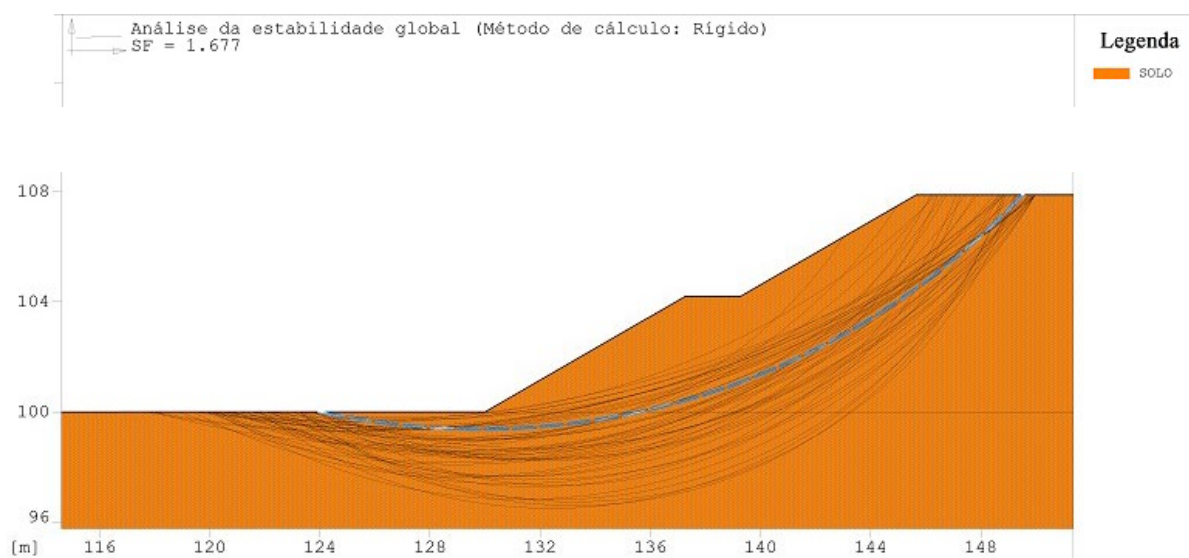
Figura 16 - Simulação talude original com nível d'água



Fonte: autores (2022).

Na próxima simulação (Figura 17), adotou-se a geometria sugerida por Schmitz (2020), para que o talude tivesse o fator de segurança acima do mínimo recomendado. Também se elaborou a mesma simulação considerando sem o nível d'água, para primeiro se obter o resultado próximo ao de Schmitz (2020), e em seguida, poder ser inserido o nível d'água para comparação.

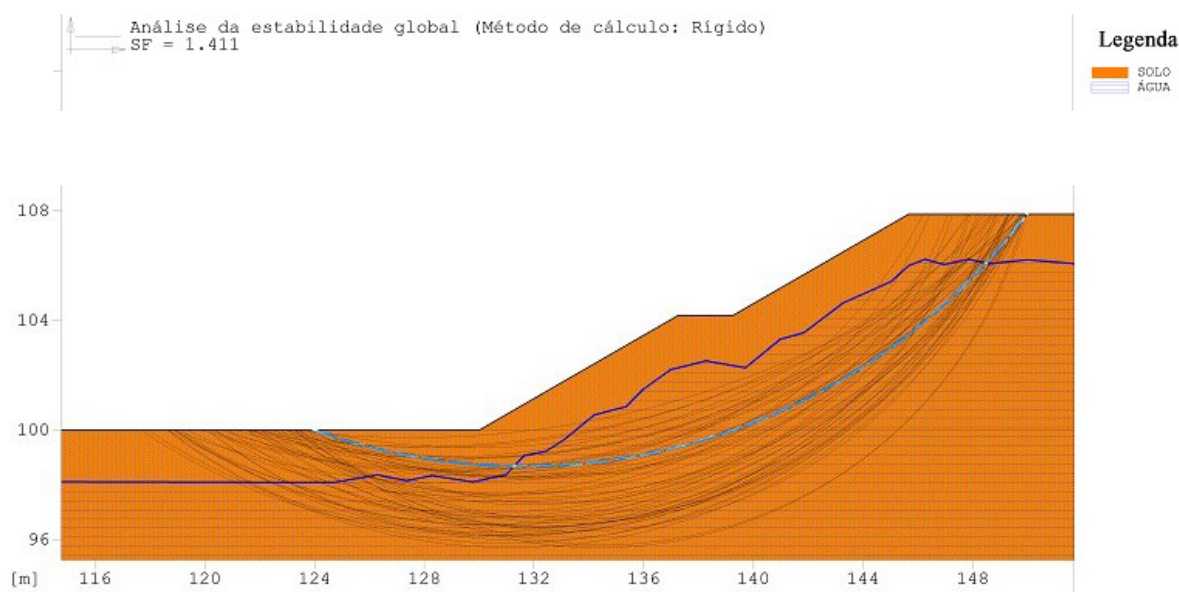
Figura 17 - Simulação talude sugerido sem nível d'água



Fonte: autores (2022).

Em seguida, realizou-se a simulação com a mesma geometria do talude anterior (Figura 16), porém inserindo o nível d'água na simulação (Figura 18) e tendo como resultado o fator de segurança de 1,411. Comparando com a simulação sem nível d'água houve uma redução de 15,86% nesse valor. Esse novo valor obtido foi abaixo do mínimo de 1,50 recomendado pela NBR 11.682 (ABNT, 2009) para a finalidade proposta. Dessa forma, essa geometria com a adição do nível d'água não estaria atendendo à norma para uma situação de grande acúmulo de chuva.

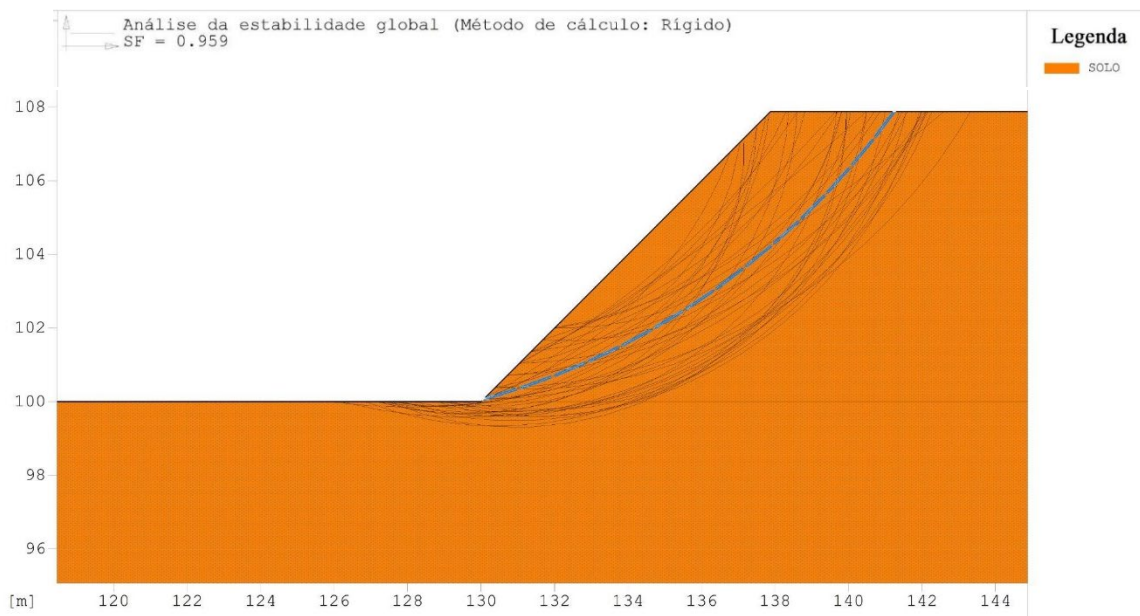
Figura 18 - Simulação talude sugerido com nível d'água



Fonte: autores (2022).

No último formato geométrico simulado, foram utilizadas as características definidas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. Encontrou-se um fator de segurança de 0,959 para a simulação sem nível d'água (Figura 19). Esse valor foi 36,06% menor do que o mínimo proposto pela NBR 11.682 (ABNT, 2009) para a finalidade proposta. Percebe-se então o quão perigoso pode ser a elaboração de um projeto de corte de talude, seguindo apenas a bibliografia existente sem o devido estudo do solo.

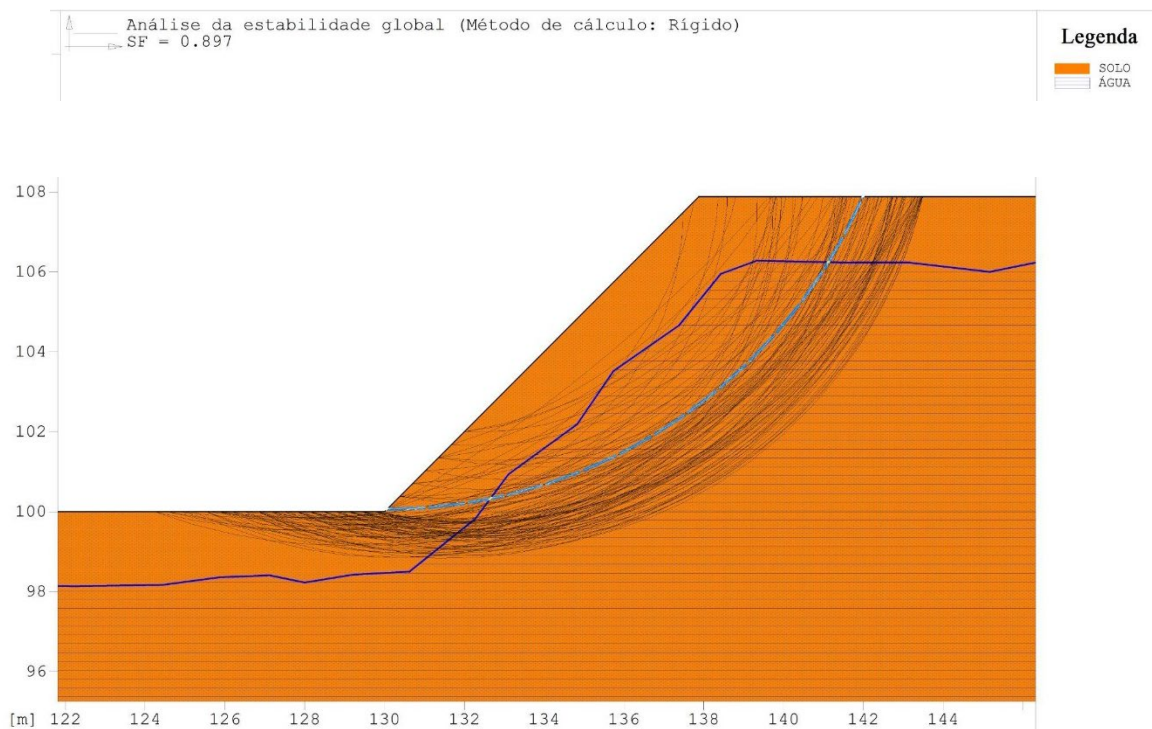
Figura 19 - Simulação com geometria sugerida pelo DNIT sem nível d'água



Fonte: autores (2022).

Inseriu-se o nível d'água, em que o resultado do fator de segurança foi de 0,897 (Figura 20), sendo 6,46% menor que o fator de segurança da simulação sem nível d'água (Figura 19). Além disso, foi 40,20% menor do que o mínimo proposto pela NBR 11.682 (ABNT, 2009) para a finalidade proposta.

Figura 20 - Simulação com geometria sugerida pelo DNIT com nível d'água



Fonte: autores (2022).

Após a realização de todas as simulações propostas, obteve-se valores conforme demonstrados na Tabela 2, sendo possível analisar que existe uma redução no fator de segurança de um talude quando inserido o nível d'água, sendo observado em todos os resultados essa situação. Constatou-se que mesmo um talude com geometria modificada e com fator de segurança acima do recomendado, ao ser simulado inserindo o nível d'água, esse talude pode deixar de possuir um fator de segurança que atenderia à norma técnica. Devido a esse acontecimento, pode-se sugerir que apenas aumentando o patamar para 3,00 metros na geometria proposta por Schmitz (2020), conforme visto na Figura 18, e simulado novamente considerando o nível d'água, seria obtido um fator de segurança de 1,572, a qual seria superior ao mínimo proposto pela norma técnica, deixando então o talude estudado com fator de segurança aceitável.

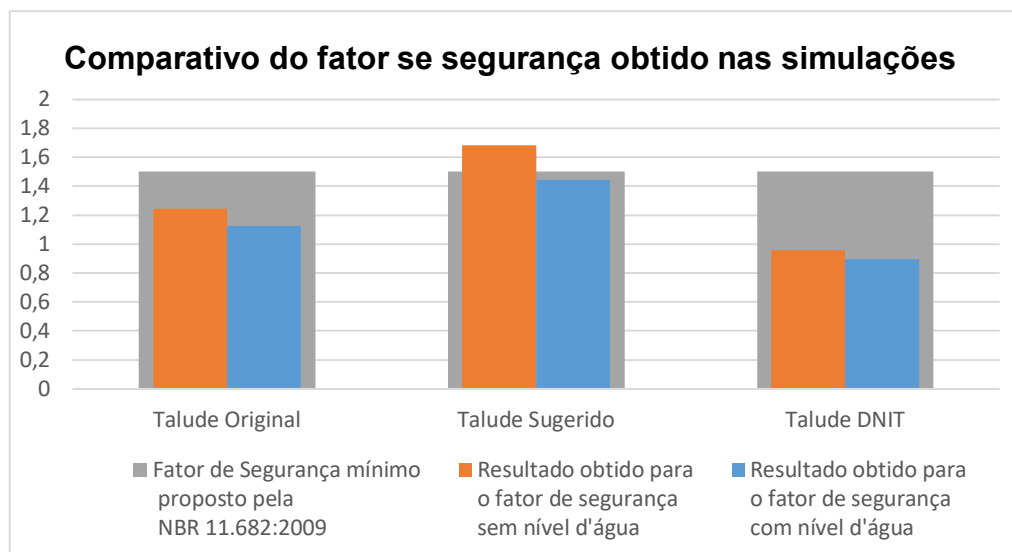
Tabela 2 – Resultados obtidos após realização das simulações

Nome Simulação	Resultado obtido para o fator de segurança	Atende a NBR 11.682:2009?
Talude Original (Schmitz) (Sem nível d'água)	1,250	Não
Talude Original (Sem nível d'água)	1,247	Não
Talude Original (Com nível d'água)	1,125	Não
Talude Sugerido (Schmitz) (Sem nível d'água)	1,680	Sim
Talude Sugerido (Sem nível d'água)	1,677	Sim
Talude Sugerido (Com nível d'água)	1,411	Não
Talude DNIT (Sem nível d'água)	0,959	Não
Talude DNIT (Com nível d'água)	0,897	Não

Fonte: autores (2022).

No Gráfico 1, está ilustrado o fator de segurança de todas as simulações realizadas, podendo ser comparado o que acontece ao ser inserido o nível d'água na simulação, e ainda comparando com o valor mínimo recomendado por norma técnica.

Gráfico 1 – Comparativo do fator de segurança obtido nas simulações



Fonte: Autores (2022).

Por fim, a partir da simulação realizada seguindo os parâmetros do DNIT, o mesmo que é utilizado pela maioria dos profissionais que elaboram projetos de terraplenagem, observou-se a insegurança que pode existir nessas situações. Assim sendo, nem todo tipo de solo ficará estável em determinada inclinação, por isso recomenda-se que todo projeto elaborado para criação de um talude, primeiro seja realizado o estudo de cisalhamento do solo, e então determinar com base nas informações, qual a inclinação específica o talude irá possuir um fator de segurança maior que o recomendado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das simulações realizadas, conclui-se que o assunto de estabilidade de talude possui grande relevância para a sociedade, visto que diz respeito à segurança de pessoas e das edificações que estas ocupam. Esse fato se torna mais evidente em regiões montanhosas e com vales encaixados devido à forte inclinação dos taludes.

Este artigo teve como objetivo realizar simulações de estabilidade de talude baseado no estudo geotécnico preexistente, situado no imóvel onde se planeja executar um loteamento residencial, podendo concluir que o objetivo foi alcançado, visto ser possível realizar as simulações propostas pelo autor do estudo preexistente, e ainda realizar novas simulações para comparação.

Após a realização de todas as simulações, percebeu-se a influência que o nível d'água pode ter para a resistência do solo e consequente estabilidade do talude, pois em todos os ensaios com nível d'água o fator de segurança deu menor

que sem o nível d'água. Verificou-se ainda a necessidade da elaboração de estudo de cisalhamento do solo em todo projeto de corte a ser elaborado, para que por meio dele seja possível determinar qual a melhor inclinação a se adotar, haja vista que apenas seguindo os parâmetros recomendados pela bibliografia podem não ser o suficiente para segurança dos taludes até nos dias mais críticos de chuva.

Recomenda-se para estudos futuros a realização de mais ensaios de cisalhamento do solo, o monitoramento do nível d'água em épocas que há grande acúmulo de chuvas contínuas, e a realização de simulações utilizando outros métodos de análise de estabilidade de talude.

REFERÊNCIAS

- ABRAMSON, L.W.; LEE, T.S.; SHARMA, S.; BOYCE, G.M. **Slope Stability and Stabilization Methods** by, John Wiley & Sons, Inc., New York. 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11.682: Estabilidade de taludes**. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11.682: Estabilidade de encostas**. Rio de Janeiro, 2009.
- AUGUSTO FILHO, Oswaldo; VIRGILI, José Carlos. Estabilidade de Taludes. In: OLIVEIRA, A.M.S; BRITO, S.N.A, Ed(s). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998, p. 243-270.
- BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de implantação básica de rodovia**. – 3. ed. - Rio de Janeiro, 2010. 617p. (IPR. Publ. 742).
- CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e suas aplicações**. volume 1: Fundamentos. 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1988.
- DAS, Braja M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. São Paulo: Cengage Learning, 2013. xvii, p. 561.
- FIORI, Alberto Pio. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- FIORI, Alberto Pio, 1950. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: Aplicações na estabilidade de taludes / Alberto Pio Fiori, Luigi Carmignani**. 2. ed. rev. e ampl – Curitiba: Ed. UFPR, 2009.
- GERSCOVICH, Denise M. S. **Estabilidade de taludes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.
- GIL, Antônio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2022.
- GUIDICINI, Guido; NIEBLE, Carlos M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 1983.
- MAFRA JÚNIOR, Celso da Silva. **Estudos em estabilidade de talude**. 2003. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina, [S.l.], 2003.
- MARANGON, Márcio. **Hidráulica dos solos**. Minas Gerais, 2018. Disponível em: <https://www.ufjf.br/nugeo/files/2013/06/MARANGON-2018-Cap%C3%ADulo-01-Hidr%C3%A1ulica-dos-Solos-20181.pdf>. Acesso em: 29 set. 2022.
- PINTO, Carlos de Sousa. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas**. 3.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.
- RICHARDSON, Roberto Jarry. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- SANTOS, Angela Sikorski; NASCIMENTO, Carla Zenita do; LOPES, Claudemir Aparecido. **Manual de orientações metodológicas**. Brusque: Editora UNIFE, 2021, 68p.
- SCHMITZ, V. **Estudo geotécnico: Avaliação de estabilidade de encostas**. Projeto geotécnico. 2020.
- VARGAS, Milton. **Introdução à Mecânica dos Solos**. São Paulo: Mcgraw-Hill do Brasil, Ed. Da Universidade de São Paulo, 1977.
- VEDOVELLO, Ricardo; MACEDO, Eduardo Soares de. Deslizamento de Encostas. In. SANTOS, Rozely Ferreira dos. **Vulnerabilidade Ambiental**. Brasília: MMA, 2007. p. 75-93.

O IMPACTO DO ESTUDO GEOTÉCNICO NOS SERVIÇOS DE TERRAPLENAGEM – ESTUDO DE CASO

THE IMPACT OF GEOTECHNICAL STUDY ON EARTHMOVING SERVICES – CASE STUDY

Celso da Silva Mafra Júnior ¹

Sarah Ribeiro Marcondes ²

Tamilly Roedel ³

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo principal realizar um comparativo entre duas soluções de projeto de terraplenagem, sendo a primeira seguindo as instruções do manual de implantação básica de rodovia do DNIT, e a segunda baseada na resistência que o solo da área demonstrou com base em estudo já realizado. O local escolhido para realização deste trabalho foi no bairro Cedro Grande em Brusque–SC, onde havia um estudo de cisalhamento de solo e avaliações de estabilidade para variados tipos de inclinação, realizados por um egresso do Centro Universitário de Brusque - UNIFEBE, o qual apontou que para esse solo o estudo mostrou que possui ótima resistência ao cisalhamento, apresentando estabilidade até mesmo para a inclinação máxima testada de 60 graus. Os métodos utilizados para realização deste trabalho foram o estudo de caso e quantitativa, cujos dados obtidos para comparação dos resultados e discussões foram retirados das simulações realizadas com os métodos de terraplenagem citados. Diante disso, comparou-se os resultados obtidos do desenvolvimento dos projetos de terraplenagem, utilizando-se o software AutoCAD Civil 3D 2022 e fez-se um breve levantamento de custos, para se ter uma base de quão significativo o estudo geotécnico pode ser para os serviços de terraplenagem, sendo para este estudo de caso mais vantajoso. Dessa forma, pode-se concluir que além da maior segurança que o estudo geotécnico pode trazer para a execução de serviços de terraplenagem, pode ser muito útil para definição do melhor aproveitamento da área e maior valorização também.

Palavras-chave: Terraplenagem; corte; aterro.

ABSTRACT: *The aim of this work is to compare two earthwork design solutions, the first following the instructions of the DNIT basic highway implementation manual, and the second based on the resistance that the soil in the area demonstrated based on a study already carried out. The location chosen for this work was the Cedro Grande neighborhood in Brusque–SC, where there was a soil shear study and stability assessments for various types of slopes, carried out by a graduate of the Brusque University Center - UNIFEBE, who pointed out that for this soil the study showed that it has excellent shear resistance, presenting stability even for the maximum tested slope of 60 degrees. The methods used to carry out this work were the case study and quantitative, where the data obtained for comparison of the results and discussions were*

¹ Mestre. UNIFEBE. E-mail: celso.mafra@unifebe.edu.br.

² Engenheira Civil, UNIFEBE. E-mail: sarah.marcondes@unifebe.edu.br

³ Doutora. UNIFEBE. E-mail: tamilly.roedel@unifebe.edu.br

taken from the simulations carried out with the earthwork methods mentioned. In view of this, the results obtained from the development of earthwork projects using AutoCAD Civil 3D 2022 software were compared and a brief cost survey was carried out to have a basis for how significant the geotechnical study can be for earthwork services, being more advantageous for this case study. Thus, we concluded that to the greater security that the geotechnical study can bring to the execution of earthwork services, it is beneficial for defining the best use of the area and better appreciation as well.

Keywords: earthworks; cutting; landfill.

1 INTRODUÇÃO

As operações de terraplenagem ou estruturas de terra são realizadas quando é necessário alterar a topografia existente. Elas abrangem escavações e aterros e são mais comumente realizadas em obras rodoviárias, como cortes e aterros, mas também podem compreender o nivelamento de terrenos, como em propriedades industriais ou habitacionais, e a escavação e o reaterro de pedreiras, valas e fundações (Barnes, 2016).

A terraplenagem é considerada o ponto de partida de uma construção, pois a partir dela pode-se preparar o solo para receber a estrutura de uma obra, sendo assim, ela deve ser bem planejada de modo a garantir um terreno sólido e estável.

Um terreno inclinado pode se tornar instável se as forças de gravidade que atuam na massa do solo excederem a resistência ao cisalhamento existente na base da massa e dentro dela. Em vista disso, ocorrerá o movimento descendente da massa de solo. As consequências podem ser catastróficas para a vida e para propriedades se houver edificações abaixo ou acima do talude (Barnes, 2016).

Considerando a variedade de solos encontrados no município de Brusque, o egresso da UNIFE Seidler (2017) realizou um estudo geotécnico a fim de verificar a resistência ao cisalhamento do solo de um talude localizado no bairro Cedro Grande, estudo este usado como parâmetro para realização do comparativo entre os projetos de terraplenagem apresentados neste artigo.

Segundo a conclusão dos estudos realizados por Seidler (2017), “[...] o solo possui uma boa resistência ao cisalhamento, se mostrando estável até mesmo para a inclinação máxima testada de 60 graus”.

A pesquisa teve como objetivo geral realizar um estudo comparativo entre duas soluções de projeto de terraplenagem, sendo a primeira seguindo as instruções do manual de implantação básica de rodovia do DNIT, e a segunda baseada na resistência que o solo da área demonstrou a partir de estudo já realizado.

Não obstante, segue a lista de objetivos específicos:

- Obter as informações topográficas e geológicas;
- Tratar os dados de modo preliminar;
- Simular o projeto de terraplenagem conforme as duas soluções, utilizando o software AutoCAD Civil 3D 2022;
- Comparar os resultados das simulações.

Atualmente, é aceito nos órgãos competentes para aprovação de terraplenagem, [...] um talude máximo de 1:1 (V:H) e, para os aterros compactados, a inclinação máxima de 2:3(V:H), [...]. (DNIT, 2010).

Porém, nota-se que ao adotar essa inclinação, em alguns casos em terrenos onde a topografia do terreno é consideravelmente acidentada, perde-se muita área útil, ou seja, após o projeto de terraplenagem, resta pouca área a ser realmente usufruída.

Devido a isso, entende-se que, dependendo do porte da obra e grau de risco, é interessante realizar o estudo geotécnico que apresente a resistência ao cisalhamento e o grau de inclinação que o solo em questão suporta, para que se possa ter um melhor aproveitamento do terreno, sem interferir na segurança dos que habitam nele e na sua volta. Esse fator é o que justifica a pesquisa na totalidade.

Vale ressaltar que nem sempre adotar a inclinação de 1:1 significa que o solo estará estável, podendo assim após a realização do estudo geotécnico, obter resultados que indiquem que o talude deverá ter uma inclinação inferior a 45°. Devido a isso, reitera-se que o estudo geotécnico não só poderá melhorar a área útil do terreno, como também poderá diminuí-la, pois, o seu objetivo é informar qual será o aproveitamento mais seguro para o solo analisado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PROJETO DE TERRAPLENAGEM

Para Costa (2015), a terraplenagem é a operação destinada a conformar o terreno existente aos gabaritos definidos em projeto. De maneira geral, ela engloba os serviços de corte (escavação de materiais) e de aterro (deposição e compactação de materiais escavados).

Conforme a FUNDEMA (2014), é o conjunto de operações de escavação, carga, transporte, descarga, compactação e acabamento executados a fim de passar-se de um terreno no seu estado natural para uma nova conformação topográfica desejada.

Para cumprir o seu objetivo, o projeto de terraplenagem compreende a geração das seções transversais de cortes e aterros, o cálculo dos volumes dos materiais escavados e aterrados, a escolha dos locais apropriados para seus depósitos, o cálculo das distâncias de transporte e a análise do tratamento a ser dado aos materiais, para garantir as estabilidades das estruturas construídas (Pimenta, 2017).

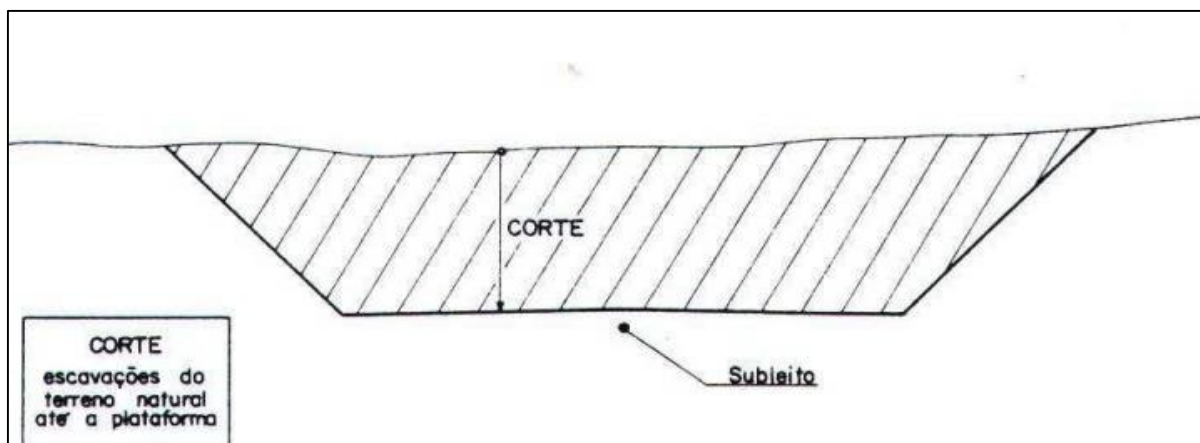
2.1.1 Cortes

Segmentos de rodovia, em que a implantação requer a escavação do terreno natural, ao longo do eixo e no interior dos limites das seções do projeto ("Off sets") que definem o corpo estradal, o qual corresponde à faixa terraplenada. (DNIT, 2009).

De acordo com Costa (2015), as operações de corte compreendem:

- Escavação dos materiais constituintes do terreno natural até a plataforma de terraplenagem definida pelo projeto (Figura 1);

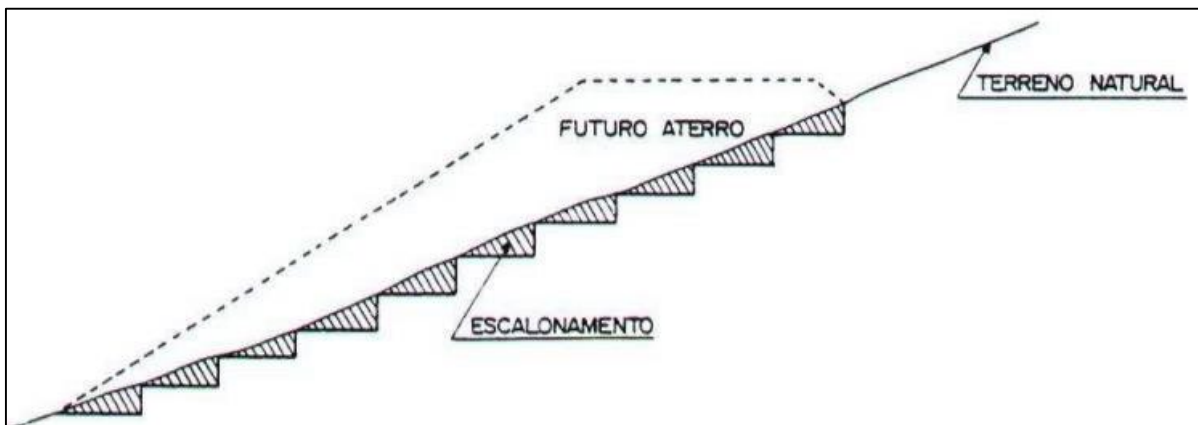
Figura 1 - Corte



Fonte: Costa (2015).

- Escavação nos terrenos de fundação de aterros com declividade excessiva (comuns nos alargamentos de aterros existentes) para esses proporcionarem condições para trabalho dos equipamentos e estabilidade às camadas a serem sobrepostas (Figura 2);

Figura 2 - Escalonamento



Fonte: Costa (2015).

- Alargamentos além do necessário em algumas porções de cortes para possibilitar a utilização de equipamentos normais (comuns nos casos de escavações em cortes já existentes);
- Transporte dos materiais escavados para aterros ou bota-foras.

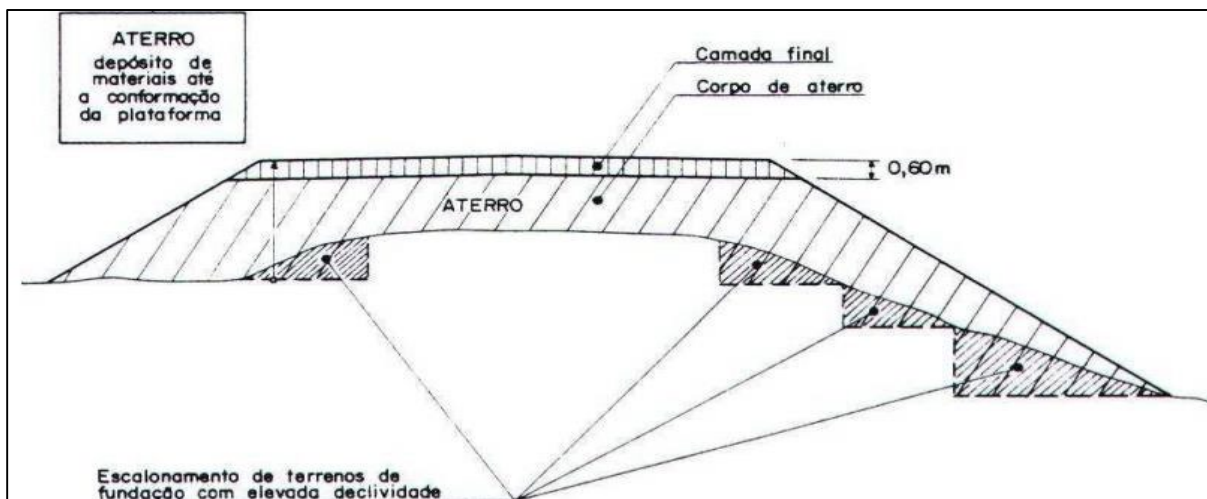
2.1.2 Aterros

Segundo Barnes (2016), aterros constituem uma camada artificial de material depositado ou despejado sobre solo natural.

Pode ser:

- Uma obra cuidadosamente controlada, feita de material adequado, espalhado e compactado em camadas para formar um aterro projetado; ou
- Um material aleatório e variável formado pelo despejo de vários resíduos, tais como: rejeitos de escavação, entulho de demolição, lixo doméstico e subprodutos da indústria.

Figura 3 - Aterro



Fonte: Costa (2015).

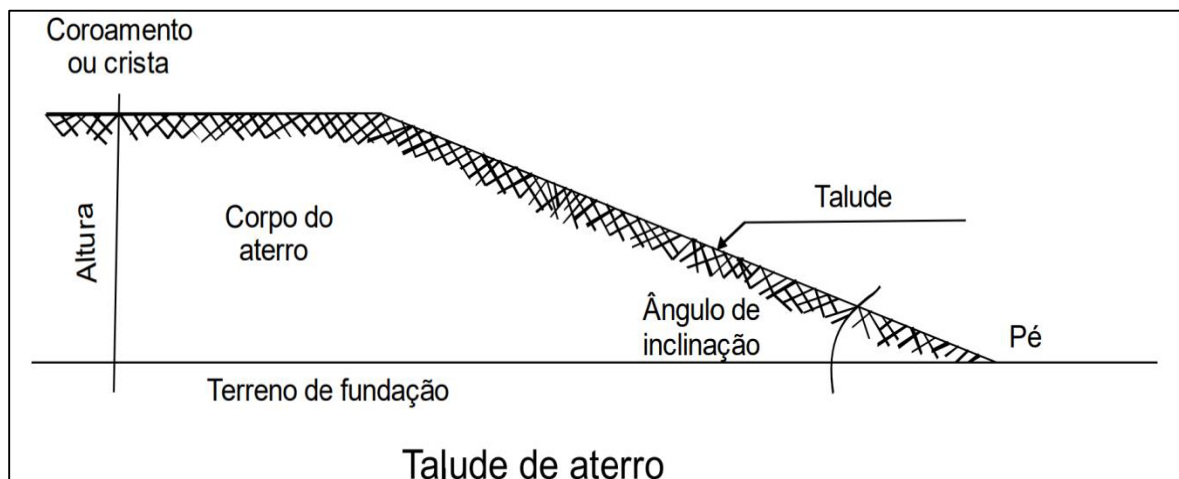
2.1.3 Taludes

O talude de aterro é o resultado da deposição de solo com características específicas do projeto. Esse tipo de talude é composto pelas seguintes partes:

- **Crista ou coroamento:** parte mais alta do talude;
- **Pé:** parte mais baixa do talude, onde inicia a sua base;
- **Altura:** Comprimento vertical do talude (diferença de cota entre o pé e a crista);
- **Ângulo de inclinação:** formado entre a horizontal e a reta média entre o pé e a crista;
- **Corpo do Aterro:** material depositado e compactado segundo as especificações de projeto.

Conforme o DNIT (2009), superfície inclinada do terreno natural, de um corte ou de um aterro, conforme as figuras abaixo:

Figura 4 - Talude de aterro

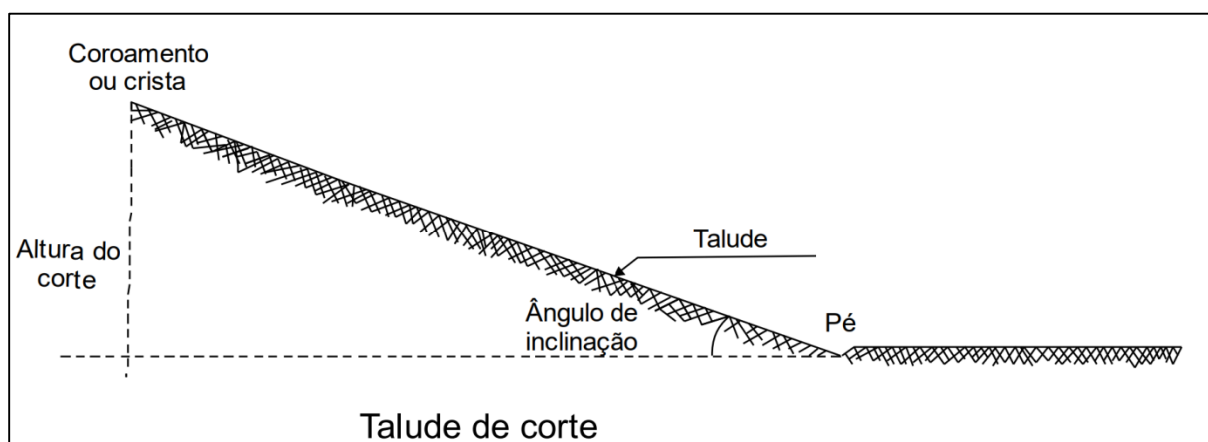


Fonte: Norma DNIT 106/2009 – ES (2009).

O talude de corte é aquele que se formou por meio de um processo de corte, ou seja, de retirada de material. Esse talude é composto pelas seguintes partes:

- Crista ou coroamento: parte mais alta do talude;
- Pé: parte mais baixa do talude, onde inicia a sua base;
- Altura do corte: Comprimento vertical do talude (diferença de cota entre o pé e a crista), o qual é definido em projeto;
- Ângulo de inclinação: formado entre a horizontal e a reta média entre o pé e a crista, definido em projeto;
- Corpo: a parte interna do talude, cuja constituição é estudada por Engenheiros e Geólogos, no que diz respeito ao tipo de material e as suas propriedades.

Figura 5 - Talude de corte



Fonte: Norma DNIT 106/2009 – ES (2009).

2.1.3 Bota-fora

Segundo o DNIT (2009), o bota-fora é um material de escavação dos cortes, não aproveitado nos aterros, devido à sua má qualidade, ao seu volume, ou à excessiva distância de transporte, e é depositado fora da plataforma da rodovia, de preferência nos limites da faixa de domínio, quando possível. Local do bota-fora é o lugar estabelecido para depósito de materiais inservíveis.

2.1.4 Empréstimos

Para Costa (2015), os empréstimos são escavações efetuadas em locais previamente definidos para a obtenção de materiais destinados à complementação de volumes necessários para aterros, quando houver insuficiência de volume nos cortes, ou por razões de ordem qualitativa de materiais, ou de ordem econômica (elevadas distâncias de transporte).

2.2 ESTUDO GEOTÉCNICO PARA TERRAPLENAGEM

A ABNT NBR 8044 (2018) descreve que o projeto geotécnico é definido como “o conjunto de documentos que englobam investigações geotécnicas, análises, interpretações, estudo, memória de cálculo e desenhos. Esses documentos têm grau de detalhamento, compatível com a fase de projeto, características e porte da obra, necessitando eventualmente de estudos geológicos”.

Para se alcançar os objetivos pretendidos, o projetista dispõe de diversos recursos, alguns sofisticados, outros nem tanto, que lhe permitem obter uma estimativa da dificuldade extrativa dos materiais. Esses recursos são as sondagens levadas a efeito durante o decurso dos Estudos Geotécnicos (Costa, 2015).

2.2.1 Relatório de Projeto Geotécnico

Esta é uma exigência que formaliza as considerações feitas, os dados utilizados, os métodos de cálculo e os resultados da verificação dos estados limites. O relatório deve descrever o modelo de solo, os efeitos sobre a obra proposta, além de justificar as considerações e os cálculos de projeto, fazer recomendações e identificar riscos (Barnes, 2016).

2.3 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

A topografia é uma ciência que está ligada aos estudos da geometria aplicada. Tal estudo é importante para observar e resolver problemas ligados no campo, cujas soluções requerem associação prática do problema com a teoria (Borges, 1992).

Os levantamentos planialtimétricos são fundamentais para a visualização de acidentes geográficos e outras características sobre a superfície do relevo, evidenciando superfícies íngremes e planas, tais características fundamentais nas atividades de planejamento do uso desta superfície nos mapeamentos (Borges, 1992).

A elaboração de mapas planialtimétricos relacionados às áreas agrícolas e urbanas é fundamental, pois podem constituir um elemento básico das características do relevo. Na sua utilização, pode-se destacar o planejamento de atividades, uso do solo e as suas capacidades de uso, elaborar práticas conservacionistas e prevenção de riscos (Stein, 1999).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A pesquisa realizada para o desenvolvimento deste trabalho foram os métodos de estudo de caso e quantitativa.

O estudo de caso consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que permita o seu amplo e detalhado conhecimento, tarefa praticamente impossível mediante outros tipos de delineamentos (Gil, 2019).

É uma ferramenta utilizada para entendermos a forma e os motivos que levaram a determinada decisão. Conforme Yin (2001), o estudo de caso é uma estratégia de pesquisa que compreende um método que abrange tudo em abordagens específicas de coletas e análise de dados.

Já a pesquisa quantitativa [...] defende a ideia da existência de uma realidade externa que pode ser analisada de forma objetiva, cujos resultados da pesquisa podem ser reproduzidos e generalizados, sendo possível a obtenção de verdades universais (Hayati; Karami; Slee, 2006).

3.2 POPULAÇÃO E AMOSTRA

A população estudada foram os taludes em solo do município de Brusque–SC, cuja amostra foi de um talude localizado na Rua Octaviano Rosa, com as seguintes coordenadas: -27.197183, -48.984089, conforme Figura 6.

Figura 6 - Localização da amostra coletada



Fonte: Google Earth (2022).

3.3 INSTRUMENTOS DA PESQUISA

O instrumento utilizado para esta pesquisa foi um estudo geotécnico de avaliação de estabilidade de encostas realizado por Seidler (2017).

3.4 PROCEDIMENTOS DA PESQUISA

Os procedimentos da pesquisa foram feitos com um estudo comparativo. Nesse estudo, primeiro foram levantadas as informações obtidas pelo Seidler (2017), com os parâmetros de resistências calculados para o talude localizado na Rua Octaviano Rosa, em Brusque–SC, conforme dados informados no Quadro 1:

Quadro 1 - Dados obtidos através das simulações do software MacStars

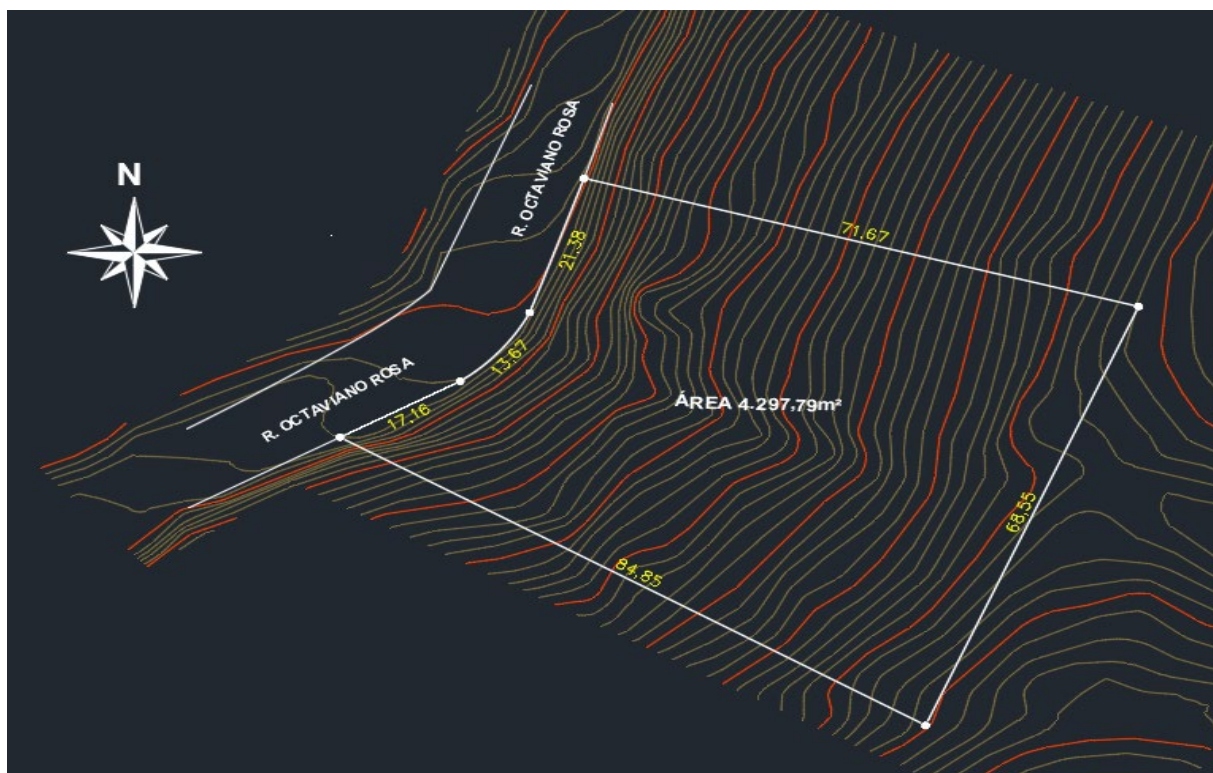
Teste	Inclinação	Presença de bancada de 1,5m	Presença do N/A	Fator de segurança mínimo obtido
01	45°	Não	Não	2,850
02	45°	Não	Sim	2,660
03	45°	Sim	Não	3,284
04	45°	Sim	Sim	3,069
05	60°	Não	Não	2,400
06	60°	Não	Sim	2,119

Fonte: Seidler (2017).

Com base nos resultados de Seidler, verificou-se que, mesmo com a presença de água, o talude com inclinação de 60° ainda assim tem um fator de segurança mínimo de 2,119, o qual está acima de 1,5 sugerido pela NBR 11682/1991.

Após, fez-se a solicitação das curvas de níveis dessa localidade à Prefeitura Municipal de Brusque, a qual forneceu os dados para fins somente de estudo, a fim de viabilizar essa comparação entre os métodos expostos no início deste artigo, visto que sem essas informações não seria possível realizar este trabalho.

Figura 7 - Curvas de nível terreno natural e delimitação da área a ser terraplenada



Fonte: Prefeitura Municipal de Brusque (2022).

Com os dados necessários em mãos, fez-se os projetos de terraplenagem, para comparar o impacto que os métodos aplicados podem gerar sobre o mesmo local.

Foi delimitada uma área de 4.297,79 m² conforme perímetro mostrado na Figura 7, a qual possui uma frente em três seguimentos, sendo a primeira com 17,16 m, a segunda em curva com 13,67 m e a terceira com 21,38 m. Lateral direita com 71,67 m. Lateral esquerda com 84,85 m e fundos com 68,55 m.

Como não havia delimitação exata do terreno do ponto de coleta estudado por Seidler, utilizou-se a localização informada no seu estudo. Com isso, deu-se um comando de *offset* no software utilizado no desenvolvimento do projeto, para ambos os lados de 26,10 m, de modo que o projeto de terraplenagem fosse desenvolvido em igualdade para ambos os lados da amostra. Tomou-se esse parâmetro para *offset*, pois a ideia era propor uma área útil igual ou superior à área de lote mínimo exigido pela Legislação Municipal, a qual hoje se encontra em 240,00 m². Na inclinação de pior caso, para este estudo em específico, seria necessária uma área de 4.297,79 m².

Na Figura 8, mostra-se, para melhor entendimento espacial, a área utilizada para desenvolvimento dos projetos de terraplenagem, na cor vermelha.

Figura 8 - Delimitação da área utilizada para desenvolvimento dos projetos de terraplenagem



Fonte: Google Earth (2022).

O primeiro projeto desenvolvido foi com a inclinação de 45°. Os parâmetros utilizados para inserção dos dados no software AutoCAD Civil 3D 2022 foram:

- Talude de corte 1:1 = inclinação de 45°;
- Banquetas a cada 10 metros de talude, conforme manual de implantação básica de rodovia do DNIT;
- Banquetas com largura de 3 metros e inclinação de 2%, conforme manual de implantação básica de rodovia do DNIT;

O segundo projeto desenvolvido foi com a inclinação de 60°. Os parâmetros utilizados para inserção dos dados no software AutoCAD Civil 3D foram:

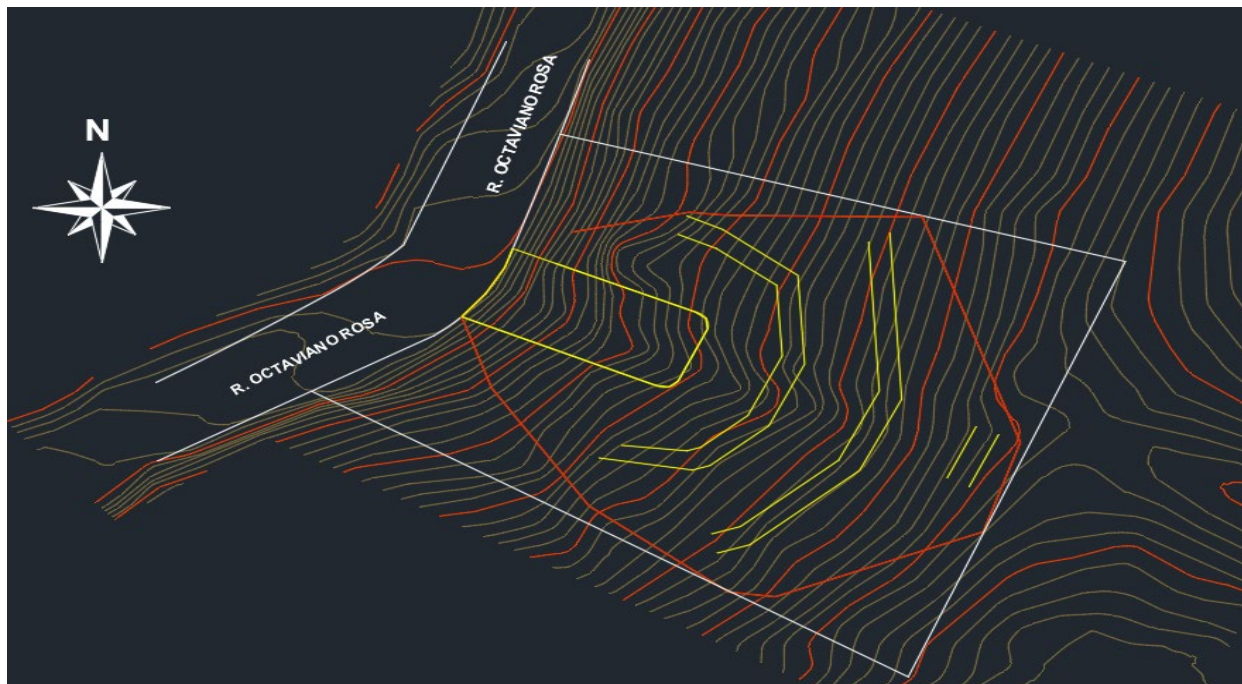
- Talude de corte 0.58:1 = inclinação de 60°;
- Banquetas a cada 10 metros de talude, conforme manual de implantação básica de rodovia do DNIT;
- Banquetas com largura de 3 metros e inclinação de 2%, conforme manual de implantação básica de rodovia do DNIT.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após o desenvolvimento do primeiro projeto, obteve-se os seguintes resultados:

- Área terraplenada: 2.911,59 m²;
- Corte: 15.449,48 m³;
- Aterro: 2,13 m³;
- Bota fora: 15.447,35 m³;
- Área útil: 323,86 m²;
- 3 taludes de 10 m;
- 1 talude de 4 m;
- 3 banquetas de 3 m;
- Curvas de nível modificadas conforme parâmetros inseridos no software AutoCAD Civil 3D.

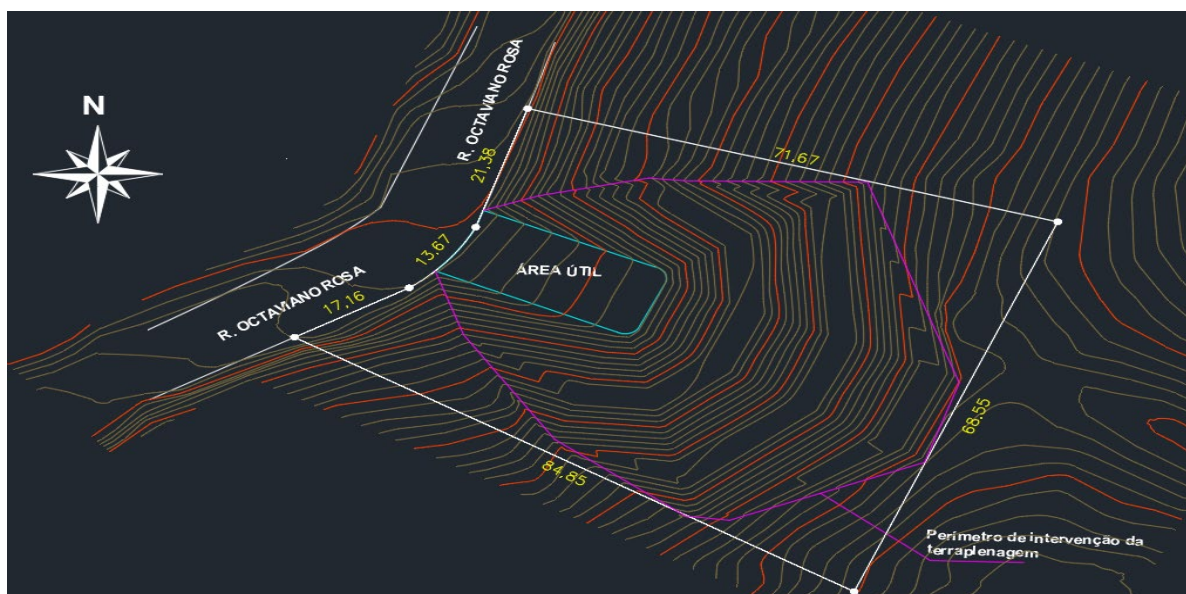
Figura 9: Projeção da área afetada pela terraplenagem, banquetas e delimitação da área útil



Fonte: Software AutoCAD Civil 3D 2022 (2022).

Na Figura 10 é representado o terreno com as curvas já alteradas pela terraplenagem projetada, indicando-se na cor magenta a delimitação da área afetada e na cor azul *cyan* a área útil obtida.

Figura 10 - Curvas de nível após projeção da terraplenagem inclinação 45°

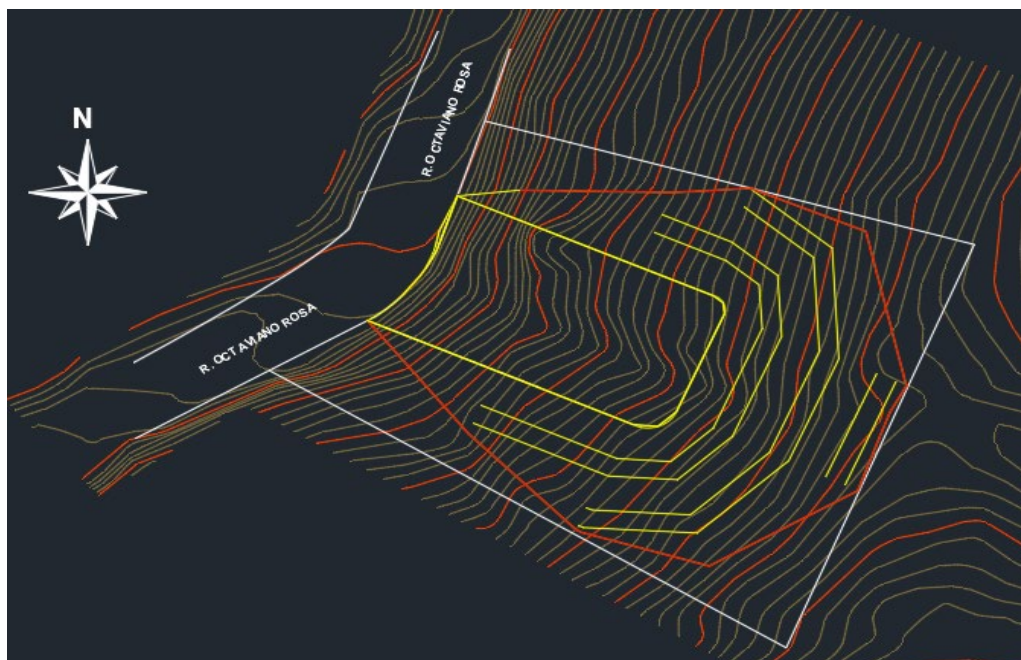


Fonte: Software AutoCAD Civil 3D 2022 (2022).

Após o desenvolvimento do segundo projeto, obteve-se os seguintes resultados:

- Área terraplenada: 3.221,23 m²;
- Corte: 28.228,03 m³;
- Aterro: 3,74 m³;
- Bota fora: 28.224,29 m³;
- Área útil: 964,63 m²;
- 3 taludes de 10 m;
- 3 banquetas de 3 m;
- Curvas de nível modificadas conforme parâmetros inseridos no software AutoCAD Civil 3D.

Figura 11 - Projeção da área afetada pela terraplenagem, banquetas e delimitação da área útil

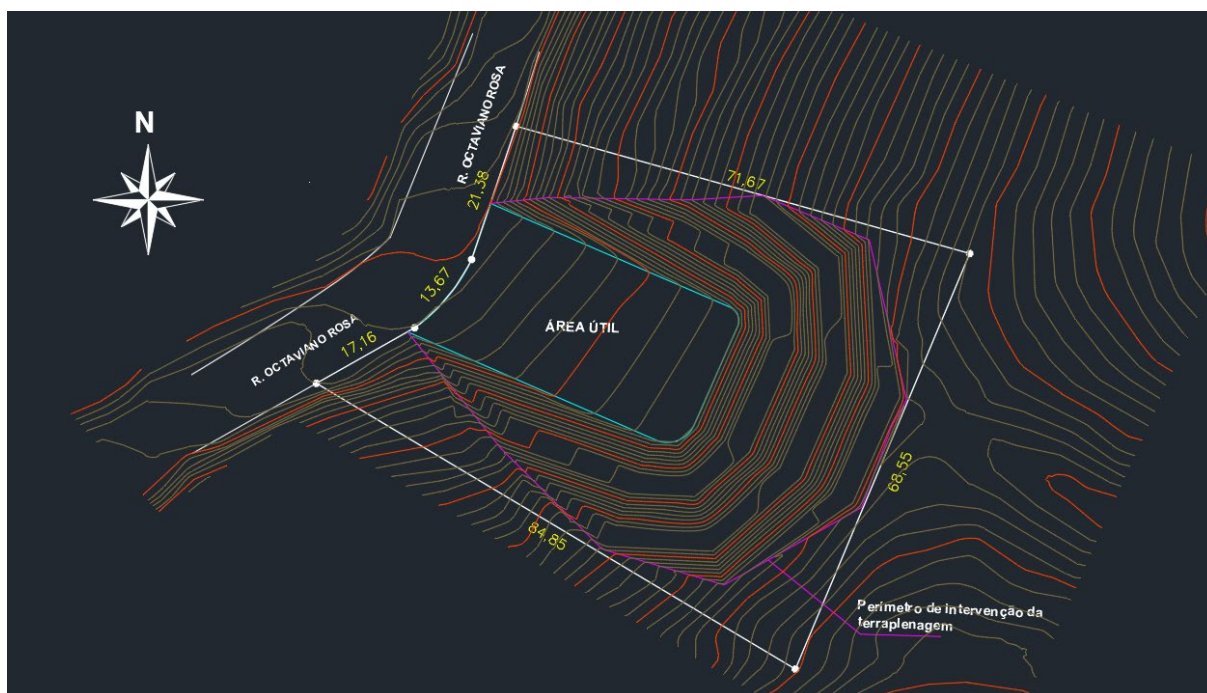


Fonte: Software AutoCAD Civil 3D 2022 (2022).

Na Figura 12, é representado o terreno com as curvas já alteradas pela terraplenagem projetada, indicando-se na cor magenta a delimitação da área afetada e na cor azul cyan a área útil obtida.

Nessa imagem já é possível notar a diferença expressiva de ganho referente à área útil, comparando os taludes de 45° e 60°.

Figura 12 - Curvas de nível após projeção da terraplenagem inclinação 60°



Fonte: Software AutoCAD Civil 3D 2022 (2022).

Com os resultados obtidos, fez-se uma planilha qualitativa para análise dos resultados entre os dois métodos aplicados.

Tabela 1 - Resultados

Inclinação do talude (°)	Área terraplenada (m ²)	Corte (m ³)	Aterro (m ³)	Bota fora (m ³)	Área útil obtida
45	2911,59	15449,48	2,13	15447,35	323,86
60	3221,23	28299,67	3,52	28296,15	964,63

Fonte: autor (2022).

Analisando os resultados, observa-se que o projeto realizado com 60° de inclinação obteve praticamente três vezes mais área útil do que o projeto realizado com 45° de inclinação.

Além de obter um melhor aproveitamento do terreno, a diferença entre um método e outro entre a área terraplenada foi de 309,64 m², o que de fato proporcionou um melhor aproveitamento do solo.

Levando-se em consideração que o volume de corte do projeto com inclinação de 60° foi maior, buscou-se então, de modo apenas para enriquecer este estudo, os valores do serviço de terraplenagem conforme a tabela SICRO.

A tabela do Sistema de Custos Referenciais de Obras – SICRO, contém todas as informações necessárias para a realização de orçamentos de obras e serviços no DNIT, tendo como objetivo estabelecer os melhores parâmetros para projeção desses orçamentos de projetos rodoviários e licitações de obras.

Segundo a última revisão da tabela SICRO (julho/2022), disponibilizada no site do Governo Federal referente ao Estado de Santa Catarina, obteve-se os seguintes parâmetros para o cálculo do serviço de terraplenagem para ambas as situações de projeto:

Tabela 2 - SICRO julho/2022 Santa Catarina

CGCIT						DNIT		
SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO			Santa Catarina		FIC 0,03946			
Custo Unitário de Referência			Julho/2022		Produção da equipe		243,82 m³	
5502827	Escavação, carga e transporte de material de 1ª categoria na distância de 3.000 m - caminho de serviço pavimentado - com carregadeira e caminhão basculante de 14 m³					Valores em reais (R\$)		
A - EQUIPAMENTOS			Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo
				Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	Horário Total
E9667	Caminhão basculante com capacidade de 14 m³ - 188 kW	6,00000	0,89	0,11	320,9263	84,6969	1.769,6464	
E9511	Carregadeira de pneus com capacidade de 3,40 m³ - 195 kW	1,00000	1,00	0,00	403,6946	177,4478	403,6946	
E9541	Trator sobre esteiras com lâmina - 259 kW	1,00000	1,00	0,00	821,4774	299,6794	821,4774	
Custo horário total de equipamentos							2.994,8184	
B - MÃO DE OBRA			Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total	
P9824	Servente	1,00000	h	19,6986		19,6986		
Custo horário total de mão de obra							19,6986	
Custo horário total de execução							3.014,5170	

Fonte: Governo Federal (2022).

Esses parâmetros foram escolhidos com base na realidade do entorno onde hipoteticamente será feita a obra de terraplenagem e com base nos volumes de bota fora e os volumes de produção da equipe listada na Tabela 2.

Com base nessas informações, obteve-se os seguintes resultados:

Tabela 3 - Valores do serviço de terraplenagem do bota fora

Inclinação do talude (°)	Área Bota fora (m ³)	Produção da equipe (m ³ /h)	Horas necessárias (h)	Custo total por hora (R\$)	Custo Final da obra (R\$)
45	15447,35	243,82	63,36	R\$ 3.014,52	R\$ 190.986,38
60	28296,15	243,82	116,05	R\$ 3.014,52	R\$ 349.845,07

Fonte: autor (2022).

Para se ter uma base para o estudo de caso em específico, se valeria a pena ou não realizar a execução do talude projetado com 60° de inclinação, a título de curiosidade, buscaram-se os valores do m² para venda de imóveis pronto para construção localizados no bairro Cedro Grande em Brusque–SC, onde os resultados obtidos foram através da realização da média entre os valores ofertados nesta região pelas imobiliárias de Brusque, o qual se chegou a um valor médio de R\$500,00 por m², obtendo-se, assim, os seguintes dados:

Tabela 4 - Valores do lucro líquido

Inclinação do talude (°)	Área útil obtida (m ²)	Valor de venda do imóvel (R\$)	Valor líquido lucro (R\$)
45	323,86	R\$ 161.930,00	-R\$ 29.056,38
60	964,63	R\$ 482.315,00	R\$ 132.469,93

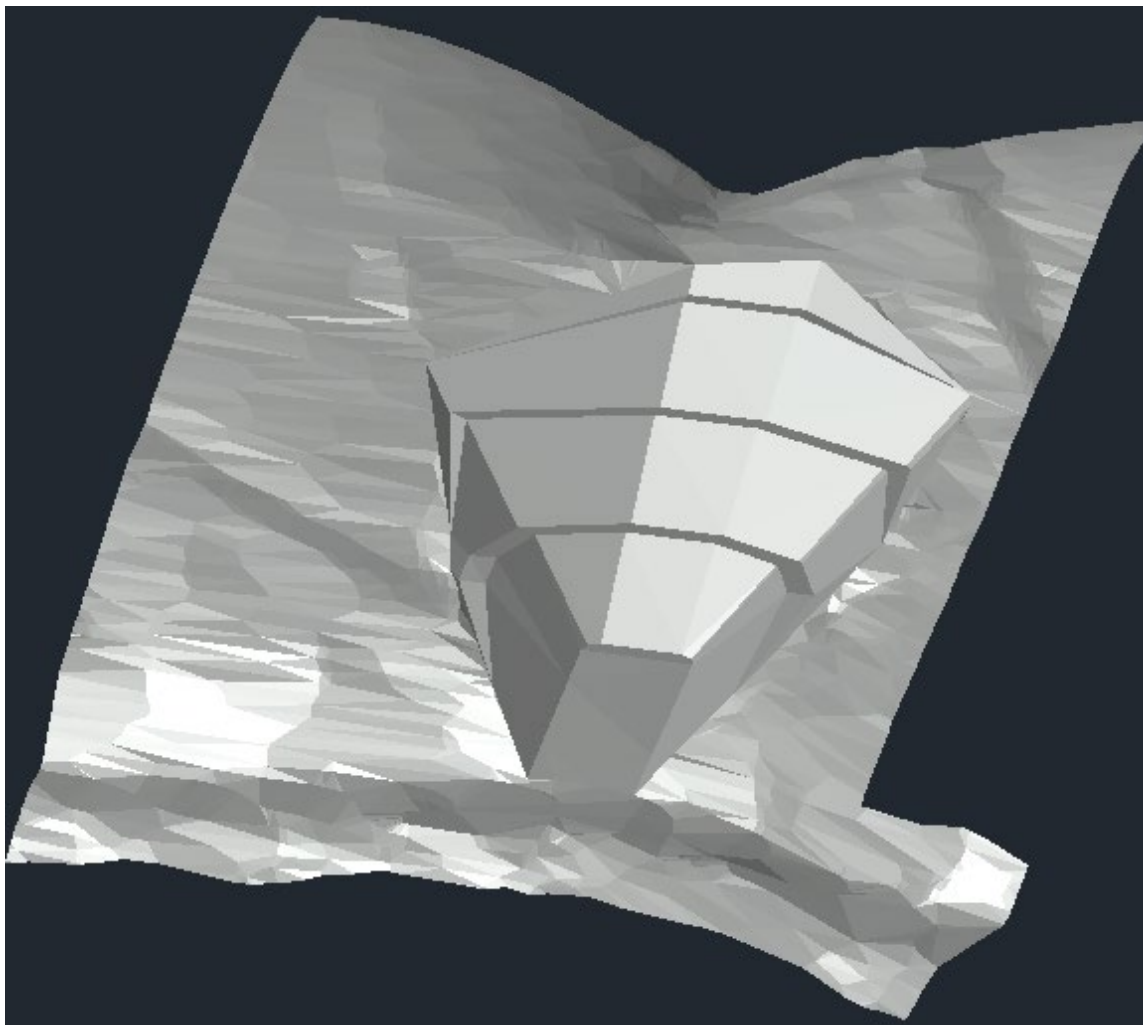
Fonte: autor (2022).

O software AutoCAD Civil 3D 2022, utilizado para elaboração dos projetos de terraplenagem, contém muitos recursos para facilitar o desenvolvimento destes e além de propor uma melhor experiência com visualizações tridimensionais do relevo estudado.

Para se obter uma comparação qualitativa visual das duas soluções de terraplenagem, nas Figuras 13 e 14, a seguir, observa-se o modelo tridimensional do solo estudado após a intervenção da terraplenagem.

Na Figura 13 consta a primeira proposta com o talude de inclinação de 45°, enfatizando a grande área de intervenção e pouca área útil.

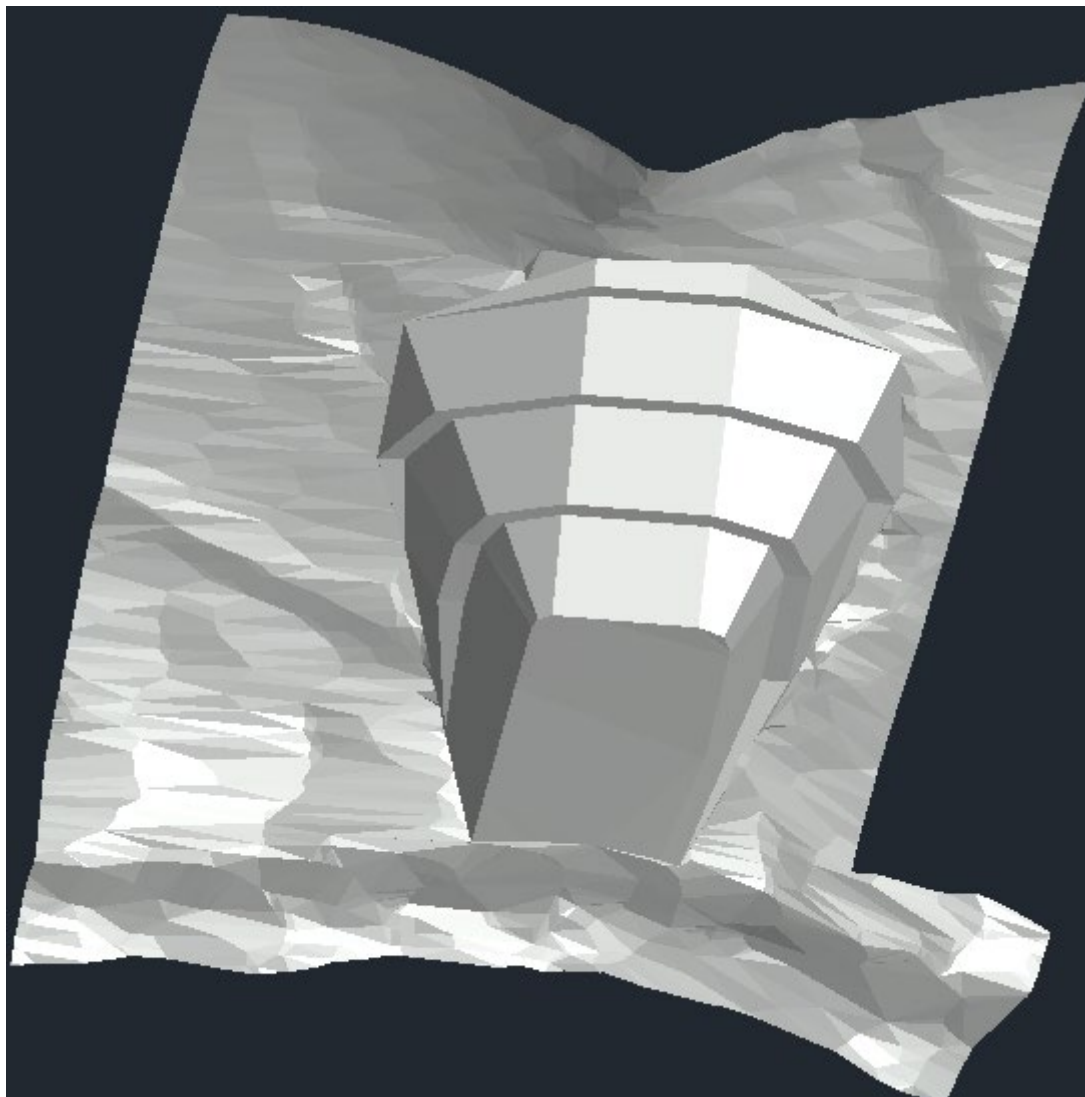
Figura 13: Modelo 3D da proposta de terraplenagem inclinação 45°



Fonte: Software AutoCAD Civil 3D 2022 (2022).

Na Figura 14 consta a segunda proposta com o talude de inclinação de 60°, enfatizando a grande área de intervenção, porém maior área útil.

Figura 14 - Modelo 3D da proposta de terraplenagem inclinação 60°



Fonte: Software AutoCAD Civil 3D 2022 (2022).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo realizar um estudo comparativo entre duas soluções de projeto de terraplenagem, sendo a primeira seguindo as instruções do manual de implantação básica de rodovia do DNIT; e a segunda, baseada na resistência que o solo da área demonstrou com base em estudo já realizado, a fim de confirmar o impacto que o estudo geotécnico pode acarretar nesse meio.

Os dados utilizados para a realização deste estudo de caso foram obtidos por meio da pesquisa realizada por Sleider, que dos seus resultados, verificou-se que o solo estudado tem uma ótima resistência ao cisalhamento, possibilitando assim realizar o projeto de terraplenagem com angulações diferentes do usual, e ainda assim permitir a segurança acima da qual é exigida por norma.

Ressalta-se que, da mesma maneira que este estudo pode comprovar que o solo em questão estudado pode continuar com estabilidade e segurança com um ângulo de inclinação maior do que o indicado por norma, o contrário também poderia ser uma verdade. Ou seja, o estudo poderia mostrar que o ângulo de inclinação para esse local em específico precisaria ser menor do que 45°. Por isso, o estudo geotécnico do solo é de extrema importância para a segurança de todos.

De modo geral, esse estudo possibilitou compreender a importância do estudo geotécnico, tanto para a segurança dos que irão habitar aquele espaço quanto para o ganho que pode trazer ao investidor daquela região.

Este tema é de bastante importância, ainda mais trazendo especificamente para Brusque-SC, que possui uma variedade muito grande de solo na sua composição e pode ser um exemplo e inspiração para futuros trabalhos acadêmicos.

Sugere-se que seja realizado o levantamento de custo mais aprofundado para essas duas situações de terraplenagem, com empresas locais para aferir os valores estimados, contemplando também dispositivos de drenagem, os quais não foram expostos neste estudo de caso, pois não era o objetivo do trabalho, mas não sendo menos importante a sua colocação.

Para este trabalho, foi utilizada a tabela SICRO por se tratar de uma tabela credenciada pelo DNIT, órgão cujas diretrizes foram usadas para o estudo dos projetos propostos.

Outra sugestão seria realizar uma avaliação do mercado imobiliário mais detalhada para estimar o valor real do lote de forma mais precisa, partindo do princípio de que os valores utilizados para uma breve contextualização deste trabalho foram definidos por meio de uma média dos valores atuais propostos por algumas das imobiliárias de Brusque/SC.

Como última sugestão e não menos importante, recomenda-se que sejam realizados mais ensaios de cisalhamento e novas simulações de estabilidade a fim de avaliar se os valores assumidos no trabalho valem para toda a área estudada.

Devido a isso, seria interessante ser realizado o estudo geotécnico de todas as áreas do município que passarão por parcelamento, uso e ocupação do solo, a fim de contribuir para a segurança da população, prevenindo deslizamentos indesejáveis e ocupação de áreas de risco, além de colaborar para aprovação mais eficiente do órgão público e aumentar o valor agregado ao qual o profissional está investindo.

REFERÊNCIAS

BARNES, Graham. **Mecânica dos Solos - Princípios e Práticas**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2016. E-book. ISBN 9788595155084. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595155084/>. Acesso em: 7 de set. 2022.

BORGES, A.C. **Topografia aplicada à engenharia civil**. São Paulo, Ed. Edgar Blücher Ltda, v.2. 232p. 1992.

COSTA, Roberto. Introdução à Terraplenagem. TT – 401 – Infraestrutura Viária. Paraná. 2015. Disponível em: <https://portalidea.com.br/cursos/terraplanagem-apostila01.pdf>. Acesso em: 8 out. 2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT – 104/2009. **Especificação de Serviço. Terraplenagem – Serviços preliminares**. Revisão da Norma DNER – ES 278/97. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit_104_2009_es-1.pdf. Acesso em: 7 set. 2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT – 105/2009. **Terraplenagem – Caminhos de Serviço. Especificação de Serviço**. Revisão da Norma DNER – ES 279/97. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit105_2009_es.pdf. Acesso em: 7 set. 2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT – 106/2009. **Terraplenagem –**

Cortes. Especificação de Serviço. Revisão da Norma DNER – ES 280/97. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit_106_2009_es-1.pdf. Acesso em: 7 set. 2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT – 107/2009. **Terraplenagem – Empréstimos. Especificação de Serviço**. Revisão da Norma DNER – ES 281/97. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit_107_2009_es-1.pdf. Acesso em: 7 set. 2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT – 108/2009. **Terraplenagem – Aterros. Especificação de Serviço**. Revisão da Norma DNER – ES 281/97. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit_108_2009_es-1.pdf. Acesso em: 7 set. 2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **IPR- 742: Manual de implantação básica de rodovia**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2010. 617p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. ISF – 2011: **Projeto de Terraplenagem**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/ferrovias/instrucoes-e->

procedimentos/instrucoes-de-servicos-ferroviarios/isf-211-projeto-de-terraplenagem.pdf. Acesso em: 7 de set. 2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES.

Sistemas de Custos: SICRO. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/custos-e-pagamentos/custos-e-pagamentos-dnit/sistemas-de-custos/sicro/sul/santa-catarina/2022/julho/julho-2022>. Acesso em: 29 de nov. 2022.

FUNDEMA, Fundação Municipal do Meio Ambiente. **Instrução Normativa nº 15**, (Versão Setembro/ 2014). Disponível em: <https://brusque.atende.net/cidadao/pagina/atende.php?rot=1&aca=119&ajax=t&processo=viewFile&ajaxPrevent=1662575734775&file=kxt14d3midgxbokiwlglqkh0nc3i8ko03m43yuqt&sistema=WPO&classe=UploadMidia>. Acesso em: 3 set. 2022.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

HAYATI, D; KARAMI, E.; SLEE, B. **Combining qualitative and quantitative**

methods in the measurement of rural poverty. Social Indicators Research, v.75, p.361-394, Springer, 2006.

PIMENTA, Carlos R. **Projeto Geométrico de Rodovias**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2017. E-book. ISBN 9788595152212. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595152212/>. Acesso em: 7 set. 2022.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa Social - Métodos e Técnicas**. 3. ed. São Paulo, Atlas, 2008. 334 p.

SEIDLER, R. C. **Estudo da resistência ao cisalhamento com enfoque na estabilidade de taludes em encosta localizada no município de Brusque Santa Catarina**. Brusque. 2017.

STEIN, D. P. **Avaliação da degradação do meio físico da bacia do rio Santo Anastácio, oeste paulista**. 1999. 197 p. Tese (Doutorado em Geociências). Programa de Pós-graduação da Universidade Estadual Paulista – IGCE. Rio Claro–SP.

YIN, Roberto K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre. Editora: Bookmam. 200.

O USO DA REALIDADE VIRTUAL COMBINADA COM EXERCÍCIOS FÍSICOS NO TRATAMENTO DA FIBROMIALGIA

THE USE OF VIRTUAL REALITY COMBINED WITH PHYSICAL EXERCISES IN THE FIBROMYALGIA TREATMENT

Alice Colombi

Laura Boss Cesari

Murilo Antônio Monteiro Moraes

Matheulli Guilherme Correa De Andrade

RESUMO: A síndrome da fibromialgia (SFM) é uma condição crônica que afeta principalmente mulheres e causa sintomas como: dor musculoesquelética generalizada, fadiga e distúrbios do sono. Ao longo dos anos, diversos tratamentos foram investigados para aliviar os sintomas da SFM. O objetivo foi analisar as evidências disponíveis sobre a eficácia da VR como abordagem terapêutica no tratamento de pacientes com fibromialgia no contexto da fisioterapia, utilizando a prática de exercícios físicos associada a dispositivos que utilizam realidade virtual. **Metodologia:** Foram analisados artigos publicados entre 2019 e 2024 nas bases LILACS, PubMed, Science Direct e Scopus, utilizando os descritores “realidade virtual”, “fibromialgia” e “fisioterapia”. Ao todo, foram encontrados 15 artigos, dos quais foram selecionados quatro para estudo. **Resultados:** O uso de dispositivos de VR no tratamento de pacientes com SFM tem se mostrado efetivo na redução dos sintomas, como dor, fadiga e cinesiofobia, além de promover benefícios como o aumento da aptidão física, força muscular, capacidade cardiorrespiratória e controle motor. Os exergames, em particular, mostraram-se eficazes no aprimoramento da força muscular e flexibilidade, além de melhorar a mobilidade desses pacientes. **Discussão:** A VR oferece uma abordagem inovadora no tratamento da fibromialgia, sendo uma terapia imersiva que facilita a adesão ao tratamento, especialmente para pacientes com dificuldades em exercícios convencionais. A sua combinação com outras terapias pode potencializar os benefícios. **Conclusão:** A realidade virtual é eficaz no tratamento da fibromialgia quando combinada com exercícios físicos, reduzindo sintomas e promovendo maior adesão ao tratamento, porém necessita de mais pesquisas para expandir o seu uso e superar desafios como custo e acessibilidade.

Palavras-chave: fibromialgia; realidade virtual; exercício.

ABSTRACT: *Fibromyalgia syndrome (FMS) is a chronic condition that mainly affects women and causes symptoms such as widespread musculoskeletal pain, fatigue, and sleep disorders. Over the years, several treatments have been investigated to alleviate FMS symptoms. The aim of this study is to evaluate the effectiveness of virtual reality (VR) as a therapeutic approach in the treatment of patients with fibromyalgia in the context of physical therapy. **Methodology:** Articles published between 2019 and 2024 in the LILACS, PubMed, Science Direct, and Scopus databases were analyzed, using the descriptors “virtual reality”, “fibromyalgia,” and “physical therapy”. In total, 15 articles were found, of which 4 were selected for study. **Results:** The use of VR devices in the treatment of patients with FMS has been shown to be effective in reducing symptoms*

*such as pain, fatigue, and kinesiophobia, in addition to promoting benefits such as increased physical fitness, muscle strength, cardiorespiratory capacity, and motor control. Exergames, in particular, have been shown to be effective in improving muscle strength and flexibility, as well as improving mobility in these patients. **Discussion:** VR offers an innovative approach to the treatment of fibromyalgia, being an immersive therapy that facilitates treatment adherence, especially for patients who have difficulty with conventional exercises. Its combination with other therapies can enhance the benefits. **Conclusion:** Virtual reality is effective in the treatment of fibromyalgia when combined with physical exercise, reducing symptoms and promoting greater treatment adherence, but it needs more research to expand its use and overcome challenges such as cost and accessibility.*

Keywords: *fibromyalgia; virtual reality; exercise.*

1 INTRODUÇÃO

A síndrome da fibromialgia (SFM) é uma doença crônica de etiologia desconhecida que cursa com dor generalizada e difusa, não inflamatória, e hiperalgesia em diferentes pontos do corpo humano. Outros sintomas da SFM são rigidez articular, fadiga generalizada, equilíbrio prejudicado, ansiedade, depressão e sobrecarga emocional que reduz a capacidade funcional, autonomia pessoal, relacionamentos sociais e qualidade de vida (Cortés-Pérez *et al.*, 2021). Afeta de 2% a 8% da população, predominantemente mulheres em relação aos homens, em uma proporção de 3:1 (Queiroz, 2013).

A doença em questão é uma condição caracterizada por dor musculoesquelética generalizada acompanhada de fadiga, distúrbios do sono, disfunções autonômicas, comprometimentos cognitivos, hipersensibilidade a estímulos externos e uma série de distúrbios somáticos e psiquiátricos (Rubio-Zarapuz *et al.*, 2023). É classificada como a terceira doença musculoesquelética mais prevalente depois da dor lombar e da osteoartrite, a sua prevalência global é estimada em 2–3% (Qureshi *et al.*, 2021). A natureza, localização e intensidade da dor musculoesquelética experimentada por pacientes com fibromialgia podem variar muito, influenciadas por fatores como ocupação, comorbidades, condições ambientais e estresse físico e mental (Salaffi *et al.*, 2011).

Atualmente, a combinação de diferentes tratamentos e terapias é recomendada para enfrentar a fibromialgia, envolvendo abordagens farmacológicas e não farmacológicas. Entre as terapias não farmacológicas, o exercício físico é uma das mais relevantes nos últimos anos, uma vez que a capacidade de realizar atividades diárias é condicionada pela aptidão física. O principal objetivo dessas terapias é melhorar a capacidade de realizar atividades da vida diária, reduzindo a dor e melhorando a sua qualidade de vida (Martín-Martínez *et al.*, 2019).

No entanto, a SFM é frequentemente associada à cinesiofobia, ou seja, medo de movimento relacionado à dor, que pode levar à evitação de atividades e ao desengajamento na participação diária, podendo, por sua vez, contribuir para manter e agravar a incapacidade em pacientes com SFM (Rubio-Zarapuz *et al.*, 2023).

Não existe um tratamento único para pacientes com SFM (não farmacológico ou farmacológico). As diretrizes revistas da Liga Europeia Contra o Reumatismo (EULAR) sugeriram que o tratamento deve ser baseado em uma abordagem não farmacológica que envolva exercícios. Isso ocorre porque o exercício é relativamente barato e desempenha um papel na redução da dor. Portanto, o exercício tem o maior corpo de evidências de apoio entre todas as terapias não farmacológicas por seu papel na redução dos sintomas associados à SFM (Villafaina *et al.*, 2019).

A Realidade Virtual (VR) se apresenta como ferramenta promissora para aprimoramento de tecnologias em saúde e potencialização de intervenções. Isso inclui os exercícios físicos, para a melhora da funcionalidade e qualidade de vida de pacientes e familiares que enfrentam doenças e/ou condições progressivas ameaçadoras da vida (Souza Filho *et al.*, 2022).

Estudos evidenciaram que intervenções de exercícios baseados em exercícios aeróbicos ou de força podem melhorar a dor, depressão, função física, impacto da doença e qualidade de vida em mulheres com SFM. Além disso, intervenções de exergame (uma forma não imersiva de realidade virtual) que envolvem exercício físico foram usadas anteriormente em pacientes com SFM. Os resultados indicaram que os exergames servem para melhorar a mobilidade, qualidade de vida, função física e dinâmica cerebral em pacientes com SFM (Villafaina *et al.*, 2019).

A VR é uma nova abordagem no campo do tratamento da dor. Embora os mecanismos exatos ainda não estejam claros para reduzir a dor, sugere-se que a VR pode direcionar a atenção do indivíduo da realidade para o ambiente virtual e desviar a atenção, a redução da dor deve ser possível (Gulsen *et al.*, 2022).

O objetivo deste estudo é analisar as evidências disponíveis sobre a eficácia da VR como abordagem terapêutica no tratamento de pacientes com fibromialgia no contexto da fisioterapia, utilizando a prática de exercícios físicos associada a dispositivos que utilizam realidade virtual. Serão explorados estudos que investigam os impactos dessa abordagem nos sintomas, funcionalidade e qualidade de vida dos pacientes.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fibromialgia é uma doença caracterizada por dor generalizada, com aumento das respostas a estímulos percebidos como nociceptivos e sintomas somáticos. A dor é crônica e pode ou não estar associada à rigidez articular. Geralmente está associada

à fadiga, distúrbios do sono, disfunção cognitiva e depressão. Desenvolve-se com anormalidades bioquímicas, metabólicas, imunorreguladoras e genéticas, e carece de biomarcador e evidência de alterações na conectividade funcional e química do sistema de processamento da dor do cérebro. (Rodríguez *et al.*, 2020).

A Associação Internacional para o Estudo da Dor define a dor como uma "experiência sensorial e emocional desagradável associada a danos teciduais reais ou potenciais". Define a inflamação como um processo defensivo necessário para a vida, no qual, sem inflamação, a resposta a ataques endógenos ou exógenos e o reparo tecidual não seriam possíveis (Desantana *et al.*, 2020).

Na fibromialgia, o "controle de volume" sensorial tem um limiar de dor mais baixo, e este também é o caso de outros estímulos (calor, ruído e odores fortes), bem como hipervigilância. Alguns pacientes com fibromialgia apresentam distúrbios cognitivos, como dificuldade de concentração, falta de memória ou problemas de planejamento e tomada de decisão. Esses são atribuídos à interferência entre o processamento nociceptivo e cognitivo: a experiência de dor associada à estimulação somatossensorial de baixa intensidade associada à atenção, memória e funções executivas na fibromialgia, em comparação com os níveis tradicionais de limiar e tolerância à dor (Rubio-Zarapuz *et al.*, 2023).

Caracteristicamente, na SFM há disfunção do eixo hipotálamo-hipófise-suprarrenal. Isso afeta a resposta adaptativa, com alterações nos níveis do hormônio liberador de corticotrofina, superprodução do hormônio adrenocorticotrófico (ACTH) e queda no nível de cortisol. A secreção de melatonina cai durante a noite, e isso pode contribuir para a má qualidade do sono, fadiga diurna e aumento da percepção da dor. Recentemente, um metabólito urinário associado à secreção de melatonina conhecido como 6-sulfatoximelatonina urinária (aMT6s) foi encontrado em maior quantidade durante o dia em indivíduos com depressão maior e fibromialgia em comparação com indivíduos saudáveis. Isso mostra como a interrupção da secreção de melatonina está positivamente correlacionada com os sintomas clínicos (Rubio-Zarapuz *et al.*, 2023).

O sono restrito é um fator importante no desenvolvimento de sintomas somáticos, enquanto o exercício é extremamente importante em um sentido positivo. As alterações do sono na fibromialgia são prevalentes e devem ser adequadamente avaliadas. As tecnologias de VR podem ser classificadas como não imersivas, semi-imersivas e totalmente imersivas segundo o nível de imersão. A imersão é uma experiência objetiva e relacionada à tecnologia componente da VR e torna a experiência do usuário psicológica, perceptiva e "sensual". de estar lá". Os sistemas não imersivos consistem em telas de computador ou TV, monitores e plataformas como Nintendo Wii, X-box Kinect, que têm baixo custo, mas têm muito baixo senso de imersão (Rubio-Zarapuz *et al.*, 2023).

Os sistemas semi-imersivos têm as mesmas plataformas, mas para um senso mais alto de imersão, eles usam telas melhores, como TVs panorâmicas. VR totalmente imersivo usa tecnologia com monitores montados na cabeça (HMD), como Oculus Rift e HTC Vive, que são relativamente caros, mas têm um senso de imersão muito alto. Para a prática de tarefas reais, os ambientes virtuais imersivos são mais relevantes do que os não imersivos, pois também conseguem dar *feedback* para os participantes (Rubio-Zarapuz *et al.*, 2023).

Também se pensa que a qualidade da imersão está relacionada à qualidade de distração longe da dor, e alto nível de imersão produz mais redução da dor do que as menores. Alguns estudos investigam o efeito do tratamento de VR na SFM utilizando também tecnologias de VR não imersivas como os exergames (Villafaina *et al.*, 2019).

3 METODOLOGIA

Para a realização desta revisão integrativa, foi conduzida uma análise de artigos publicados nos últimos seis anos. A busca foi realizada nas seguintes bases de dados: LILACS, PubMed, Science Direct e Scopus. Durante o processo de coleta de dados, foram utilizados os seguintes descritores: “realidade virtual”, “fibromialgia” e “fisioterapia”. Estes termos foram utilizados de forma combinada, visando garantir uma busca abrangente e específica sobre o tema. Os termos foram empregados em inglês e português.

Como critérios de inclusão, foram selecionados artigos que respondiam à pergunta norteadora da revisão: “Como a realidade virtual pode ser utilizada na fisioterapia para o tratamento de pacientes com fibromialgia?”.

Foram considerados elegíveis apenas estudos publicados entre os anos de 2019 e 2024, nos idiomas inglês e português, que apresentassem metodologia clara e resultados aplicáveis à prática clínica. Estudos de ensaios clínicos controlados e ensaios clínicos randomizados cegos com amostras representativas foram incluídos para garantir a qualidade científica da análise.

Após a busca inicial, foram encontrados 15 artigos. Contudo, apenas 4 artigos atenderam aos critérios de inclusão estabelecidos, enquanto os outros 11 foram excluídos por diferentes razões: 6 não responderam à pergunta norteadora da pesquisa, 2 eram revisões sistemáticas e 3 não foram encontrados na íntegra. Esse processo seletivo foi conduzido visando garantir a inclusão de estudos relevantes e metodologicamente adequados para a revisão em questão.

Dessa forma, a revisão apresentada fornece uma visão atualizada e abrangente sobre o tema, contribuindo para a compreensão das potenciais vantagens e limitações do uso da realidade virtual na fisioterapia.

A análise também destaca os avanços tecnológicos incorporados às práticas terapêuticas, proporcionando uma abordagem inovadora e personalizada para o tratamento de pacientes com fibromialgia. Além disso, a revisão permite identificar lacunas importantes na literatura atual, indicando a necessidade de estudos mais aprofundados dessas intervenções, sua relação custo-benefício e os impactos psicossociais no bem-estar dos pacientes.

Esses achados não apenas fomentam novas investigações científicas, mas também auxiliam profissionais de saúde e gestores no desenvolvimento de estratégias baseadas em evidências para otimizar os resultados clínicos. Com o passar dos anos, a tendência é que novos estudos mais aprofundados diante desse assunto sejam iniciados. É inevitável a constante evolução dessas tecnologias, que só tende a melhorar no decorrer do tempo e a serem utilizadas a favor da área da saúde, como outros meios de conduta para pacientes em diferentes patologias.

4 RESULTADOS

Quatro artigos foram selecionados para responder ao objetivo desta pesquisa, todos na língua inglesa, conforme se demonstra no Quadro 1.

Quadro 1 – Estudos Selecionados.

Autor/ano	Objetivo	Abordagem terapêutica	Conclusão
Martín-Martínez <i>et al.</i> , 2019	Avaliar os efeitos da intervenção de exergame de 24 semanas na aptidão física de mulheres com fibromialgia em condições de tarefa única e dupla.	Participantes divididas em grupo de exercícios (24 semanas) e grupo controle.	O exergame é eficaz para melhorar a aptidão física em mulheres com fibromialgia, tanto em condições de tarefa única quanto dupla.
Gulsen <i>et al.</i> , 2022	Avaliar os efeitos da realidade virtual totalmente imersiva (IVR) tratamento combinado com treinamento físico em pacientes com fibromialgia.	Grupo com exercício convencional + 20 minutos de IVR, 2 vezes por semana, durante 8 semanas.	O grupo com IVR apresentou melhora significativa em dor, cinesiofobia, fadiga, atividade física e qualidade de vida em comparação com o grupo que fez apenas exercícios.
Rubio-Zarapuz <i>et al.</i> , 2024	Investigar as respostas psicofisiológicas ao uso do traje EXOPULSE Mollii isoladamente ou combinado com realidade virtual (RV), comparado ao exercício	Quatro grupos: controle, somente traje, traje com RV, exercício tradicional. Cada grupo realizou uma única sessão de 60 minutos com as respectivas intervenções.	Os efeitos foram mais evidentes quando o traje foi combinado com RV ou quando foi utilizada uma sessão completa de exercício, demonstrando eficácia superior em relação ao traje isolado.

Villafaina <i>et al.</i> , 2019	Analisar os efeitos de 24 semanas de exergame e 24 semanas de destreinamento na força, agilidade e capacidade cardiorrespiratória de mulheres com FM.	Exercícios com foco na mobilidade, controle postural, força e aptidão aeróbica; duas sessões semanais de exergame durante 24 semanas.	O exergame foi benéfico para a aptidão física, sendo necessário uso contínuo para manter os ganhos. A intervenção pode ter alterado o estilo de vida das participantes, mantendo a aptidão cardiorrespiratória mesmo após o destreinamento.
---------------------------------	---	---	---

Fonte: autores, 2025.

A análise dos quatro estudos retrata uma tendência na utilização de inovações de alta tecnologia utilizando realidade virtual (VR). Os resultados indicam que a VR é uma abordagem terapêutica eficaz, tanto na forma de exergames quanto no uso de visores de VR, como o Oculus Go, Oculus Rift e HTC Vive.

O estudo de Martín-Martínez *et al.* (2019) destaca a eficácia dos exergames na melhoria da aptidão física em mulheres com fibromialgia, tanto em condições de tarefa única quanto dupla. A intervenção de 24 semanas provou benefícios claros, o que comprovou que a tecnologia interativa e o exercício em conjunto podem ser uma opção atraente viável para essa população.

Outro estudo utilizando intervenções com VR por meio de exergames, foi o de Villafaina *et al.* (2019), que trouxe como resultados, além de melhorias na força e resistência muscular, um aumento da capacidade cardiorrespiratória de pacientes com fibromialgia.

A pesquisa de Gulsen *et al.* (2022) investigou o uso de realidade virtual totalmente imersiva (IVR) associada com exercícios físicos. Os resultados demonstraram que essa terapia combinada pode ter mais benefícios do que o treinamento físico isolado quando se trata de reduzir a dor, a cinesiofobia e a fadiga e, por outro lado, melhorar o nível de atividade física e o componente mental da qualidade de vida.

O estudo de Rubio-Zarapuz *et al.* (2024) analisou o impacto do traje EXOPULSE Mollii associado à VR nos efeitos sobre as respostas psicofisiológicas das pacientes com fibromialgia, apresentando efeitos mais visíveis do que a terapia apenas com o traje, indicando que a integração dessas tecnologias pode potencializar os benefícios terapêuticos.

As evidências sugerem que essas tecnologias promovem benefícios significativos para pacientes com fibromialgia, melhorando aspectos como aptidão física, redução da dor, cinesiofobia, fadiga e qualidade de vida. Além disso, a combinação da VR com outras intervenções, como exercícios físicos ou o uso de

trajes terapêuticos, demonstrou potencial para amplificar os efeitos positivos no tratamento, proporcionando uma abordagem mais abrangente e eficaz para o manejo da condição.

5 DISCUSSÃO

A SFM é uma doença crônica caracterizada por dor muscular generalizada que reduz a capacidade funcional e a qualidade de vida (Cortés-Pérez *et al.*, 2021). Além de outras terapias, como a farmacoterapia, a realidade virtual surgiu como uma nova terapia que pode reduzir o impacto dos sintomas da SFM. O presente estudo propôs compilar as evidências científicas publicadas até o momento para analisar a eficácia da VR no impacto da SFM e em outros resultados relacionados.

As pessoas que sofrem de fibromialgia tendem a experimentar uma qualidade de vida relacionada à saúde reduzida, com dificuldades para realizar atividades da vida diária (Martín-Martínez *et al.*, 2019).

Um dos principais pontos analisados neste estudo foi o impacto dos exercícios utilizando VR nos sintomas relacionados à SFM durante as atividades de vida diária, as quais exigem boa manutenção de força muscular (Liao *et al.*, 2023).

Um dos estudos utilizando exergames traz como resultados, segundo o autor “A intervenção de exergame tem efeitos significativos na força e flexibilidade dos membros superiores, bem como nas habilidades de mobilidade de mulheres com fibromialgia. Esses efeitos significativos também são observados quando os participantes foram avaliados sob o paradigma de tarefa dupla.” Paradigma em que duas tarefas são executadas ao mesmo tempo, em outras palavras, as atividades da vida diária precisam da capacidade de realizar uma tarefa motora primária enquanto a atenção é focada em uma fonte externa de atenção, seja motora, cognitiva ou emocional. Relaciona-se, assim, que a capacidade de realizar duas ou mais tarefas é simultaneamente reduzida em pacientes com fibromialgia em comparação com controles saudáveis, o que de fato tem um grande impacto na eficácia da execução de atividades diárias e pode até aumentar o risco de queda durante a execução de tarefas motoras (Martín-Martínez *et al.*, 2019).

Em outro estudo em que o exergame também estava presente, notou-se uma melhora considerável na força nos membros inferiores e aptidão cardiorrespiratória. Também teve como objetivo observar o impacto de seis meses de destreinamento em mulheres com SFM. Curiosamente, a aptidão cardiorrespiratória foi mantida ao longo do tempo, enquanto as melhorias na força da parte inferior do corpo retornaram aos níveis basais após seis meses de destreinamento (Villafaina *et al.*, 2019).

Os exergames devem ser realizados regularmente para manter os benefícios de força. No entanto, a duração da intervenção (24 semanas) pode ter mudado o estilo de vida das mulheres com SFM, o que poderia explicar por que as melhorias na aptidão cardiorrespiratória permaneceram após o período de destreinamento (Villafaina *et al.*, 2019).

Outro ponto em destaque no estudo posterior foi a questão da percepção e melhora da dor. Tendo como tratamento inovador o traje EXOPULSE Mollii® junto à tecnologia de realidade virtual, em específico o Oculus Go (Rubio-Zarapuz *et al.*, 2024).

Esse traje se configura como um novo dispositivo de neuromodulação, projetado para melhorar a percepção da dor, a oxigenação muscular e as capacidades funcionais por meio de eletrodos integrados que estimulam vários grupos musculares. Quando associado à VR, essa intervenção pode oferecer uma experiência imersiva que pode modular ainda mais a percepção da dor e melhorar os resultados do paciente, aproveitando a distração e o engajamento proporcionados pelos ambientes virtuais. (Rubio-Zarapuz *et al.*, 2024)

Medidas de percepção da dor, função muscular e qualidade de vida geral serão observadas entre as avaliações de base e pós-intervenção nas diferentes modalidades de tratamento. Essa hipótese é baseada na premissa de que tanto o traje EXOPULSE Mollii® quanto a tecnologia VR podem oferecer benefícios únicos aos pacientes com fibromialgia, superando potencialmente aqueles obtidos apenas por meio de regimes de exercícios tradicionais. Além disso, espera-se que a combinação dessas tecnologias proporcione uma experiência terapêutica mais dinâmica, imersiva e motivadora, favorecendo a adesão dos pacientes ao tratamento. A análise dessas variáveis pode trazer *insights* relevantes sobre o impacto global da intervenção não apenas em aspectos físicos, mas também emocionais e cognitivos. Compreender melhor como o engajamento com tecnologias inovadoras pode influenciar positivamente a rotina e o bem-estar dos indivíduos acometidos pela síndrome, contribuindo para a construção de novas estratégias terapêuticas mais eficazes e centradas no paciente (Rubio-Zarapuz *et al.*, 2024).

Outro estudo que utilizou realidade virtual totalmente imersiva por meio de óculos específicos demonstrou que a integração da VR com exercícios físicos não apenas contribui para o controle da dor e melhora do desempenho físico, mas também promove avanços no equilíbrio e na propriocepção. Além disso, o estudo apresentou evidências promissoras em pacientes com cinesiofobia, destacando o potencial da VR como ferramenta complementar no tratamento desses casos.

Ao analisar todas as informações obtidas através do conteúdo revisado, verifica-se que o uso da realidade virtual é, de fato, eficaz e benéfico para pacientes com fibromialgia. Os dados disponíveis indicam que essa abordagem não apenas contribui para a redução dos sintomas físicos, como dor e fadiga, mas também promove melhorias em aspectos emocionais e psicológicos, como a cinesiofobia e os níveis de ansiedade (Silva *et al.*, 2024).

A realidade virtual oferece um ambiente imersivo que pode distraí-los da dor e dos desconfortos associados à condição, criando uma experiência envolvente que estimula a atividade física e o engajamento emocional. Essa interação lúdica e dinâmica pode ser especialmente importante para pacientes que enfrentam desafios na adesão a programas de exercício tradicionais, tornando a prática mais atrativa e motivadora. No entanto, é fundamental que essa área de pesquisa seja aprofundada e ampliada. Estudos futuros devem explorar diferentes modalidades de aplicação da realidade virtual, a sua eficácia em diversos subgrupos de pacientes e o impacto a longo prazo das intervenções. Além disso, investigações que analisem a combinação da realidade virtual com outras terapias, como a terapia cognitivo-comportamental, podem oferecer insights valiosos sobre abordagens integradas e personalizadas (Botella *et al.*, 2013).

Essa inovação tecnológica representa uma opção terapêutica promissora, com o potencial de transformar a maneira como a fibromialgia é abordada. A integração dessa ferramenta aos tratamentos, respostas mais holística e centradas no paciente podem ser dadas, o que provavelmente ajuda muitos que estão tentando encontrar maneiras eficazes de lidar com diferentes dificuldades nas suas vidas, oferecendo alívio e esperança. Portanto, mais estudos são cruciais para validar e estender a aplicação da realidade virtual como uma prática terapêutica inovadora e eficaz.

Dessa forma, mais pesquisas e artigos precisam ser realizados e publicados sobre o assunto. A pesquisa acadêmica é importante para conferir credibilidade a novos métodos terapêuticos e compartilhar conhecimento sobre eles. Se outros pesquisadores encorajarem mutuamente a explorar e documentar as suas experiências com a terapia de realidade virtual, isso pode resultar em uma base de evidências mais robusta para fundamentar o seu uso.

Sabe-se que o uso da tecnologia de realidade virtual é eficaz e proporciona resultados excelentes, com potencial para trazer ainda mais benefícios no tratamento de condições como a fibromialgia. Além de ajudar na redução da dor e da fadiga, essa abordagem costuma tornar o processo terapêutico mais envolvente, divertido e motivador, o que é especialmente importante para quem já está cansado de tratamentos tradicionais e muitas vezes repetitivos.

No entanto, é importante também olhar com atenção para os pontos que podem ser mais desafiadores. A realidade virtual ainda não está disponível para todos e o custo dos equipamentos é alto, nem todos os lugares têm acesso fácil à tecnologia e muitos profissionais continuam se adaptando a essas inovações. Além disso, alguns pacientes podem sentir tontura, desconforto ou até dificuldade em usar os dispositivos, principalmente se não estiverem acostumados com esse tipo de recurso.

Por isso, é essencial que os profissionais de saúde estejam bem preparados, não apenas tecnicamente, mas também com sensibilidade para entender o que cada paciente precisa e como se sente. Afinal, mais do que aplicar uma tecnologia, trata-se de cuidar de pessoas e cada pessoa vive a fibromialgia de um jeito único.

6 CONCLUSÃO

Em conclusão, a utilização da realidade virtual no tratamento da fibromialgia tem se mostrado uma estratégia eficiente, trazendo benefícios significativos na diminuição dos sintomas físicos e emocionais. O uso de equipamentos tecnológicos acaba estimulando pacientes que não aderem de maneira adequada ao tratamento conservador, pelo fato de que cria um ambiente envolvente em que é possível sair de sua zona de conforto e buscar novas experiências, incentivando o engajamento e a superação de desafios.

Contudo, para a realidade virtual alcançar um número maior de pessoas, é necessária a realização de novas pesquisas, que incluam a análise de diversos tipos de populações, variando entre os seus gêneros, idades, condições de saúde e contexto socioeconômico. Apesar de ainda existirem muitas barreiras, que incluem o alto custo e baixa disponibilidade dos equipamentos, o uso da realidade virtual como terapia complementar no tratamento da fibromialgia mostra-se promissor e tende a crescer muito nas próximas décadas.

REFERÊNCIAS

- BOTELLA, C. *et al.* Virtual reality in the treatment of fibromyalgia: A pilot study. **Cyberpsychology, behavior and social networking**, v. 16, n. 3, p. 215–223, 2013.
- CORTÉS-PÉREZ, I. *et al.* Virtual reality-based therapy reduces the disabling impact of fibromyalgia syndrome in women: systematic review with meta-analysis of randomized controlled trials. **Journal of personalized medicine**, v. 11, n. 11, p. 1167, 2021.
- DESANTANA, J. M. *et al.* Definition of pain revised after four decades. **Brazilian Journal Of Pain**, v. 3, n. 3, p. 197–198, 2020.
- GARCÍA RODRÍGUEZ, D. F; ABUD MENDOZA, C. Physiopathology of fibromyalgia. **Reumatología Clínica** (English Edition), v. 16, n. 3, p. 191–194, 2020.
- GULSEN, C., PT, MSc *et al.* Effect of fully immersive virtual reality treatment combined with exercise in fibromyalgia patients: a randomized controlled trial. **Assistive technology: the official journal of RESNA**, v. 34, n. 3, p. 256–263, 2022.
- LIAO, J. *et al.* Correlation of muscle strength, working memory, and activities of daily living in older adults. **Frontiers in aging neuroscience**, v. 16, p. 1453527, 2024.
- MARTÍN-MARTÍNEZ, J. P. *et al.* Effects of 24-week exergame intervention on physical function under single- and dual-task conditions in fibromyalgia: A randomized controlled trial. **Scandinavian journal of medicine & science in sports**, v. 29, n. 10, p. 1610–1617, 2019.
- QURESHI, A. G. *et al.* **Diagnostic challenges and management of fibromyalgia**. Cureus, 2021.
- RUBIO-ZARAPUZ, A. *et al.* Comparative analysis of psychophysiological responses in fibromyalgia patients: Evaluating neuromodulation alone, neuromodulation combined with virtual reality, and exercise interventions. **Medicina (Kaunas, Lithuania)**, v. 60, n. 3, p. 404, 2024.
- SALAFFI, F. *et al.* Diagnosis of fibromyalgia: comparison of the 2011/2016 ACR and AAPT criteria and validation of the modified Fibromyalgia Assessment Status. **Rheumatology (Oxford, England)**, v. 59, n. 10, p. 3042–3049, 2020.
- SOUZA FILHO, B. A. B. DE; TRITANY, É. F. Realidade virtual imersiva nos Cuidados Paliativos: perspectivas para a Reabilitação Total. **Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional**, v. 30, p. e3024, 2022.
- VILLAFAINA, S. *et al.* Effect of exergame training and detraining on lower-body strength, agility, and cardiorespiratory fitness in women with fibromyalgia: Single-blinded randomized controlled trial. **International journal of environmental research and public health**, v. 17, n. 1, p. 161, 2019.

PROJETO E ANÁLISE DE UM EDIFÍCIO DE CONCRETO ARMADO COMPARANDO QUATRO RESISTÊNCIAS CARACTERÍSTICAS À COMPRESSÃO

DESIGN AND ANALYSIS OF A REINFORCED CONCRETE BUILDING COMPARING FOUR CHARACTERISTIC STRENGTHS TO COMPRESSION

Alexandre Maines¹
Celso da Silva Mafra²
Elias Riffel³
Tulio Henrique Taboni⁴

RESUMO: O artigo analisa o impacto que a alteração da resistência característica à compressão do concreto (fck) tem no custo final de uma obra. O estudo foi desenvolvido tendo por base o projeto estrutural de uma edificação multifamiliar vertical com área total de 6.435,00 m². Na análise, foram comparados os resultados quantitativos de aço, de concreto e de custo global para quatro projetos com quatro fck diferentes, sendo eles fck 20 MPa, 30 MPa, 40 MPa e 50 MPa. Para os cálculos e dimensionamento da estrutura, foi utilizado o software Eberick versão 17.304 e, por meio dele, chegou-se aos resultados de materiais consumidos. Por meio de cotações de preços de aço e concreto com fornecedores locais, chegou-se à conclusão de que o concreto com o fck 30 MPa é o mais viável economicamente entre os fcks estudados.

Palavras-chave: Concreto; resistência característica; projeto estrutural.

ABSTRACT: *This article analyzes the impact that changes in the characteristic compressive strength of concrete (fck) have on the final cost of a project. The study is developed based on the structural design of a vertical multifamily building with a total area of 6,435.00 m². The analysis compared the quantitative results of steel, concrete, and overall cost for four projects with four different fcks, namely fck 20 MPa, 30 MPa, 40 MPa, and 50 MPa. We used Eberick software version 17.304 for calculations and dimensioning of the structure, and through this software, we obtained the results of materials consumed. The price quotations for steel and concrete from local suppliers indicated that concrete with a compressive strength (fck) of 30 MPa is the most economically viable option among the fcks studied.*

Keywords: concrete; characteristic strength; structural design.

¹ Professor Dr.- UNIFE. Engenheiro Civil : alexandre.maines@unifebe.edu.br

² Professor MSc.- UNIFE. Engenheiro Civil : celso.mafra@unifebe.edu.br

³ Professor MSc.- UNIFE. Engenheiro Civil : eliasriffel@unifebe.edu.br

⁴ Acadêmico do curso de Engenharia Civil – UNIFE : tulio.taboni@unifebe.edu.br

1 INTRODUÇÃO

O concreto representa grande parte dos custos de uma edificação, exercendo uma parcela considerável no custo final de um empreendimento, e no dimensionamento de estruturas de concreto armado a resistência característica à compressão (f_{ck}) do concreto deve ser considerada conforme as necessidades de projeto.

Segundo Bernardo (2014), as condições de agressividade do ambiente no qual a obra se encontra, confiabilidade de fornecedores regionais de concreto, tempo de execução de obra, as boas práticas no canteiro de obras e o custo, devem ser verificados durante a escolha do f_{ck} adequado na fase de elaboração do projeto.

Bernardo (2014) ainda destaca que o f_{ck} do concreto é um dos parâmetros principais de referência durante o dimensionamento de estruturas de concreto armado.

A norma brasileira NBR 6118:2023 normatiza os projetos de concreto armado com concretos divididos em grupo I e grupo II. Os concretos do grupo I têm f_{ck} de 20MPa até o 50MPa e concretos do grupo II têm f_{ck} de 55MPa até o 90MPa. Nesse contexto, a dúvida pode surgir entre construtores e projetistas sobre qual opção de f_{ck} é mais economicamente viável dentre a variedade de concretos disponíveis no mercado e as mais diversas formulações de projetos possíveis ficando a seguinte questão problema a analisar-se: qual F_{ck} analisado terá a melhor viabilidade econômica?

O presente artigo teve como objetivo principal estudar quais concretos do grupo I possuem a maior viabilidade financeira para um edifício de 11 pavimentos em concreto armado. Como ferramenta para obtenção do resultado proposto neste artigo utilizou-se o *software* de cálculo estrutural Eberick, no qual toda a modelação do edifício, assim como os quantitativos de materiais obteve-se considerando quatro resistências características à compressão diferente (f_{ck} 20MPa, f_{ck} 30MPa, f_{ck} 40MPa e f_{ck} 50MPa). O estudo empregado no resumo de materiais considerou apenas os quantitativos de concreto e aço para lajes, vigas e pilares, desconsiderando escadas, reservatórios, blocos de fundação e as suas respectivas estacas, assim como muros e contenções, sendo puramente estudada a estrutura geral do prédio.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONCEPÇÃO E ANÁLISE ESTRUTURAL

A concepção estrutural é a fase mais importante de um projeto estrutural, pois nesta fase se define o sistema estrutural, os materiais que serão empregados e as ações a serem consideradas, tendo como objetivo pré-dimensionar os elementos estruturais e prever o seu comportamento (Pinheiro, 2007).

Nas edificações a estrutura é o conjunto de elementos estruturais sendo eles lajes, vigas, pilares etc. (Assis, 2019).

O projeto arquitetônico representa a base para a elaboração do projeto. Este deve prever o posicionamento dos elementos para respeitar a distribuição dos diferentes ambientes nos diversos pavimentos. Mas não se deve esquecer de que a estrutura deve também ser coerente com as características do solo no qual ela se apoia (Pinheiro *et al.*, 2007).

Uma vez definida a localização dos pilares, vigas e lajes, parte-se para o pré-dimensionamento dos elementos estruturais. Nessa etapa, o engenheiro de estruturas precisa ter conhecimento do comportamento estrutural para determinar as dimensões dos elementos de maneira a obter um menor custo para a obra e respeitar prescrições feitas pela Norma. As dimensões dos elementos variam com as cargas, vãos, materiais, tipo estrutural entre outros (Soares; Debs, 1997).

2.2 SISTEMA ESTRUTURAL E MODELO ESTRUTURAL

De modo geral os sistemas estruturais de um pavimento de edifício são formados por lajes, vigas e pilares, ou somente por lajes apoiadas diretamente nos pilares. Cada um deles apresenta distintas alternativas, pois cada tipo de laje (maciça, nervurada, protendida etc.) e cada tipo de viga (armada, protendida etc.) apresentam características que devem ser analisadas ao serem combinadas (Clímaco, 2020).

Quando diferentes sistemas estruturais são possíveis sem vantagens técnicas significativas entre eles, o custo torna-se o fator principal na escolha do sistema. No custo leva-se em conta a mão de obra, os materiais, os equipamentos necessários entre outros. (Clímaco 2020).

Entende-se como estrutura convencional aquela em que as lajes se apoiam em vigas e as vigas sobre pilares (tipo laje-viga-pilar). Os sistemas estruturais formados por lajes, vigas e pilares são os mais comuns, na prática, tanto para as construções de pequeno porte como casas e sobrados, como as de grande porte, como edifícios de múltiplos pavimentos, escolas, hospitais e tantas outras. As lajes podem variar segundo vários tipos.

Nesse sistema, as paredes não têm função estrutural, servem apenas como divisórias (Clímaco 2020). Albuquerque (1999) ainda destaca que:

O lançamento da estrutura segue alguns critérios “Geralmente se inicia pela locação dos pilares no pavimento-tipo, que segue a seguinte ordem: pilares de canto, pilares nas áreas comuns a todos os pavimentos (região da escada e dos elevadores), pilares de extremidade (situados no contorno do pavimento) e finalmente pilares internos”.

O autor ainda complementa:

[...] a colocação das vigas vai depender do tipo de laje que será adotada, já que as vigas delimitam o contorno das lajes. Devem-se colocar as vigas no alinhamento das alvenarias e começar a definir as vigas externas do pavimento. Além daquelas que ligam os pilares que constituem os pórticos, outras vigas podem ser necessárias, para dividir um painel de laje com grandes dimensões. Com o posicionamento das vigas as lajes ficam praticamente definidas, faltando apenas, caso existam, as lajes em balanço”.

2.3 O CONCRETO ARMADO

Segundo Clímaco (2020), pode-se definir concreto armado como “o material estrutural constituído pela associação do concreto simples com uma armadura passiva, ambos resistindo solidariamente aos esforços a que a peça estiver submetida”. Esses materiais devem trabalhar em conjunto, sendo a aderência entre eles a propriedade que garante a solidariedade do conjunto.

Desse modo, o concreto armado, por meio da ação conjunta do concreto simples e o aço, torna-se um material adequado para constituir os elementos estruturais responsáveis por resistir e transmitir os esforços solicitantes (Clímaco, 2020).

Apresenta-se a seguir, algumas definições da resistência à compressão e do módulo de elasticidade do concreto que são propriedades mecânicas de fundamental importância no projeto de estruturas de concreto.

2.3.1 Resistência do concreto a compressão

A resistência do concreto a compressão é o parâmetro básico de dimensionamento de estruturas de concreto armado. Silva Filho (2011) destaca ainda que a resistência à compressão é usada como base pelo projetista para estimar, por meio de equações de correlações definidas nas normas, outros parâmetros de dimensionamento fundamentais, tais como: a resistência à tração, a resistência ao cisalhamento e ao módulo de elasticidade.

O parâmetro usado comumente para caracterizar a capacidade mecânica de um concreto acaba sendo a resistência característica à compressão, aos 28 dias de idade, denominada f_{ck} . Esse é o valor adotado como referencial pelo projetista estrutural Silva Filho (2011).

Para descobrir a resistência característica a compressão do concreto é realizado um ensaio que compreende o rompimento de um corpo de prova cilíndrico numa prensa hidráulica, nas medidas de 10x20 cm ou 15x30 cm, aos 28 dias após a sua produção.

Como definido pela NBR 6118:2014, o valor do f_{ck} do concreto é classificado em dois grupos, sendo: grupo I para concretos com f_{ck} C20, C25, C30, C35, C40, C45 e C50 e grupo II para concretos com f_{ck} C55, C60, C70, C80, C90 e C100, (Bastos, 2023).

Ainda, segundo a NBR 6118:2014, em situações normais, as resistências características para concreto deverão ser minoradas respectivamente pelos coeficientes de cálculo γ_c conforme equação 1.

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{f_{ck}}{1,4} \quad (1)$$

A resistência a compressão do concreto (f_{cd}) é o parâmetro variável de análise utilizado no presente trabalho.

2.3.2 Módulo de elasticidade do concreto

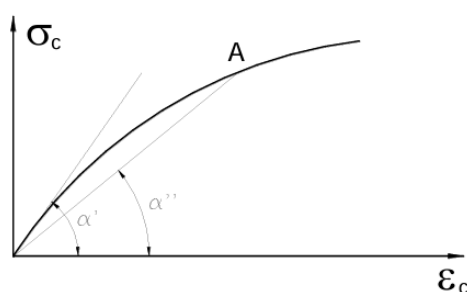
O módulo de elasticidade é um parâmetro numérico relativo à medida da deformação que o concreto sofre sob a ação de tensões, geralmente tensões de compressão, ou ainda, é uma medida da rigidez do material.

Um módulo de elasticidade alto indica um concreto mais rígido, capaz de suportar grandes cargas sem deformações excessivas, enquanto um módulo de elasticidade baixo pode resultar em estruturas mais flexíveis, que podem ser mais indicadas para aplicações que exijam maiores deformações.

Mehta & Monteiro (2014), *apud* Pacheco (2021) destacam que esta importante propriedade do concreto é afetada por diversos fatores, apresentando os seguintes fatores intervenientes: umidade do corpo de prova e condições de carregamento, módulo de elasticidade da matriz cimentícia e dos agregados, porosidade, composição da interface da zona de transição e fração volumétrica do concreto.

Para o concreto, quando submetido às tensões de compressão, a relação entre tensões e deformações ($\sigma \times \epsilon$) não se apresenta de forma linear, como indica a Figura 1.

Figura 1 - Relação tensão x deformação do concreto



Fonte - Bastos, 2023

2.4 DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO

O dimensionamento de uma estrutura deve assegurar que ela resista sem colapso e sem altas deformações às solicitações impostas a ela durante a sua vida útil. O dimensionamento de estruturas em concreto armado é feito pelo método dos estados-limites (Carvalho & Filho, 2014).

Estado-Limite é uma condição particular na qual uma estrutura não deve ultrapassar, e caso isso ocorra, será considerada imprópria à finalidade estrutural ou ao seu uso. Segundo a NBR 6118:2023, os Estados-Limites podem ser classificados de forma geral como: Estado-Limite Último (ELU) e Estado-Limite de Serviço (ELS). Como a análise da segurança feita pelo método dos estados-limite é um processo simplificado, em que modelos idealizados são colocados no lugar da estrutura real, precisamos contornar as incertezas existentes no cálculo. Dessa maneira, minoram-se as resistências e majoram-se as ações (Schaf, 2018).

2.4.1 Estados limites

No método dos estados-limites uma estrutura é considerada segura caso as solicitações decorrentes das cargas majoradas sejam inferiores aos valores das solicitações últimas como destacado a seguir:

As resistências dos materiais que compõem o pilar – o concreto e o aço – são minoradas por coeficientes de ponderação dos materiais, sendo, em geral, 1,4 para o concreto e 1,15 para o aço[...] assim, por exemplo, se no pilar for aplicado o concreto C30 (f_{ck} de 30 MPa = $3,0 \text{ kN/cm}^2 = 300 \text{ kgf/cm}^2$), o dimensionamento teórico será feito como se a resistência do concreto fosse menor, de valor $30/1,4 = 21,4 \text{ MPa}$. No caso do aço, se aplicado o aço CA-50, com resistência de início de escoamento (f_{yk}) de 500 MPa, o dimensionamento será feito como se a resistência do aço fosse menor, de valor $500/1,15 = 434,8 \text{ MPa}$. As resistências de 21,4 MPa para o concreto e 434,8 MPa para o aço são chamadas resistências de cálculo (Bastos, 2023, p.43)

Este é o método utilizado na ABNT NBR 6118:2023. Os estados limites podem ser classificados em:

- Estados limites últimos (ELU)

No item 3.2.1 a NBR 6118 define o Estado-Limite Último como: “estado-limite relacionado ao colapso, ou a qualquer outra forma de ruína estrutural, que determine a paralisação do uso da estrutura.” Entende-se que durante a vida útil da estrutura não se pode chegar jamais no ELU, segue listagem dos ELUs que devem ser verificados segundo a NBR 6118:2023:

a) estado-limite último da perda do equilíbrio da estrutura, admitida como corpo rígido; b) estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, devido às solicitações normais e tangenciais, admitindo-se a redistribuição de esforços internos, desde que seja respeitada a capacidade de adaptação plástica definida na Seção 14, e admitindo-se, em geral, as verificações separadas das solicitações normais e tangenciais; todavia, quando a interação entre elas for importante, ela estará explicitamente indicada nesta Norma;

c) estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, considerando os efeitos de segunda ordem;

d) estado-limite último provocado por solicitações dinâmicas (ver Seção 23);

e) estado-limite último de colapso progressivo;

f) estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo g) estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, considerando ações sísmicas, de acordo com a ABNT NBR 15421;

h) outros estados-limites últimos que eventualmente possam ocorrer em casos especiais ou em parte, considerando exposição ao fogo, conforme a ABNT NBR 15200;

(NBR 6118:2024, p.55).

- Estados limites de serviço (ELS)

A NBR 6118:2023 (item 10.4, p. 55) define que Estados-Limites de Serviço “são aqueles relacionados ao conforto do usuário e à durabilidade, aparência e boa utilização das estruturas, seja em relação aos usuários, seja em relação às máquinas e aos equipamentos suportados pelas estruturas.” Podendo gerar uma interpretação que varia a aplicabilidade da estrutura, alcançado o ELS, a utilização dessa estrutura pode ficar comprometida, como o caso de uma fábrica que opera com máquinas de alta sensibilidade que necessariamente precisam trabalhar em nível. Se a laje onde ela estiver sobreposta começar a apresentar flechas de serviço, muito provavelmente inviabilizará a operação. A seguir, estão apresentadas definições de ELS segundo a NBR 6118:2023:

A) Estado-limite de abertura das fissuras ELS-W estado em que as fissuras se apresentam com aberturas iguais aos máximos especificados em 13.4.2 (ver 17.3.3).

B) Estado-limite de deformações excessivas ELS-DEF estado em que as deformações atingem os limites estabelecidos para a utilização normal, dados em 13.3 (ver 17.3.2).

C) Estado-limite de descompressão ELS-D estado no qual, em um ou mais pontos da seção transversal, a tensão normal é nula, não havendo tração no restante da seção. Verificação usual no caso do concreto protendido (ver 13.4.2).

D) Estado-limite de descompressão parcial ELS-DP estado no qual se garante a compressão na seção transversal, na região onde existem armaduras ativas. Essa região deve se estender até uma distância a_p da face mais próxima da cordoalha ou da bainha de protensão (ver Figura 3.1 e Tabela 13.4).

E) Estado-limite de compressão excessiva ELS-CE estado em que as tensões de compressão atingem o limite convencional estabelecido. Usual no caso do concreto protendido na ocasião da aplicação da protensão (ver 17.2.4.3.2.a)

F) Estado-limite de vibrações excessivas ELS-VE estado em que as vibrações atingem os limites estabelecidos para a utilização normal da construção (NBR 6118:2024, p.55).

2.4.2 Ações solicitantes

As ações são quaisquer forças externas a estrutura (permanentes, variáveis ou acidentais, excepcionais e deslocamentos ou deformações impostas) capazes de produzir estados de tensão na estrutura. As solicitações são qualquer esforço interno na estrutura ou conjunto de esforços (forças normais e cortantes, momentos fletores e de torção) decorrentes das ações na estrutura (Clímaco, 2020).

As lajes transmitem as ações para as vigas, por meio das reações de apoio e as vigas suportam os seus pesos próprios, as reações provenientes das lajes, pesos de paredes e, ainda, ações de outros elementos que nelas se apoiem, por exemplo, as reações de apoio de outras vigas. Em geral, as vigas trabalham à flexão e a força cortante e transmitem as ações para os elementos verticais - pilares e pilares-parede - por meio das respectivas reações (Clímaco, 2020).

Os pilares e os pilares parede recebem as reações das vigas que neles se apoiam, as quais, com o peso próprio desses elementos verticais, são transferidas para os andares inferiores e, finalmente, para o solo, por meio dos respectivos elementos de fundação (Pinheiro *et al.*, 2007).

- **Ações permanentes:**

As ações permanentes são classificadas como as ações que ocorrem pouca variação dos seus valores com o passar do tempo, tendo uma constância nas suas definições. Assim sendo, são utilizados valores mais desfavoráveis para a segurança, ainda dentro das ações permanentes existem duas classificações, permanentes diretas (Considerado o próprio peso da estrutura e elementos construtivos, utilizando um valor médio de 2.500 kg/m³ para o concreto armado) e permanentes indiretas (em que se analisa a retração do concreto, deformações, deslocamento de apoios e deformações geométricas (Barboza, 2008).

- **Ações variáveis**

São aquelas que possuem variação conforme as suas quantidades e locações, são divididas em diretas (Cargas acidentais previstas para uso da construção [pessoas, moveis, água dos reservatórios e ação do vento) e indiretas (variações uniformes como clima e insolação) (Barboza, 2008).

Segundo a NBR 6118 item 10.2, a segurança de estruturas de concreto deve ser verificada nos estados-limites últimos e de serviço. Sendo definido o estado-limite último (ELU) como “estado-limite” relacionado ao colapso ou a qualquer outra forma de ruína estrutural, que determine a paralisação do uso da estrutura. Já o estado-limite de serviço (ELS) são aqueles relacionados ao conforto do usuário e à durabilidade, aparência e boa utilização das estruturas, seja relacionado aos usuários, seja em relação às máquinas e aos equipamentos suportados pelas estruturas (NBR 6118: 2024).

Um dos métodos de cálculo mais utilizados e recomendados é o método dos estados-limites no qual a segurança é verificada da seguinte maneira: “[...] pela comparação das solicitações decorrentes das ações, majoradas por coeficientes de ponderação (ou segurança), os esforços resistentes internos das seções, calculados considerando a minoração das resistências dos materiais, que podem ser causados por eventos desfavoráveis. Nesse método, busca-se simular o comportamento dos materiais concreto e aço no interior da peça, por meio de modelos sofisticados e realistas de análise estrutural, que considerem também previsões sobre o futuro da edificação” (Clímaco, 2020).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

De acordo com Gil (2002), esta pesquisa tem uma abordagem quantitativa, definida como uma natureza de pesquisa onde o método de coleta dão-se por meio de perspectivas quantitativas. A quantificação visa à coleta e análise de dados numéricos, no caso deste trabalho buscou quantificar os custos dos diferentes fcks listados neste trabalho, sendo eles: o fck 20, 30, 40 e 50 e como tais fcks influenciam diretamente na redução do consumo de aço da obra utilizada como base para o desenvolvimento deste estudo, para obter um fck ideal, visando o custo total da obra, para a unidade caso citada neste artigo.

Segundo os objetivos, a pesquisa se classifica como experimental, que constitui o delineamento mais prestigiado nos meios científicos. Consiste essencialmente em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis capazes de influenciá-lo e definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto. Trata-se, portanto, de uma pesquisa em que o pesquisador é um agente ativo, e não um observador passivo, como no caso deste trabalho, no qual se busca a hipótese do fck ideal para uma obra de 6.435 m² de área construída. Pesquisas experimentais têm dentre os seus objetivos testar hipóteses que estabelecem relações de causa e efeito entre as variáveis (Gil, 2002).

Em virtude das suas possibilidades de controle, as experiências oferecem garantia muito maior do que qualquer outro delineamento de que a variável independente causa efeitos na variável dependente, como neste caso a busca por um fck ideal para as características da obra utilizada e para a localização dela, tendo em vista que os preços de concreto e aço variam regionalmente.

Em relação aos procedimentos técnicos, esta pesquisa é do tipo bibliográfica e de estudo de caso. A pesquisa bibliográfica é construída na revisão de materiais já elaborados (livros, publicações periódicas e outros impressos), existindo pesquisas puramente bibliográficas; os estudos exploratórios, no geral, são descritos como bibliográficos. A parte experimental desta pesquisa se encontra no desenvolvimento de 4 projetos idênticos, isolando somente a variável fck que é o que realmente deseja-se analisar. A grande vantagem da pesquisa bibliográfica é poder estudar uma gama de informações muito maior do que um pesquisador sozinho poderia desenvolver. No caso deste artigo, a revisão bibliográfica buscou por dados sobre consumo de madeira em obras, e os detalhes e números provenientes de tais obras. O estudo de caso consiste no estudo profundo de um objeto de maneira que permita amplo e detalhado conhecimento sobre ele. Este trabalho visa formular uma hipótese referente ao fck adequado para a obra analisada, explorando uma situação da realidade denominada unidade caso (Gil, 2002).

A população utilizada como base na elaboração deste estudo de caso, com o resultado de maior viabilidade financeira, foi uma edificação predial multifamiliar vertical de 6.435 m², já que tal edificação foi projetada inteiramente em concreto armado, tendo sido elaborado com três pavimentos com laje maciça e os oito demais pavimentos feitos com laje nervurada com utilização de blocos de EPS a medida 40x40x20.

A amostra se enquadra nas 4 resistências características (fcks) diferentes utilizados, e o projeto estrutural do edifício multifamiliar vertical foi o mesmo, não tendo nenhuma alteração de geometria de uma amostra para outra, ou seja, cada amostra de fcks analisados para este estudo de caso teve o objetivo de encontrar objetivos diferentes, sendo esses resultados a alteração do consumo de aço (Gil, 2002).

A edificação adotada como unidade caso para a elaboração do projeto estrutural e obtenção dos dados quantitativos dos insumos consumidos (concreto e aço) foi um edifício residencial multifamiliar (ver Figuras 2 e 3).

A edificação tem área total de 6.435 m² construídos, tendo cada pavimento tipo com uma área 500 m², o pavimento térreo contém 700 m², já as garagens 1, 2 e pavimento diferenciado têm área 746 m², sendo 11 pavimentos constituídos por térreo (contendo duas salas comerciais, 20 vagas de garagem e uma acadêmica), garagem 1 (contendo 17 vagas de garagem), garagem 2 (contendo 17 vagas de garagem),

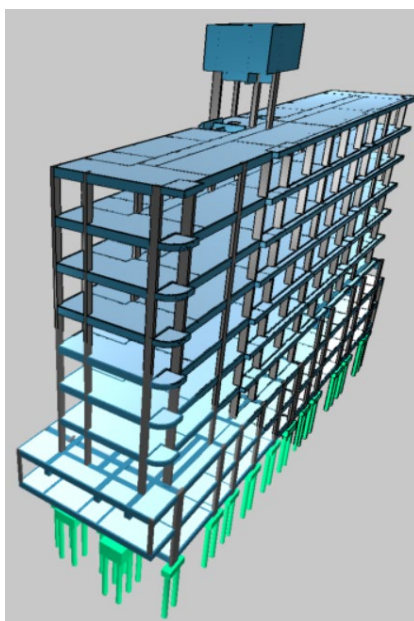
pavimento diferenciado (contendo três apartamentos, um salão de festas e 9 vagas de garagem), pavimento tipo constituído por seis repetições (ver Figura 7), laje de cobertura e caixa d'água.

Esta pesquisa foi desenvolvida por meio da elaboração de um projeto estrutural para uma edificação multifamiliar vertical no software *Eberick* versão 2024-9 [v. 17.304], e o programa segue os critérios estabelecidos pela norma brasileira NBR 6118:2023. Na análise é atendido o estado limite último (ELU) com verificação para o estado limite de serviço (ELS).

Após o lançamento da estrutura foi gerado o quantitativo de materiais, resultando em quatro quantitativos, um para cada fck escolhido (fck 20 MPa, 30 MPa, 40 MPa e 50 MPa), e a geometria das seções de pilares, vigas e lajes foram mantidas, ou seja, o volume de concreto não sofreu alteração, sendo igual para os 4 fcks escolhidos.

Os quantitativos e os seus respectivos custos estão apresentados no item 4 - resultados, em que cada fck e o seu respectivo consumo de aço.

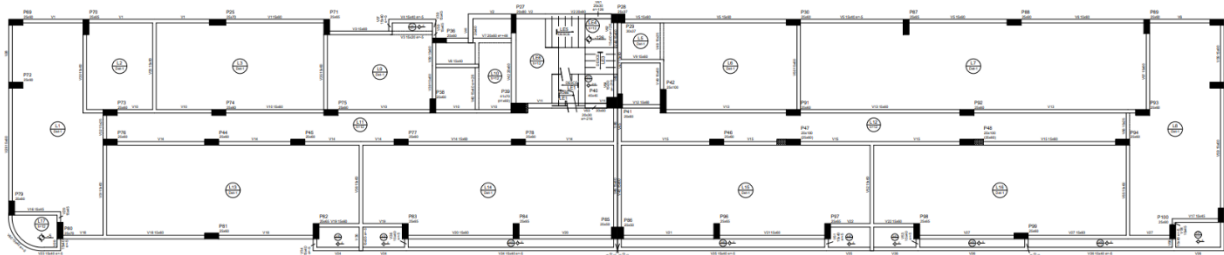
Figura 2 – Vista 3D através do software Eberick da edificação elaborada para este estudo



Fonte: autores (2024)

A Figura 3 representa o pavimento de formas do pavimento tipo 6, e cada pavimento tipo conta com laje nervurada de EPS com medidas de 40x40x20, outra característica importante dos pavimentos tipo é que cada tipo tem 9 apartamentos.

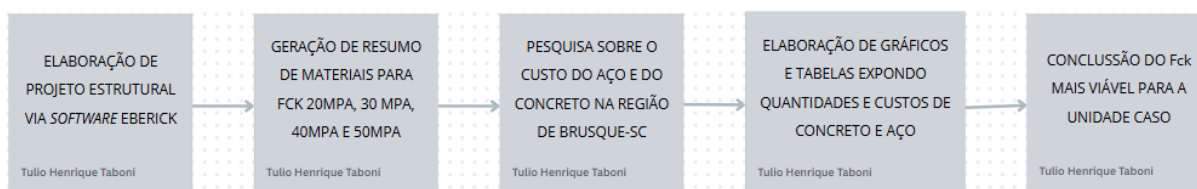
Figura 3 – Planta de formas do pavimento tipo x6



Fonte: autores (2024)

O delineamento da pesquisa pode ser exemplificado como um fluxograma demonstrado na Figura 4, na qual se pode enxergar a maneira como o método de pesquisa foi empregado.

Figura 4 – Fluxograma do método de pesquisa empregado



Fonte: autores (2024)

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após elaboração de projeto estrutural utilizando o software Eberick, comparando para o mesmo projeto 4 fcks diferentes, sendo eles 20 MPa, 30 MPa, 40 MPa e 50 MPa, apresenta-se os resultados obtidos.

4.1 ANÁLISE DE CONSUMO DE AÇO.

Nas Tabelas 1, 2, 3 e 4, estão apresentados os consumos de aço por elemento (vigas, pilares e lajes) para cada fck e o consumo global de aço para esses elementos. Como mencionado não se alterou a dimensão dos elementos e o volume de concreto fica o mesmo para toda a obra.

A Tabela 1 mostra os consumos de aço e concreto para o concreto de fck 20 Mpa, visando analisar o consumo de aço (kg/m^3) e o peso total de aço consumido (kg), assim como o volume de concreto (m^3).

Tabela 1 – Concreto fck 20 Mpa

		Vigas	Pilares	Lajes	Total
Peso total + 0% (kg)	CA50	41.997,9	15.794,5	17.226,6	75.019,0
	CA60	5.235,4	4.091,6	1.577,4	10.904,4
	Total	47.233,3	19.886,1	18.804,0	85.923,4
Volume concreto (m³)	C-20	449,3	245,3	630,3	1.324,9
Consumo de aço (kg/m³)		105,1	81,1	29,8	64,9

Fonte: autores (2024)

A Tabela 2 mostra os consumos de aço e concreto para o concreto de fck 30 Mpa, visando analisar o consumo de aço (kg/m³) e o peso total de aço consumido (kg), assim como o volume de concreto (m³).

Tabela 2 – Concreto fck 30 MPa

		Vigas	Pilares	Lajes	Total
Peso total + 0% (kg)	CA50	39.932,4	11.349,4	17.061,3	68.343,1
	CA60	5.438,7	4.372,0	1.567,1	11.377,8
	Total	45.371,1	15.721,4	18.628,4	79.720,9
Volume concreto (m³)	C-30	450,0	246,1	630,3	1.326,4
Consumo de aço (kg/m³)		100,8	63,9	29,6	60,1

Fonte: autores (2024)

A Tabela 3 mostra os consumos de aço e concreto para o concreto de fck 40 Mpa, visando analisar o consumo de aço (kg/m³) e o peso total de aço consumido (kg), assim como o volume de concreto (m³).

Tabela 3 – Concreto fck 40 MPa

		Vigas	Pilares	Lajes	Total
Peso total + 0% (kg)	CA50	38.515,0	10.564,4	16.889,6	65.969,0
	CA60	5.300,7	4.328,4	1.575,3	11.204,4
	Total	43.815,7	14.892,8	18.464,9	77.173,4
Volume concreto (m³)	C-40	450,0	246,1	630,3	1.326,4
Consumo de aço (kg/m³)		97,4	60,5	29,3	58,2

Fonte: autores (2024)

A Tabela 4 demonstra os consumos de aço e concreto para o concreto de fck 50 Mpa, visando analisar o consumo de aço (kg/m³) e o peso total de aço consumido (kg) assim como o volume de concreto (m³).

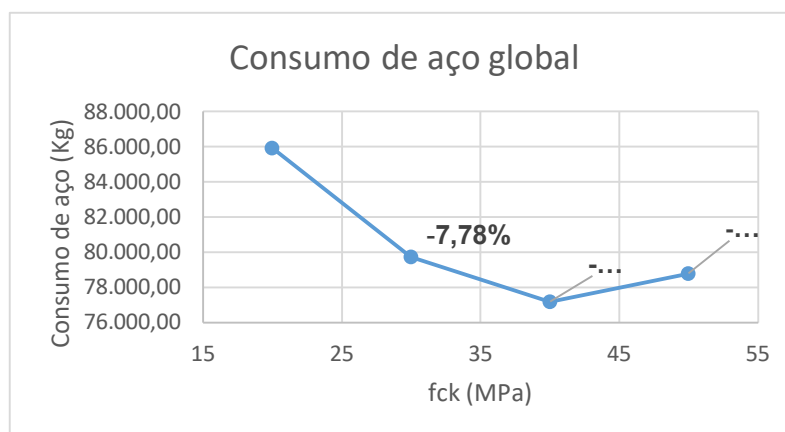
Tabela 4 – Concreto fck 50 MPa

		Vigas	Pilares	Lajes	Total
Peso total + 0% (kg)	CA50	38.856,0	11.794,6	19.319,7	69.970,3
	CA60	5.168,9	3.466,9	172,8	8.808,6
	Total	44.024,9	15.261,5	19.492,5	78.778,9
Volume concreto (m³)	C-50	450,0	246,1	630,3	1.326,4
Consumo de aço (kg/m³)		97,8	62,0	30,9	59,4

Fonte: autores (2024)

O Gráfico 1 ilustra o consumo global de aço da estrutura. Como mencionado não se alterou a dimensão dos elementos e o volume de concreto fica o mesmo para toda a obra.

Gráfico 1 – Consumo de aço global da estrutura em função do fck



Fonte: autores (2024)

4.2 ANÁLISE DE CUSTO GLOBAL AÇO X CONCRETO.

Apresentado os quantitativos de materiais apresenta-se a seguir a composição de custo global do concreto armado, tendo como base de preços uma pesquisa realizada com quatro concreteiras regionais da cidade de Brusque–SC, e uma pesquisa com dois grandes fornecedores de aço que atendem o mercado nacional. O levantamento foi feito em novembro de 2024.

Os resultados estão apresentados nas Tabelas 5, 6 7 e 8 para cada fck.

A Tabela 5 mostra os custos para o concreto de fck 20 Mpa, em que relaciona um valor médio dos custos de concreto, por meio de uma média aritmética. Outro número mencionado é o custo total de aço consumido, e o custo global da soma dos valores de aço e concreto consumidos no montante da obra.

Tabela 5 – Custos do fck 20 Mpa

CONCRETO				
CONCRETEIRA 1	CONCRETEIRA 2	CONCRETEIRA 3	CONCRETEIRA 4	MÉDIA
R\$ 475,00	R\$ 490,00	R\$ 480,00	R\$ 475,00	R\$ 480,00
R\$ 629.327,50	R\$ 649.201,00	R\$ 635.952,00	R\$ 629.327,50	R\$ 635.952,00
AÇO				
CA 50	R\$ 5,70	R\$ 427.608,30		
CA 60	R\$ 7,65	R\$ 83.418,66		
SOMATÓRIO		R\$ 511.026,96		
AÇO + CONCRETO =		R\$ 1.146.978,96		

Fonte: autores (2024)

A Tabela 6 mostra os custos para o concreto de fck 30 Mpa, em que relaciona um valor médio dos custos de concreto, por meio de uma média aritmética. Outro número mencionado é o custo total de aço consumido, e o custo global da soma dos valores de aço e concreto consumidos no montante da obra.

Tabela 6 – Custos do fck 30 MPa

CONCRETO				
CONCRETEIRA 1	CONCRETEIRA 2	CONCRETEIRA 3	CONCRETEIRA 4	MÉDIA
R\$ 495,00	R\$ 519,00	R\$ 495,00	R\$ 495,00	R\$ 501,00
R\$ 656.568,00	R\$ 688.401,60	R\$ 656.568,00	R\$ 656.568,00	R\$ 664.526,40
AÇO				
CA 50	R\$ 5,70	R\$ 389.555,67		
CA 60	R\$ 7,65	R\$ 87.040,17		
SOMATÓRIO		R\$ 476.595,84		
AÇO + CONCRETO =		R\$ 1.141.122,24		

Fonte: autores (2024)

A Tabela 7 mostra os custos para o concreto de fck 40 Mpa, em que relaciona um valor médio dos custos de concreto, por meio de uma média aritmética. Outro número mencionado é o custo total de aço consumido, e o custo global da soma dos valores de aço e concreto consumidos no montante da obra.

Tabela 7 – Custos do fck 40 MPa

CONCRETO				
CONCRETEIRA 1	CONCRETEIRA 2	CONCRETEIRA 3	CONCRETEIRA 4	MÉDIA
540,0	590,0	529,0	521,0	R\$ 545,00
R\$ 716.256,00	R\$ 782.576,00	R\$ 701.665,60	R\$ 691.054,40	R\$ 722.888,00
AÇO				
CA 50	R\$ 5,70	R\$ 376.023,30		
CA 60	R\$ 7,65	R\$ 85.713,66		
SOMATÓRIO		R\$ 461.736,96		
AÇO + CONCRETO =		R\$ 1.184.624,96		

Fonte: autores (2024)

A Tabela 8 mostra os custos para o concreto de fck 50 Mpa, em que relaciona um valor médio dos custos de concreto, por meio de uma média aritmética. Outro número mencionado é o custo total de aço consumido, e o custo global da soma dos valores de aço e concreto consumidos no montante da obra.

Tabela 8 – Custos do fck 50 MPa

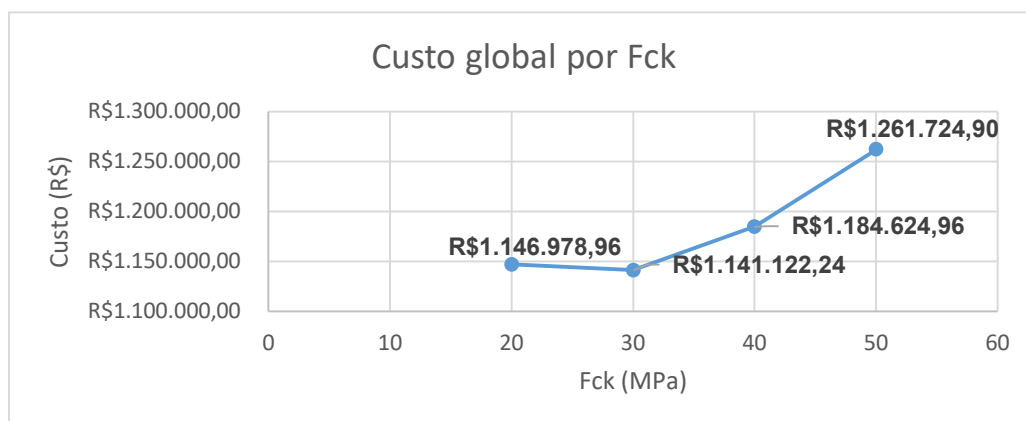
CONCRETO				
CONCRETEIRA 1	CONCRETEIRA 2	CONCRETEIRA 3	CONCRETEIRA 4	MÉDIA
560,0	665,0	574,0	600,0	R\$ 599,75
R\$ 742.784,00	R\$ 882.056,00	R\$ 761.353,60	R\$ 795.840,00	R\$ 795.508,40
AÇO				
CA 50	R\$ 5,70	R\$ 398.830,71		
CA 60	R\$ 7,65	R\$ 67.385,79		
SOMATÓRIO		R\$ 466.216,50		
AÇO + CONCRETO =		R\$ 1.261.724,90		

Fonte: autores (2024)

4.3 ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO GLOBAL AÇO X CONCRETO.

Este item, no Gráfico 2, apresenta um comparativo global de preços entre os projetos dimensionados com os fcks relativos. Os preços apresentados são os preços de quantidades de aço e de concreto para cada fck.

Gráfico 2 – Custo global por fck



Fonte: autores (2024)

4.4 CLASSE DE AGRESSIVIDADE

Vale ressaltar que este projeto foi elaborado, visando a classe de agressividade I conforme NBR 6118:2023, e conforme ela ressalta quanto maior o valor do fck adotado, a obra tem possibilidade de se localizar em áreas com maior classe de agressividade, por exemplo, classe II ou III, onde áreas litorâneas com proximidade da maresia podem ser extremamente agressivas com a estrutura.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando as tabelas e gráficos, constatamos que a resistência característica para o concreto C30 apresenta maior viabilidade econômica em todos os casos citados: fck 20 MPa, 30 MPa, 40 MPa e 50 MPa, o fck 30 MPa.

Adotando os resultados do concreto com fck 20 como referência, têm-se que os seguintes resultados financeiros comparativos: fck 30 MPa com redução de 0,51%, ou seja, R\$ 5.856,72; fck 40 com acréscimo de 3,17%, ou seja, R\$ 37.646,00; fck 50 com acréscimo de 9,09%, ou seja, R\$ 114.745,94.

Como demonstrado no Gráfico 3, que mostra a reta do custo total (aço + concreto), é possível visualizar que o concreto com fck 30 MPa apresentou um posicionamento abaixo dos demais.

Um ponto importante a se ressaltar é que na interpretação das Tabelas 1, 2, 3 e 4, nas quais os resultados para consumo de aço estão apresentados. Nota-se que ocorrem reduções do fck 20 (85.923,4 kg) para o 30 (79.720,9Kg), assim como para o 40 (77.173,4 kg). Porém, para o fck 50 (78.778,9 kg), ocorre um pequeno aumento no consumo do aço no valor de 1.644,5 kg. Tal aumento se justifica pela exigência de adoção de taxas mínimas de armadura, como determina a norma de concreto.

Com relação à questão problema proposta, que buscou responder qual dos fcks analisados tem a melhor viabilidade econômica, demonstrou-se que o concreto com fck 30Mpa apresenta menor custo comparativo e tem maior viabilidade econômica para a obra estudada.

Destaque-se que a pesquisa alterou apenas a resistência característica do concreto (fck) para cada análise feita. Não foram ajustadas as dimensões dos elementos estruturais para cada fck estudado, o que pode ser apontado como uma limitação do estudo. Fica, dessa forma, apontada esta análise para trabalhos futuros.

A pesquisa desenvolvida representa uma importante contribuição para o setor de construção civil por destacar a influência da resistência do concreto no custo global de uma edificação, além de realizar comparativo entre distintos concretos com resistências variadas e apontar aquele que mostrou melhor desempenho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2024.

ASSIS, Natália de Oliveira. **Processo de dimensionamento de estruturas em concreto armado utilizando o programa TQS**. 2019.

BARBOZA, Marcos Robiati; BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. Concepção e análise de estruturas de edifícios em concreto armado. **Relatório Final de Iniciação Científica–Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru**, 2008.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do concreto armado**. Bauru: Unesp, 2023.

BERNARDO, J. N. D. **Análise da influência da resistência característica à compressão do concreto (fck) no dimensionamento estrutural de um edifício residencial em concreto armado**. Artigo submetido ao Curso de Engenharia Civil da UNESC - como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Civil, 2014.

CLÍMACO, J. C. T. S. **Estruturas de concreto armado: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação**. Brasília, Editora Universidade de Brasília, Finatec, 2020.

MATIAS, Fernanda. **Avaliação da influência da resistência à compressão**

do concreto no custo do sistema estrutural de um edifício de cinco pavimentos. 2019. UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense– 2011/01

MATIAS, F. **Avaliação da influência da resistência à compressão do concreto no custo do sistema estrutural de um edifício de cinco pavimentos**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2019.

PINHEIRO, Libânio M. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS Departamento de Engenharia de Estruturas São Carlos–SP, maio de 2007.

PACHECO, J.; BILESKY, P.; MORAIS, T.; GRANDO, F.; HELENE, P. **Considerações sobre o Módulo de Elasticidade do Concreto**. CBC012, IBRACON, 2014.

SILVA FILHO, L.C.P., HELENE, P. **Análise de Estruturas de Concreto com Problemas de Resistência e Fissuração**. IBRACON, 2011.

SOARES, Rodrigo de Carvalho; EL DEBS, A. L. H. C. **Otimização de seções transversais de concreto armado sujeitas à flexão: aplicação a pavimentos**. 1997. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado)–Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo

REAPROVEITAMENTO DO BAGAÇO DE MALTE NA ELABORAÇÃO DE ALIMENTOS FUNCIONAIS

REUSE OF MALT MAGASS IN THE PREPARATION OF FUNCTIONAL FOODS

Arlete de Oliveira Fernandes ¹

Enéias Maffezzolli ²

Luana Gabrieli Bach Rupolo ³

Rafaela Bohaczuk Venturelli Knop⁴

Ricardo Siewerdt ⁵

Raquel Bonati Moraes Ibsch ⁶

RESUMO: O reaproveitamento de resíduos da indústria de alimentos é uma tendência crescente impulsionada pela busca por sustentabilidade, economia circular e redução de impactos ambientais. Entre os subprodutos mais promissores está o bagaço de malte, gerado em grandes volumes pelas cervejarias. Rico em fibras, proteínas e compostos bioativos, esse resíduo apresenta elevado potencial para aplicação em produtos alimentícios funcionais, contribuindo para o desenvolvimento de alimentos mais saudáveis e de alto valor agregado. Além disso, seu reaproveitamento pode reduzir os custos de descarte e promover práticas industriais mais responsáveis, alinhadas às demandas por inovação sustentável no setor alimentício. Desse modo, este estudo destacou a utilização do bagaço de malte em algumas receitas aplicadas à alimentação humana. Para tanto, o processo de coleta deve ser realizado logo após o descarte, ao final da produção da cerveja, uma vez que se trata de uma matéria-prima que se deteriora rapidamente. Nesta pesquisa, o bagaço foi seco e moído e utilizado em quatro receitas diferentes, sendo duas doces e duas salgadas: bolo de maçã, brownie de chocolate, bolinho de linguiça calabresa e queijo, e pão salgado com ervas finas. Após o preparo, os produtos foram submetidos à avaliação sensorial, apresentando boa aceitação tanto nas versões doce quanto salgada. Dessa forma, o objetivo da pesquisa fica evidenciado, confirmando o potencial do bagaço de malte para o aproveitamento na alimentação humana e promovendo práticas mais sustentáveis.

Palavras-chave: bagaço de malte; reaproveitamento; alimentos.

ABSTRACT: *The reuse of food industry residues is a growing trend driven by the pursuit of sustainability, circular economy, and the reduction of environmental impacts. Among the most promising by-products is brewers' spent grain, produced in large quantities by breweries. Rich in fiber, proteins, and bioactive compounds, this residue has significant potential for application in functional food products, contributing to the development of healthier, high-value-added foods. Furthermore, its reuse can reduce disposal costs and promote more responsible industrial practices aligned with the demands for sustainable innovation in the food sector. Thus, this study highlighted the use of malt pomace in some recipes applied to human nutrition. To achieve this, the*

¹ Acadêmica do curso de Engenharia Química - UNIFEBE. *E-mail:* arlete.fernandes@unifebe.edu.br

² Mestre em Eng. Química. Docente - UNIFEBE. *E-mail:* leneias.maffezzolli@unifebe.edu.br

³ Mestre em Ciência e Tec Ambiental. Docente - UNIFEBE. *E-mail:* luana.rupolo@unifebe.edu.br

⁴ Doutora em Eng. Química. Docente - UNIFEBE. *E-mail:* rafaela.knop@unifebe.edu.br

⁵ Mestre em Educação. Docente - UNIFEBE. *E-mail:* ricardo.siewerdt@unifebe.edu.br

⁶ Mestre em Eng. Química. Docente e Orientadora - UNIFEBE. *E-mail:* raquel.moraes@unifebe.edu.br

collection process must be conducted immediately after disposal, at the end of beer production, as this raw material deteriorates quickly. In this research, we dried the spent grain, milled it, and used it in four different recipes—two sweet and two savories: apple cake, chocolate brownie, calabrese sausage and cheese bites, and savory bread with fine herbs. After preparation, the products underwent sensory evaluation, showing good acceptance in both sweet and spicy versions. Thus, we reached the objective of demonstrating the potential of brewers' spent grain for human food applications and promoting more sustainable practices.

Keywords: *malt pomace; reuse; food.*

1 INTRODUÇÃO

O número de cervejarias registradas no Brasil, em 2023, apresentou um crescimento de 6,8%, totalizando 1.847 estabelecimentos. Esse aumento representa 118 novas cervejarias, conforme dados do anuário da cerveja 2024. Outro dado importante é o aumento de exportações e a diminuição das importações de cervejas, impulsionando o mercado interno (Brasil, 2024).

Ainda segundo o Anuário da Cerveja 2024, publicado pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), é apresentada a evolução constante do setor cervejeiro no Brasil, destacando não apenas o crescimento no número de cervejarias e no volume de exportações, mas também a preferência crescente dos brasileiros pelas cervejas nacionais. Com um mercado em expansão e consumidores cada vez mais exigentes, o futuro da cerveja no Brasil promete ser ainda mais próspero e diversificado. Com o número crescente de cervejarias, consequentemente, há um aumento dos resíduos provenientes dessa produção.

O processo de produção de cerveja gera em torno de 60 resíduos sólidos e líquidos, nos quais podem ser incluídos: o bagaço de malte, a levedura de cerveja, sedimento das dornas (*trub*), gases, resíduos de envase (Rodrigues, 2022). É na produção do mosto, mais especificamente na etapa de fervura, na qual ocorre a formação do *trub* (resíduo de lúpulo) quente (Asevedo; Fontoura; Santos, 2020).

Dentre esses resíduos, o bagaço de malte, chamado em inglês de *Beer Spent Grain (BSG)*, é considerado o principal, por corresponder a cerca de 85% dos resíduos gerados. Esse montante, quando descartado de maneira inadequada, representa, em escala mundial, um grande problema (Mussatto *et al.*, 2008; Townsley, 1979).

Segundo Mussatto *et al.* (2008), esses resíduos possuem características que possibilitam, em muitos casos, serem reutilizados em outros processos industriais, o que, além de auxiliar na sua gestão, podem ser transformados em matérias-primas para a produção de novos produtos, em vez de serem descartados.

Considerado um resíduo lignocelulósico gerado em abundância pela indústria cervejeira, o bagaço de malte é constituído basicamente pela casca do malte e restos de polpa (endosperma do grão), rico em fibras (aproximadamente 70%), proteínas (entre 15 e 26,2%), lipídeos (entre 3,9 e 10%), cinzas (2,5 a 4,5%), aminoácidos, vitaminas e compostos fenólicos. O bagaço é geralmente utilizado na alimentação animal de ruminantes e aves, e pesquisas abordam a sua utilização também na alimentação humana, na forma de produtos de panificação (Saraiva, 2018).

Em termos de composição, o bagaço de malte possui um elevado teor de fibras, além de compostos fenólicos e atividade antioxidante (Morosini, 2018).

Sabemos que a alimentação é um processo fundamental na vida das pessoas. Porém, é necessário que nossa alimentação seja variada a fim de oferecer, de maneira equilibrada, os nutrientes básicos (carboidratos, proteínas, lipídeos, vitaminas e sais minerais) de que precisamos para o crescimento, manutenção da saúde e do bem-estar. Nos últimos anos, a maioria da população vem tomando consciência da importância de uma alimentação saudável e funcional (Cañas; Braibante, 2024).

Segundo Araya e Lutz (2003), o termo “alimento funcional” foi utilizado pela primeira vez em 1984, no Japão, por meio de programas governamentais, visando desenvolver alimentos saudáveis para uma população com elevada expectativa de vida. A partir de então, o interesse por uma alimentação saudável, e as evidências científicas de que os alimentos funcionais são benéficos para a saúde vêm contribuindo para o consumo desses alimentos (Pinheiro; Cerqueira; Vicente, 2013).

Em sua revisão bibliográfica, Silva e Orlandelli (2019) explicam que a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) não define alimento funcional, mas sim a alegação de propriedade funcional e estabelece as diretrizes para sua utilização e as condições de registro para alimentos com alegação de propriedade funcional. Os componentes funcionais podem ser classificados de duas formas: quanto à fonte, de origem natural, seja vegetal ou animal, e quanto aos benefícios que oferecem, atuando em seis áreas do organismo: sistema gastrointestinal, sistema cardiovascular, metabolismo de substratos, crescimento, desenvolvimento e diferenciação celular, comportamento das funções fisiológicas e como antioxidantes (Henrique *et al.*, 2018).

Diante das informações apresentadas, este estudo tem por objetivo reutilizar o bagaço de malte, considerado um composto com grande potencial de retorno, seja financeiro, seja para a alimentação, além das considerações referentes a minimizar impactos ambientais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PRODUÇÃO DE CERVEJA

A cerveja deve ser produzida obrigatoriamente de cevada, mas às vezes, podem ser acrescentados a ela outros cereais, como trigo, aveia, arroz, milho, embora esses sejam bem mais difíceis de maltear. Em outras ocasiões, podem ser utilizados com adjuntos *não maltados* – inscrição facilmente encontrada nas cervejas produzidas pelas grandes cervejarias. O grão de cevada é muito parecido com o trigo. Na composição da cerveja, ele é a principal fonte de amido, cuja estrutura é modificada no processo de maltagem (Morado, 2017).

Segundo Rosa e Afonso (2014), o processo de produção da bebida pode ser dividido basicamente em quatro etapas principais, sendo elas: 1-brassagem; 2-maturação e fermentação; 3-filtração; 4-pasteurização e envasamento.

O processo de brassagem tem início na chamada sala de fabricação, onde o malte e adjuntos são misturados à água e cozidos visando a obtenção do mosto. Segundo Tozzeto (2017), o mosto pode ser definido como uma solução aquosa de açúcares que serve para alimentar as bactérias que realizam a fermentação, dando origem ao álcool. Essa etapa é subdividida nos seguintes processos:

- **Moagem:** visa o rompimento da casca do grão do cereal para exposição do amido interno, realizado em equipamentos como moinhos de rolo ou martelos.
- **Maceração:** consiste na mistura dos grãos moídos com água aquecida a uma temperatura em torno de 65 °C com o intuito de ativar as enzimas presentes nos grãos.
- **Filtração:** após a maceração, a temperatura do mosto cai de 80 °C a 100 °C para cerca de 75 °C a 78 °C em um trocador de calor, passando por um filtro para remoção das cascas presentes. O resíduo sólido gerado é denominado de bagaço de malte.

- **Fervura do mosto:** o mosto é então aquecido a uma temperatura de 100 °C por um período de 60 a 90 minutos para ocorrer sua estabilização.
- **Clarificação:** a presença de partículas residuais ou de outras fontes pode comprometer a qualidade do próximo processo de fabricação da cerveja, o qual é a fermentação. Com isso, realiza-se, na maioria das vezes, um processo de decantação, resultando do resíduo chamado trub grosso;
- **Resfriamento:** após a realização do processo de clarificação, o mosto é resfriado em um trocador de calor a uma temperatura que chega entre 6 °C e 12 °C, preparando-o para a fermentação (Lamarca, 2022).

Após o resfriamento, o mosto recebe a levedura (fermento) e é armazenado nos fermentadores, que são tanques destinados a esta função. Acondicionado, o fermento transforma o açúcar em álcool e gás carbônico, alcançando a energia necessária para sua sobrevivência. Nesse processo, deve-se manter um controle preciso da temperatura que varia entre 10 °C e 13 °C, para que o fermento produza cerveja com o sabor esperado. A levedura produz também substâncias responsáveis pelo sabor e aroma da bebida, embora em quantidades pequenas (Sindcerv, 2019).

Finalizada a etapa de maturação, a cerveja passa por filtração para a retirada de partículas em suspensão, principalmente células de levedura e substâncias de cor desagradável (como pectina e a proteína retirada da proteção rígida do lúpulo), com o objetivo de proporcionar limpidez à bebida. O resíduo sólido gerado nesta etapa do processo é chamado de torta de filtração ou trub fino, contendo altos índices de nitrogênio (Lamarca, 2022).

Última fase do processo produtivo, o envase consiste na colocação da cerveja pronta em recipientes, sendo os mais comuns barris, garrafas ou latas, para o produto ser comercializado. Deve-se ter grande cuidado nesta etapa com possíveis fontes de contaminação, perda de gás e contato da bebida com nitrogênio, garantindo a qualidade da cerveja (Silva *et al.*, 2018).

Por fim, as bebidas envasadas em garrafas e latas seguem para o processo de pasteurização, já as envasadas em barris não passam por esse processo, consequentemente possuindo uma menor vida de prateleira por não passar por um processo de esterilização (Lamarca, 2022).

O resíduo da filtração da produção cervejeira, o bagaço de malte (BSG), é o principal subproduto da indústria cervejeira, constituindo 85% do total do que é gerado no processo de produção da cerveja. (Allegretti *et al.*, 2022).

Para Lynch, Steffen e Arendt (2016), o BSG é um material lignocelulósico em cuja composição os principais constituintes são hemiceluloses, celulose, proteínas e lignina, e os altos teores de fibras e proteínas o tornam fundamental para diversas aplicações. Além dessa composição, o BSG também possui aminoácidos, minerais, lipídios e cinzas. Segundo Mussato (2014), trata-se de um subproduto riquíssimo, podendo ser utilizado como matéria-prima para aplicação em diversas áreas devido ao grande volume gerado, baixo custo de obtenção e disponibilidade durante o ano todo.

É importante ressaltar que existe um movimento das empresas em direção às mudanças no ambiente de negócios, com inserção de novas tecnologias, estratégias e práticas mais sustentáveis (Rodrigues, 2022). Essa movimentação das empresas atende aos princípios da economia circular e exerce papel fundamental para a redução do impacto ambiental por buscar reduzir o descarte de resíduos. Essa prática fortalece toda a cadeia de reciclagem e reutilização dos resíduos, além de buscar uma produção mais sustentável. Isso viabiliza a otimização do uso de recursos, promovendo a inovação tecnológica, facilitando a criação de soluções eficientes no que se refere ao gerenciamento dos resíduos, trazendo inúmeros benefícios ao meio ambiente, à economia e à sociedade (Ohde *et al.*, 2018; Rodrigues, 2022).

Em um estudo realizado por Pestana (2022), sobre a reutilização do bagaço de malte, publicado pela Universidade de Minho, em Portugal, os pesquisadores revelaram que o bagaço de malte, ou resíduo úmido de cerveja, representa cerca de 85% dos subprodutos advindos do processo produtivo da cerveja. E a cada 100 litros de cerveja produzidos, são gerados 20 kg de bagaço. A pesquisa concluiu, ainda que, apesar da grande disponibilidade, esse resíduo orgânico recebeu pouca atenção como uma mercadoria comerciável. No entanto, devido à sua composição química, rica em carboidratos e compostos fenólicos, pode ser valiosa como matéria-prima em diversos processos para a produção de compostos de valor agregado. O bagaço possui excelentes características para reaproveitamento como matéria-prima para a produção de xilitol (adoçante natural), ácido lático (usado pela indústria alimentícia e cosmética) e compostos fenólicos (antioxidantes importantes do ponto de vista nutricional).

Outro estudo, realizado por Mussato *et al.* (2006), submeteu o bagaço de malte a um processo de hidrólise com ácido sulfúrico diluído, visando produzir um hidrolisado contendo xilose como açúcar principal. Os hidrolisados com diferentes concentrações de xilose foram empregados como meio de fermentação pela levedura *Candida guilliermondii*, para produção de xilitol. Os resultados revelaram que o hidrolisado de bagaço de malte apresenta grande potencial para a produção biotecnológica de xilitol, uma vez que elevados fatores de conversão de substrato em produto foram obtidos nos processos fermentativos.

Pabbathi (2022) afirma que é possível obter ácido láctico de biomassa lignocelulósica, sendo esse sacarificado por meio de métodos químicos ou então por fermentação realizada por bactérias ácido lácticas, tais como: *Lactobacillus delbrueckii*, *Lactobacillus pentosus* e *Lactobacillus rhammosus*.

Outras áreas de utilização do bagaço de malte são a produção de farinha (Rêgo e Brito, 2021), de bioetanol (Lima *et al.*, 2014), de ração animal (Gomes, 2010), de carvão ativado (Franciski, 2018), de pectinases (Da Silva *et al.*, 2021), de *gelato* cervejeiro (Nascimento, 2020), entre outras aplicações; porém, mesmo com todas as áreas de reaproveitamento deste resíduo descritas, os reaproveitamentos não conseguem recorrer ao uso de todo o bagaço de malte gerado.

2.2 MALTAGEM

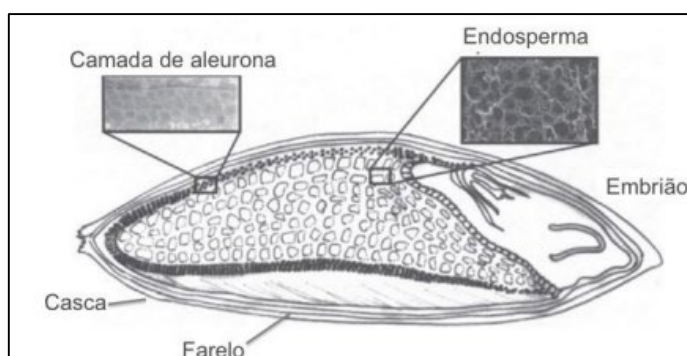
A cevada é o principal cereal utilizado mundialmente para o processo de maltagem, podendo-se utilizar as cevadas dísticas (mais amido e menos proteína) ou as cevadas hexásticas (menos amido) para a produção de malte (Gupta *et al.*, 2010).

Tipicamente, a casca representa cerca de 10-12% do peso seco total do grão de cevada (Palmer, 2006), no entanto, esse valor pode chegar até aos 25%, dependendo de fatores como a variedade de cevada cultivada e as condições climáticas durante o crescimento da planta (Evers *et al.*, 1999).

O grão de cevada é formado por uma cariopse revestida por uma casca (Figura 1) que desempenha uma importante função protetora desde a colheita (Olkku *et al.*, 1995) até o processo de maltagem (Meredith *et al.*, 1962).

A casca é composta por β -glucanas, celulose, lenhina e pentosanas que se encontram presentes como componentes das paredes celulares (Lewis e Young, 1995). É também possível encontrar na sua composição compostos fenólicos e substâncias minerais (Briggs, 1978).

Figura 1 – Estrutura de um grão de cevada



Fonte: Adaptado de Fox (2010).

O processo de maltagem pode ser descrito, de uma forma bastante sucinta, como consistindo na germinação e secagem controladas do grão de cevada. É o processo de conversão do cereal em malte, fundamental para a qualidade e a personalidade da cerveja. A composição do malte é responsável pela cor e pelo paladar da bebida e também influi diretamente na espuma e no corpo da cerveja. Além disso, no processo de fabricação da cerveja, o fermento (leveduras) irá converter os açúcares fermentáveis do malte em álcool e gás carbônico (Morado, 2017).

Para transformar o cereal em malte, os grãos são umedecidos a ponto de iniciarem a germinação. Quando o grão começa a germinar, produz enzimas que quebram parcialmente o amido e as proteínas. A intensidade desta quebra é chamada grau de modificação do malte, e é fundamental na formação do sabor e dos aromas do malte. Nesse ponto, temos o malte verde que, após a secagem ou torrefação, se tornará o malte propriamente dito – matéria-prima tanto na fabricação da cerveja quanto na de uísque (Morado, 2017).

Como o processo de secagem e de torrefação determina a cor (quanto mais torrado o malte, mais escura a cerveja), o aroma (caramelo, chocolate, café etc.) e algumas outras características importantes do produto final, sua escolha permite ao cervejeiro uma ampla variedade de combinações (Lima; Filho, 2011).

Os grãos secos a temperaturas mais baixas produzem maltes para uma cerveja dourada como a *Pilsner*, apresentando um malte com característica suave, leve e doce. O malte claro da clássica cerveja britânica é resultado da secagem dos grãos em temperaturas um pouco mais elevadas, fornecendo um produto com alguma coloração e sabor seco (Morado, 2017).

Após o processo produtivo da cerveja, temos o resíduo de interesse para este estudo, o bagaço de malte. Como esse resíduo está úmido, é necessário secá-lo para a moagem, prolongando seu tempo de vida-de-prateleira, reduzindo a possibilidade de uma contaminação por microrganismos por meio da redução de sua atividade de água. Após esse processo de secagem, o resíduo pode ser triturado a fim de obter uma granulometria mais fina, sendo então denominado como farinha de resíduo de malte, pronto para ser utilizado em receitas (Fireman *et al.*, 2022).

2.3 APLICAÇÕES DO BAGAÇO DE MALTE NA ALIMENTAÇÃO HUMANA E CARACTERÍSTICAS NUTRICIONAIS

O processo de fabricação de cerveja possui várias matérias-primas, porém o malte exerce papel fundamental nesse processamento, ao ser ele quem irá, além de fornecer aromas e sabores característicos para a cerveja, possibilitar que os sistemas biológicos do processamento aconteçam, como a fermentação alcoólica. Para a

obtenção de malte, processa-se cevada por meio do processo de maltagem. A cevada é submetida a ambientes artificiais de germinação, passando por etapas de limpeza, maceração, germinação e secagem. O malte seco e limpo está pronto para ser utilizado nas cervejarias (Porto, 2011).

O processo de maltagem visa à ativação e formação enzimática. As enzimas formadas atuarão no processo de maltagem, assim como no processo de produção de cerveja, agindo sobre as substâncias de reserva do grão, principalmente sobre o amido e as proteínas, transformando-as em substâncias de menor peso molecular (Porto, 2011).

A farinha de bagaço de malte pode incrementar receitas já conhecidas da população como um componente de alto valor nutricional. É um material originado do reaproveitamento de resíduos, com substancial valor glicídico, lipídico e fibroso. Seu uso é indicado como ingrediente complementar em produtos farináceos, ou até mesmo como substituto de outras farinhas em alimentos de panificação. Sua utilização, além de ser ambientalmente amigável, pode, inclusive, entrar em competição no mercado de produtos do tipo *fitness* (Rêgo; Brito, 2021).

O BSG é fonte de vitaminas, fibras e minerais com diversas aplicabilidades, como na produção de cerveja, produção de farinha, massa, pão, biscoitos, lanches e produtos ricos em fibras e em proteínas. Entretanto, por apresentar fibras insolúveis em água, tais como a lignina e celulose, pode aumentar a dureza de alguns tipos de receitas, afetando a qualidade do sabor; porém, este fator pode ser mitigado por meio da adição de amido de milho e proteína isolada de soro de leite (Jackowski *et al.*, 2020).

Para Baiano *et al.* (2023), o experimento para investigar a viabilidade do uso de BSGs como ingredientes funcionais na panificação identificou que a substituição parcial da farinha de trigo por BSG resultou em aumentos consideráveis no conteúdo fenólico e nas fibras dietéticas insolúveis e solúveis dos pães enriquecidos em relação ao pão controle, destacando a natureza nutracêutica e funcional dos BSGs e dos pães enriquecidos com BSG. Os autores destacam a importância de transformar as cervejarias em biorrefinarias capazes de transformar este resíduo em um ingrediente de alto valor e baixa perecibilidade para as indústrias de alimentos em geral.

Os minerais encontrados no BSG são o cálcio, cobalto, cobre, ferro, magnésio, manganês, fósforo, potássio, selênio, sódio e enxofre, todos em concentrações inferiores a 0,5%. As vitaminas incluem (mg.kg^{-1}): biotina (0,1), colina (1800), ácido fólico (0,2), niacina (44), ácido pantotênico (8,5), riboflavina (1,5), tiamina (0,7) e piridoxina (0,7). Os aminoácidos ligados às proteínas incluem leucina, valina, alanina, serina, glicina, ácido glutâmico e ácido aspártico nas maiores quantidades, e tirosina, prolina, treonina, arginina e lisina em menores quantidades. Possivelmente, cistina, histidina, isoleucina, metionina, fenilalanina e triptofano também podem estar presentes (Mussato *et al.*, 2006).

O resíduo do malte pode fornecer benefícios para a saúde porque, além dos componentes principais, também contém ácidos graxos essenciais e compostos antioxidantes. A presença, por exemplo, de fibra solúvel e insolúvel, como arabinoxilanos e β -glucana, pode auxiliar na redução no plasma de colesterol LDL, diabetes e desordens gastrointestinais (Nocente *et al.*, 2019).

2.4 AVALIAÇÃO SENSORIAL

No setor de alimentos, a análise sensorial é de grande importância por avaliar a aceitabilidade mercadológica e a qualidade do produto, sendo parte inerente ao plano de controle de qualidade de uma indústria. É por meio dos órgãos dos sentidos que se procedem tais avaliações, e, como são executadas por pessoas, é importante um criterioso preparo das amostras testadas e adequada aplicação do teste para se evitar influência de fatores psicológicos, por exemplo, cores que podem remeter a conceitos pré-formados (Teixeira, 2009).

A análise sensorial é definida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1993), como a disciplina científica usada para evocar, medir, analisar e interpretar reações das características dos alimentos e materiais, como são percebidas pelos sentidos da visão, olfato, gosto, tato e audição. Através desta importante ferramenta, pode-se avaliar a qualidade da matéria-prima a ser utilizada em um novo produto, seu efeito no processamento, a qualidade da textura, o sabor, a estabilidade de armazenamento dos produtos finais, a reação do consumidor, entre outros. Para alcançar o objetivo específico de cada análise, são elaborados métodos de avaliação diferenciados, visando a obtenção de respostas mais adequadas ao perfil pesquisado do produto. Esses métodos apresentam características que se moldam com o objetivo da análise (Anzaldúamoraes, 1994).

A nossa “máquina” de análise sensorial é composta pelos nossos sistemas sensoriais: olfativo, gustativo, tátil, auditivo e visual. Esses sistemas avaliam os atributos dos alimentos, ou seja, suas propriedades sensoriais. Essas propriedades são: cor, odor, gosto, sabor, textura e som (Anzaldúamoraes, 1994).

Para se fazer uma análise sensorial de um produto, existem vários métodos com objetivos específicos, selecionados conforme o objetivo da análise. Os métodos podem ser divididos em quatro grandes grupos, são eles: método afetivo, método de diferença ou discriminativos, método analítico ou descritivo e métodos de sensibilidade (Teixeira, 2009).

2.4.1 Análises sensoriais com métodos afetivos

Segundo Lemes, Giuliani e Bezerra (2021), os testes afetivos, também chamados de testes de consumidores, têm como principal objetivo avaliar a resposta individual (aceitação ou preferência) de consumidores habituais ou potenciais de um produto a uma ideia, ou a uma característica específica.

Podem ser classificados em quantitativos e qualitativos, pois os testes quantitativos são aqueles que determinam as respostas de um grande grupo de consumidores para perguntas referentes à aceitação e preferência de produtos, podendo ser classificados como: testes de preferência (pareado; ordenação) e testes de aceitação (aceitabilidade); avaliação hedônica; intensidade; escala *Just-about-right* (JAR); avaliação dos atributos (diagnóstico). Já os testes qualitativos procuram entender um fenômeno específico em profundidade e trabalham com descrições, comparações e interpretações, sendo classificados como: grupos de foco (*focus group*), equipes de foco (*focus panels*) e entrevistas individuais (*one on one interviews*) (Lemes; Giuliani; Bezerra, 2021).

Para este estudo, será utilizado um teste de aceitação, também chamado de grau de preferência. Esse teste é utilizado quando se necessita conhecer o “status afetivo” dos consumidores com relação ao(s) produto(s) testado(s). Os consumidores recebem amostras codificadas, sendo solicitados a indicar o seu grau de preferência em uma escala. Em geral, a escala utilizada é a hedônica de nove pontos, ancorada nos extremos “gostei muitíssimo” (nota 9) e “desgostei muitíssimo” (nota 1) (Dutcosky, 2011; Lemes; Giuliani; Bezerra, 2021).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 PREPARO DA MATÉRIA-PRIMA

O bagaço de malte utilizado nesta pesquisa foi gentilmente doado por uma cervejaria artesanal localizada na região do Vale do Itajaí, Santa Catarina. Foi coletado logo após o final do processo de produção da cerveja. Como ainda estava úmido, foi necessário realizar o processo de secagem a fim de aumentar sua vida útil. Para tanto, o processo de reaproveitamento deve ser realizado logo após o descarte, ao final da produção da cerveja, uma vez que se trata de uma matéria-prima que se deteriora rapidamente. Assim sendo, ao ser descarregado, o bagaço de malte utilizado no presente estudo passou por um processo de secagem (primeira opção) e/ou congelamento (segunda opção). Para esta segunda opção, a fim de realizar a moagem, será necessário, primeiramente, descongelá-lo e depois secá-lo. Em ambos os casos, será realizada a moagem do bagaço de malte para a produção da farinha, produto sugerido por este estudo.

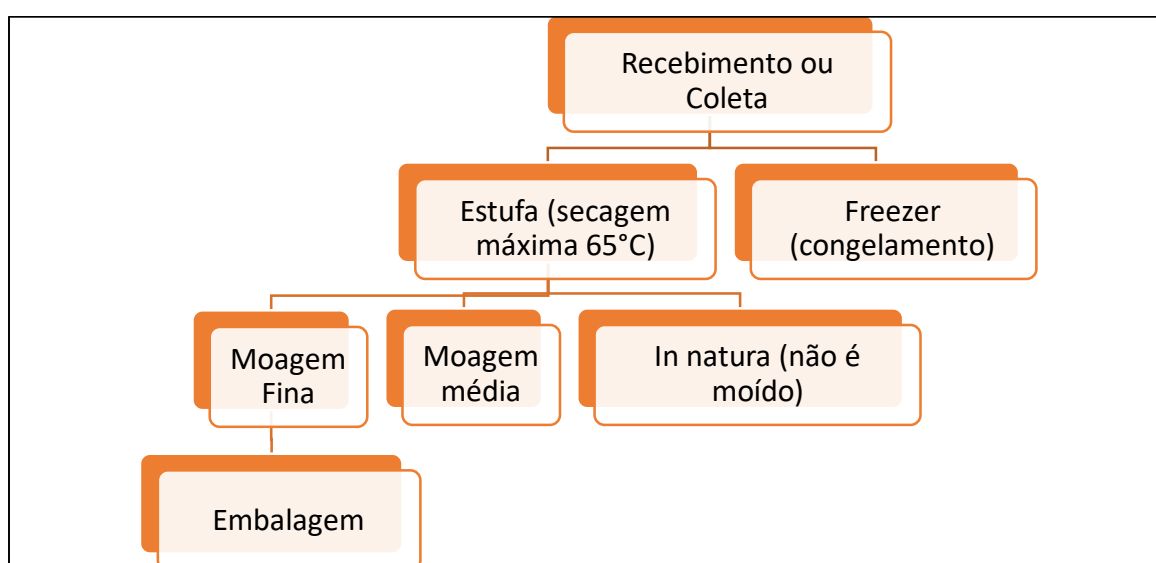
Para a moagem, serão consideradas duas opções: a moagem fina e a moagem média, uma vez que a moagem grossa é a própria versão *in natura* (sem moagem). Conforme a granulometria obtida, a farinha de bagaço poderá então ser utilizada em diversas sugestões de receitas, sendo possível também fazer uma mistura entre as granulometrias, não alterando suas características nutricionais. A ideia de produzir farinhas com diferentes granulometrias (fina, média e *in natura*) está relacionada à necessidade em atender aos vários públicos, uma vez que a *in natura* poderia não ser tão bem aceita sensorialmente por algumas pessoas. Além disso, a textura das cascas do bagaço é perceptível na maior granulometria, o que já não acontece na moagem mais fina.

A Figura 2 apresenta o fluxograma do processamento para obtenção da farinha de bagaço de malte. Por fim, a Figura 3 apresenta as granulometrias obtidas: grossa (*in natura*), média e fina.

A temperatura de secagem aplicada variou de 45 °C a 65 °C. Inicialmente, por um período de 2h30min, o bagaço foi seco a 45° C, porém, foi observado que esta temperatura e tempo não seriam suficientes para uma boa secagem. Deste modo, a temperatura foi aumentada para 65 °C por mais 27 horas, até a amostra manter-se em peso constante.

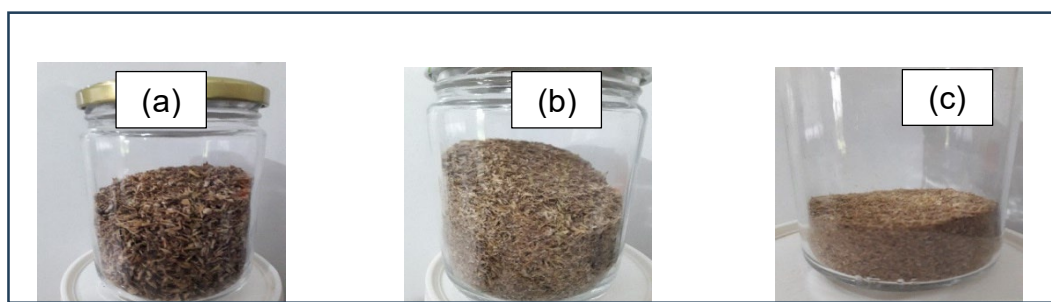
A definição de temperatura de secagem foi estabelecida pela reação que as altas temperaturas ocasionam, tais como a perda do valor nutritivo e das propriedades organolépticas (Silva, 2000). Assim, foi definida a temperatura de secagem a 65 °C, um pouco abaixo da temperatura que o malte já recebeu na brasagem, que fica em torno de 80 °C.

Figura 2 – Fluxograma de processamento para obtenção da farinha de bagaço de malte.



Fonte: os autores (2024).

Figura 3 – Bagaço de malte antes e após moagem: (a) granulometria grossa (*in natura*), (b) granulometria média (c) granulometria fina



Fonte: os autores (2024).

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

3.2.1 Materiais e equipamentos

Para a realização do experimento, foram utilizados os seguintes materiais:

- Forma de alumínio para secagem do bagaço úmido (forma retangular grande para que o bagaço ficasse espalhado na forma e tivesse uma secagem uniforme).
- Papel toalha (usado como forro para a forma)
- Estufa (para secagem do bagaço de malte)
- Sacos plásticos (para acondicionamento da matéria-prima após secagem)
- Balança
- Liquidificador (triturar para moer)
- Peneira
- Forma de pão ou bolo para assar no preparo do alimento (o formato e volume da forma varia conforme a receita a ser produzida)
- Tigelas ou bacia para o preparo das receitas
- Colheres de silicone e madeira
- Forno convencional para assamento
- Boleiras
- Potes plásticos

3.2.2. Demais ingredientes e aditivos para uso nas receitas

Farinha de aveia	Leite vegetal	Água
Amido de milho	Fermento químico	Óleo Vegetal
Polvilho doce	Fermento biológico	Ovos
Açúcar demerara	Sal	

3.3 PROCEDIMENTO

Após o processo de preparação do resíduo, por meio da secagem, o bagaço de malte seguiu para a moagem.

Foram produzidos bagaços com três diferentes tipos de granulometria: fina, média e grossa (*in natura*) – diferenciadas apenas pela avaliação visual. O objetivo da diferença granulométrica foi possibilitar seu uso em receitas variadas, doces ou salgadas.

Após moagem o bagaço processado foi embalado em pacotes de 500 g e 1 kg.

Desse modo, com os três tipos de farinha de bagaço de malte foram definidas quatro receitas para serem aplicadas: bolo de maçã, brownie de chocolate, bolinho de calabresa e queijo, e pão salgado com ervas finas.

3.4 RECEITAS

3.4.1 Bolo de maçã

Ingredientes:

- 3 maçãs médias com casca e sem miolo (450 gramas)
- Raspas de 1 limão + suco de 1 limão
- 1/2 colher de chá de canela em pó
- 1/2 xícara de amido de milho (55 gramas)
- 1/3 xícara de farinha de aveia (40 gramas)
- 1/3 xícara de farinha de bagaço de malte (moído médio)
- 1/2 colher de chá de canela em pó + pitada de sal
- 1/2 xícara de açúcar demerara (100 gramas)
- 1/2 colher de sopa de fermento em pó (7,5 gramas)
- 2 ovos (100 gramas)

- 1/4 xícara de óleo de coco derretido (60 gramas)
- 1/4 xícara de passas (40 gramas)
- 3 colheres de sopa de flocos de aveia (20 gramas)
- 3 colheres de sopa de bagaço de malte (granulometria média)

Modo de preparo: foi utilizada uma forma de 18 cm de diâmetro com fundo removível e pré-aquecida em forno a 180 °C. As maçãs foram fatiadas com uma espessura de aproximadamente 2 a 3 mm e temperadas com as raspas de limão, suco de limão e canela em pó. Em uma bacia plástica, todos os ingredientes secos foram misturados e reservou-se aproximadamente 2 a 3 colheres de sopa de açúcar para misturar com os ingredientes úmidos (ovos e óleo/manteiga). Misture os ingredientes molhados com um garfo, adicionando o açúcar reservado, até obter uma mistura homogênea.

Montagem do bolo de maçã: foi adicionada uma camada de maçã fatiada e um pouco de passas. Os ingredientes secos misturados foram polvilhados para cobrir as fatias de maçã. Foram realizadas novas camadas com fatias de maçã e polvilhados mais um pouco dos ingredientes secos sobre elas. Esse processo foi repetido até acabar os ingredientes. Em seguida, os ingredientes úmidos foram misturados com um garfo e, depois, com o auxílio de uma colher, foram colocados sobre o bolo de maçã, espalhando-os sobre sua superfície. Flocos de aveia foram polvilhados por cima para decoração.

Assamento: o bolo de maçã foi assado em forno pré-aquecido a 180 °C por aproximadamente 45 a 50 minutos até que estivesse com a cor dourada. Após, foi retirado do forno e deixado esfriar pelo menos 30 a 40 minutos até ficar com temperatura próxima à ambiente. Em seguida, o bolo foi retirado da forma e cortado em fatias para ser servido.

3.4.2 *Brownie* de chocolate

Ingredientes

- 1 xícara chocolate meio amargo bem picado
- 2/3 xícara manteiga sem sal
- 1 colher (chá) essência de baunilha
- 1/2 xícara bagaço de malte (granulometria fina)
- 1/2 xícara cerveja
- 2 ovos
- 1 1/4 xícara açúcar

- 2/3 xícara farinha de trigo
- 1 colher (café) sal
- 3 colheres (sopa) cacau em pó
- 1/3 xícara chocolate meio amargo picado grosseiramente

Modo de preparo: foi derretido chocolate meio amargo (1 xícara) bem picado, com a manteiga, em banho-maria. Ao chocolate derretido foram adicionados a baunilha, a cerveja e o bagaço de malte. À parte, os ovos foram batidos em batedeira até ficarem bem fofos e volumosos. A eles foi adicionado o açúcar, aos poucos, sem parar de bater, para merengar. Separadamente, foram misturados a farinha, o sal e o cacau em pó. Em seguida, a mistura de chocolate derretido foi adicionada aos ovos batidos e, depois, foram incorporados os ingredientes secos. O chocolate picado foi misturado grosseiramente e a massa foi então colocada em assadeira untada com manteiga e polvilhada com cacau em pó.

Assamento: o brownie foi assado a 180 °C por aproximadamente 40 minutos, até a superfície ficar seca, mas com o centro ainda úmido. Foi deixado resfriar por 1 hora antes de ser retirado da forma e servido.

3.4.3 Bolinho de calabresa e queijo

Ingredientes:

- 1 kg de bagaço de malte úmido (granulometria grossa – in natura)
- 500 g calabresa defumada picado miúdo
- 200 g queijo parmesão ralado
- 1 cebola pequena picada miúdo
- Salsinha a gosto
- 2 ovos

Modo de preparo: todos os ingredientes foram misturados e foram enrolados em bolinhas e, após, passados na farinha de rosca. Foram, então, fritos e servidos ainda quentes.

3.4.4 Pão salgado com ervas finas

Ingredientes:

- 300 g de bagaço do malte (granulometria grossa - *in natura*)
- 800 g de farinha de trigo
- 1 pacote de fermento biológico seco
- 4 colheres de açúcar
- 350 ml de leite
- 1 colher de sopa de manteiga
- 1 colher de sopa de sal
- 1 ovo
- Ervas finas

Modo de preparo: o bagaço do malte foi batido com o leite no liquidificador até ficar com o tamanho desejado. Foi observado que mais batimento poderia fazer com que o malte se misturasse melhor à farinha; e menos tempo de batimento, por outro lado, poderia fazer com que os grãos ficassem mais perceptíveis. Todos os outros ingredientes foram misturados e a massa foi sovada por cerca de 10 minutos para que o glúten do trigo se desenvolvesse. A consistência da massa ficou com aspecto elástico, como deve ser: se pressionada com um dedo, ela voltava para o estado anterior. Após atingir o ponto correto, a massa foi colocada em um recipiente coberto com um pano de prato limpo e deixada descansar por 40 minutos. Após esse período, foi novamente sovada, desta vez por mais 5 minutos. Em seguida, a massa foi dividida em duas, modelada e colocada na forma untada para descansar, coberta por um pano de prato limpo, por mais 20 minutos.

Assamento: o forno foi pré-aquecido em temperatura média por 10 minutos. O tempo de assamento foi de 45 minutos. Após esse período, as formas foram retiradas do forno e os pães foram retirados das formas, e colocados em uma superfície arejada como uma grelha ou uma grade para baixar sua temperatura.

3.5 ANÁLISE SENSORIAL – TESTE AFETIVO

Para avaliação da qualidade e aceitação dos produtos produzidos com o bagaço de malte, foi aplicada análise sensorial afetiva quantitativa com escala hedônica de 9 pontos.

As provas foram realizadas por oito julgadores não treinados com o objetivo de verificar a preferência e o grau de satisfação com um novo produto (teste de preferência) e a probabilidade de adquirir o produto testado (teste de aceitação). Para tanto, as amostras foram apresentadas de forma monádica, ou seja, uma de cada vez. Todas as amostras foram identificadas com códigos de três dígitos. Na Figura 4 é apresentada a Ficha Sensorial entregue aos julgadores.

Figura 4 – Ficha de avaliação sensorial

Nome: _____

Data: _____

Prove a amostra e indique sua opinião o quanto gostou ou desgostou, de acordo com a escala abaixo:

1 – Desgostei muitíssimo	7 – Gostei moderadamente
2 – Desgostei muito	8 – Gostei muito
3 – Desgostei moderadamente	9 – Gostei muitíssimo
4 – Desgostei ligeiramente	
5 – Indiferente	
6 – Gostei ligeiramente	

Amostra	Valor
357	
532	
169	
825	

Assinale qual seria sua atitude em relação à compra dos produtos.

<input type="checkbox"/> eu certamente compraria	
<input type="checkbox"/> eu provavelmente compraria	
<input type="checkbox"/> tenho dúvidas se compraria ou não	
<input type="checkbox"/> eu provavelmente não compraria	
<input type="checkbox"/> eu certamente não compraria	

Amostra	Valor
357	
532	
169	
825	

Comentários: _____

Fonte: os autores (2024).

4 RESULTADOS

4.1 SECAGEM DO BAGAÇO DE MALTE

A Tabela 1 apresenta os valores dos pesos obtidos (antes e após a secagem).

Tabela 1 – Valores dos pesos obtidos (secagem do bagaço)

Controle de secagem do bagaço					
	Peso úmido (g)	Peso seco (g)	Perda na pesagem (g)	Total seco (g)	Umidade (%)
Amostra 1 (resfriada)	1680	420,12	4,70	424,82	74,71
Amostra 2 (congelada)	646	157,22	5,31	162,53	74,84

Fonte: Os autores (2024).

O bagaço de malte apresentou 74,71% de umidade, resultando em 25% de bagaço de malte seco a partir da quantidade total coletada. A perda da pesagem é referente à matéria-prima que ficou na forma após a retirada do produto para ser embalado. Após secagem, o bagaço apresentou aroma característico do bagaço de malte (cereal).

4.2 PRODUTOS APLICADOS DE FARINHA DE BAGAÇO DE MALTE

No preparo e degustação das receitas, foram observadas algumas diferenças no uso das diferentes granulometrias do bagaço de malte, as quais serão relatadas a seguir.

A versão com granulometria mais grossa (*in natura*) ficou mais perceptível ao paladar, principalmente com relação à textura na boca. Após a degustação, foram percebidos resíduos das cascas, similar ao que acontece com as casquinhas de pipoca.

As cascas dessa versão mais grossa não desmancharam com facilidade durante a mastigação (resíduo duro). Além disso, na elaboração das receitas com essa granulometria (bolinho de calabresa e queijo, e pão salgado com ervas finas – Figuras 5 e 6), não houve a formação da liga na massa. Nesses dois casos, observou-se a necessidade de trabalhar por mais tempo a massa para que tivesse um aspecto mais uniforme.

Figura 5 – Bolinho de carne e calabresa



Fonte: os autores (2024).

Figura 6 – Pão salgado com ervas finas



Fonte: os autores (2024).

Já no bolo de maçã e no brownie, foram realizados alguns testes prévios que demonstraram não ser possível sua utilização, pois a presença da casca rígida do bagaço de malte prejudicou negativamente o sabor nessas aplicações doces. Desse modo, foi mais viável utilizar uma granulometria menor (fina ou média).

O uso da granulometria média na receita do bolo de maçã (Figura 7) trouxe um bom resultado para essa aplicação, pois as cascas do bagaço ficaram menores e, desse modo, ficaram mais aceitáveis ao paladar.

O uso do bagaço com granulometria fina para a receita do *brownie* (Figura 8) tornou praticamente imperceptível sua presença no produto, não interferindo em sua textura. Obviamente essa percepção (ou não) de sua presença também está relacionada à quantidade de farinha do bagaço que é adicionada. Além disso, neste caso específico do *brownie*, a presença das gotas de chocolate auxilia a mascarar sua presença, tornando-o bem menos perceptível.

Figura 7 – Bolo de maçã



Fonte: os autores (2024).

Figura 8 – *Brownie*



Fonte: os autores (2024).

Foi observado nos testes que, quanto mais moído o bagaço (menor granulometria), mais pastosa ficava a massa durante o preparo das receitas. Também foi constatado que, ao aumentar a quantidade utilizada nas receitas, especificamente no caso do bolo e do pão, as massas ficavam mais densas. Desse modo, para os dois casos, a granulometria média parece ser a melhor opção. As quantidades ideais devem ser ajustadas conforme a receita a ser produzida.

No caso da receita utilizada para o pão salgado, a proporção utilizada correspondeu a cerca de 30% da formulação. Foi observado que essa quantidade resultou em um pão com textura macia e saboroso (vide resultados da avaliação sensorial realizada). Provavelmente, uma quantidade maior da farinha de bagaço deixaria o pão mais seco, pelo excesso de fibra e, consequentemente, menos macio.

Já para a receita utilizada para o bolo de maçã, foi testada com uma quantidade menor. Isso por se tratar de uma receita doce, na qual o sabor do bagaço, poderia ficar mais acentuado e se destacar em relação à maçã, que possui um sabor mais suave. A mesma recomendação é válida para a receita do *brownie*: o excesso de fibra do bagaço contribuiria provavelmente com um sabor mais acentuado em relação ao chocolate. Desse modo, a granulometria mais fina ou, no máximo, a granulometria média, para uso em receitas doces, parecem ser as mais indicadas.

Por fim, o bolinho de calabresa e queijo poderia ter sido formulado com uma quantidade maior de bagaço, uma vez que o sabor da calabresa, queijo e bagaço apresentou uma excelente combinação entre si. Além disso, por se tratar de um aperitivo, a quantidade consumida, proporcionalmente, também é menor.

4.3 AVALIAÇÃO SENSORIAL

Os resultados obtidos através da análise sensorial são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Avaliação sensorial

ESCALA HEDÔNICA DE 09 pontos VERBAL ESTRUTURADA - IMPRESSÃO GLOBAL				
JULGADOR	Pão de bagaço de malte 357	Bolinho frito de bagaço de malte 532	Brownie de bagaço de malte 169	Bolo de maçã com bagaço de malte 825
1	8	7	9	8
2	9	9	8	7
3	9	8	9	9
4	6	7	8	8
5	6	6	9	5
6	7	9	7	8
7	9	9	8	9
8	8	8	9	9
TOTAL	62	63	67	63
MÉDIA	7,8	7,9	8,4	7,9

Fonte: os autores (2024).

Os dados coletados referentes à preferência (escala hedônica de 9 pontos) foram avaliados estatisticamente pela análise de variância (ANOVA), utilizando como fontes de variação as amostras e os julgadores, conforme cálculos apresentados pela Tabela 3. Após tratamento estatístico, a ANOVA não indicou diferença estatística significativa entre amostras, ao nível de 5% de significância, pois o F calculado foi menor que o F tabelado. Ou seja, as amostras possuem o mesmo nível de preferência entre os julgadores.

Na análise de variância (ANOVA), o “F” é uma razão de duas variâncias. As variâncias são uma medida de dispersão e medem o quanto os dados estão dispersos em relação à sua média (Oliveira; Faria, 2019).

Conforme apresentado pela Tabela 2, as avaliações entre os participantes em relação à mesma receita ficaram muito próximas, tanto nas opções doces quanto nas salgadas. Entretanto, apesar de as amostras não apresentarem diferença significativa quanto à preferência, é possível perceber, pelas médias das notas, que a receita com a melhor avaliação foi o *brownie* de chocolate com bagaço de malte e a com menor preferência, a receita com o pão salgado com bagaço de malte.

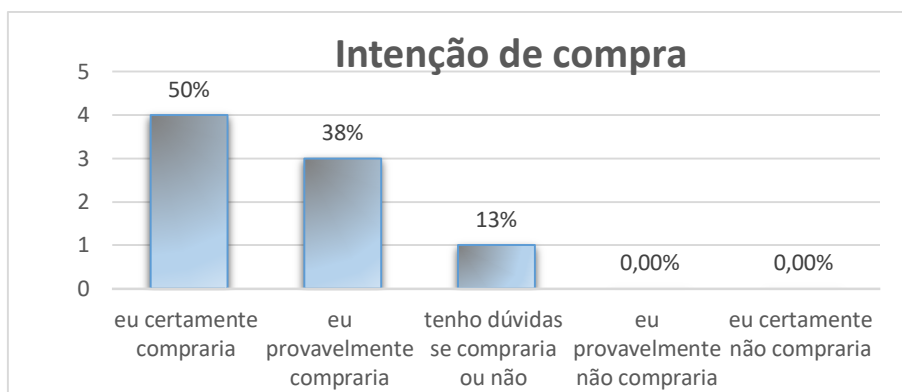
Tabela 3 – Cálculo ANOVA

Cálculo ANOVA						
número de provadores	8	Variação	SQ	GL	SQM	Fcalc
número de amostras	4	Amostra	929,375	3	309,7917	-3,72255
Fator de correção FC	1104,5	Provador	944,75	7	134,9643	
SQ Amostra	929,375	Resíduo	-1747,63	21	-83,2202	
SQ Provador	944,75	Total	126,5	31		
SQ Total	126,5					
SQ Resíduo	-1747,63					
F encontrado	-3,72255	Tabela 51 (DUTCOSKY, Silvia Deboni) - com o valor do Grau de Liberdade da Amostra (n1 = 3) x Grau de Liberdade do Resíduo (n2 = 21)				
F tabelado para 5% de significância	3,13					

Fonte: Os autores (2024).

Já os resultados referentes à intenção de compra, considerados para todos os produtos como um todo, são apresentados por meio do gráfico da Figura 9, a seguir. Esse gráfico também reforça que o uso do bagaço de malte, na forma de farinha, pode ter sua aplicação viável em diversos tipos de alimentos.

Figura 9 – Gráfico de barras com resultados da intenção de compra



Fonte: Os autores (2024).

5 CONCLUSÃO

Este artigo teve como objetivo reutilizar o bagaço de malte, considerado um composto com grande potencial de retorno, seja financeiro, seja para a alimentação, além das considerações referentes a minimizar impactos ambientais.

Considerando a elevada geração de bagaço de malte pela indústria cervejeira, bem como a aplicação prática dos princípios da economia circular, é fundamental estimular o reaproveitamento do BSG. Além disso, sua composição química é riquíssima e de alto valor nutricional, contribuindo com o desenvolvimento de diversos produtos alimentícios, principalmente os que necessitem de um aporte em fibras.

Os resultados obtidos neste estudo sugerem que esse subproduto pode ser utilizado como um complemento para a alimentação humana. Neste estudo, foram apresentadas apenas algumas receitas, mas isso não limita o seu uso em outros tipos de produtos para o consumo humano.

As receitas aqui apresentadas podem ser adaptadas a uma quantidade de bagaço de malte ideal, considerando sua palatabilidade e textura, conforme o tipo de receita e/ou ingrediente usado, e também de acordo com a necessidade nutricional almejada.

Por fim, a análise sensorial realizada indicou uma possível aceitação dos produtos pelos consumidores em potencial, embora tenha sido conduzida com apenas oito julgadores, limitando a confiabilidade estatística dos resultados. Para Dutcosky (2011), em testes de aceitação, recomenda-se a participação de pelo menos 112 provadores para assegurar maior robustez nos dados. Ainda assim, mesmo com um número reduzido de avaliadores, os resultados obtidos sugerem uma tendência positiva de aceitação do produto, apontando potencial promissor para o desenvolvimento deste projeto.

REFERÊNCIAS

- ARAYA, H. L.; LUTZ, M. R. Alimentos funcionales y saludables. **Revista Chilena de Nutrición**, v. 30, n. 1, p. 8-14, 2003.
- ASEVEDO, Sávio de Meneses Leite; FONTOURA, Camilla Rocha de Oliveira; SANTOS, Lígia Marcondes Rodrigues dos. **Avaliação dos efeitos da adição de trub na fermentação de uma cerveja do tipo Pilsen**. CADERNOS UniFOA, 2020. Disponível em: <https://revistas.unifoa.edu.br/cadernos/article/view/3085/pdf>. Acesso em: 2 nov. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Análise sensorial dos alimentos e bebidas: terminologia**. 1993. 8 p.
- BAIANO, A. Antonietta; GATTA, Barbara la, RUTIGLIANO, Mariacinzia and FIORE, Anna. **Functional Bread Produced in a Circular Economy Perspective: The Use of Brewers' Spent Grain**. Foods 2023
- BRASIL. **Anuário da Cerveja 2024: ano referência 2023** (Ministério da Agricultura e Agropecuária – MAPA). Disponível em: <https://www.sindicerv.com.br/wp-content/uploads/2024/05/Anuario-da-cerveja-2024-referencia-2023-MAPA-versao-web.pdf>. Acesso em: 3 nov. 2024.
- CAÑAS, G. J. S.; BRAIBANTE, M. E. F. **A Química dos Alimentos Funcionais**. Disponível em: https://www.academia.edu/58218437/A_Qu%C3%ADmica_dos_Alimentos_Funcionais?auto=download. Acesso em: 6 out. 2024.
- DA SILVA, C. C. *et al.* Utilização do bagaço de malte da indústria cervejeira como substrato para produção de pectinase por. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 4, n. 4, p. 5042–5060, 2021. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/37373/28857>. Acesso em: 1.º nov. 2024.
- DUTCOSKY, Silvia Deboni. **Análise sensorial de Alimentos**. 3. ed. revisada e ampliada. Curitiba: Champagnat, 2011. 426 p.
- EVERS, A.D., Blakeney, A.B., O'Brien, L. 1999. Cereal structure and composition. *Australian Journal of Agricultural Research*, 50, 629-650.
- FIREMAN, Victor Cordeiro *et al.* Farinha de resíduo de malte. **Instituto federal de Alagoas**, 2022. Disponível em: <https://www2.ifal.edu.br/ppgtec/produtos-tecnico-tecnologicos-ptts/arquivos/arquivos-ptts-2022/cartilha-victor-fireman.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2024.
- GOMES, R. H. **Utilização do bagaço de malte como ração animal**. Fundação Educacional do Município de Assis, 2010. Disponível em: <https://cepein.femanet.com.br/BDigital/arqTccs/0711290223.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2024.
- GUPTA, M., Abu-Ghannam, N., Gallghar, E. 2010. Barley for brewing: characteristic changes during malting, brewing and applications of its by-products. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 9, 318-328. Acesso em: 1.º nov. 2024.
- HENRIQUE, Vanessa Alves *et al.* **Alimentos funcionais [e-book]: aspectos nutricionais na qualidade de vida**. 1. ed., Aracaju: Edifs, 2018. 57 p. Disponível em: <https://repositorio.ifs.edu.br/biblioteca/bitstream/123456789/1852/1/e-book%20-%20Alimentos%20Funcionais%20Vol%202.pdf#:~:text=Os%20alimentos%20funcionais%20podem%20ser>. Acesso em: 1.º nov. 2024.

LAMARCA, Victor de Souza. Polo Cervejeiro de Juiz de Fora – MG: **Estudo de caso sobre os resíduos gerados na produção no primeiro semestre de 2019**. Faculdade, 2022. Disponível em: <https://dspace.doctum.edu.br/bitstream/123456789/2460/1/A%20GERA%C3%87%C3%83O%20DE%20RES%C3%84DUOS%20E%20SU%C3%87%C3%83O%20NO%20POLO%20CERVEJEIRO%20DE%20JUIZ%20DE%20FORA%20MG.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2024.

LEMES, Jaqueline Schneider, GIULIANI, Caroline dos Santos, BEZERRA, Aline Sobreira. Testes Afetivos. In: NORA, Flávia Michelin Dalla (org.). **Análise Sensorial Clássica: Fundamentos e Métodos**. Canoas: Merida Publishers, 2021. p. 63-86.

LIMA, T. C.; ARAÚJO, I. O.; ANTUNES, J. G.; MATOS, C. J. G.; PEREIRA, C. S. S.; **Estudo da produção de bioetanol a partir do bagaço de malte**, p. 595-600. In: São Paulo: Blucher, 2014. ISSN 2359-1757, DOI 10.5151/chemeng-cobec-ic-07-eb-119. Disponível: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/estudo-da-producao-de-bioetanol-a-partir-do-bagao-de-malte-11136>. Acesso em: 1.º nov. 2024.

LIMA, Luciana Leite de Andrade; FILHO, Artur Bibiano de Melo. Tecnologia de bebidas. **Técnico em Alimentos**, 2011. Disponível em: https://ifpr.edu.br/pronatec/wp-content/uploads/sites/46/2013/06/Tecnologia_de_Bebidas.pdf. Acesso em: 14 dez. 2024.

LYNCH, K.M; STEFFEN, E. J; ARENDT, E. K. Brewers' spent grain: a review with an emphasis on food and health. **Journal of The Institute of Brewing**, Volume 122, 2016.

MEREDITH, W.O.S., Anderson, J.A., Hudson, L.E. 1962. Evaluation of malting barley. In: Cook, A.H. (Ed.) – **Barley and Malt. Biology, Biochemistry and Technology**. Academic Press, 207-270. Acesso em: 1.º nov. 2024.

MORADO, Ronaldo. **História e as curiosidades de uma das bebidas mais populares do mundo**: A história e as curiosidades de uma das bebidas mais populares do mundo, 2017.

MUSSATTO, Solange Inês *et al.* **Efeito da concentração inicial de xilose na produção de xilitol a partir de hidrolisado de bagaço de malte**. Departamento de Biotecnologia, 2008. Disponível em: https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2004/trabalhos/inic/pdf/IC5-16.pdf. Acesso em: 29 out. 2024.

NASCIMENTO, C. S. **Prospecção de produtos inovadores com a utilização do bagaço de malte na fabricação de gelatos**. Universidade Federal de Alagoas, 2020. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/7622>. Acesso em: 29 out. 2024.

OLKKU, Juhani, KOTAVIITA, E., SALMENKALLIO-MARTILLA, M., SWEINS, H., Home, S. 2005. Connection between structure and quality of barley husk. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, 63, 17-22. Acesso em: 01 nov. 2024.

PALMER, Geoffrey H. 2006. Barley and malt. In: **Priest, F.G.**, Stewart, G.G. (ed.) - Handbook of Brewing. CRC Press, 139-160.

PESTANA, S. DOS S. **Sustentabilidade econômica e ambiental dos subprodutos da cerveja**. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.2/13287>. Acesso em: 6 out. 2024.

PINHEIRO, Ana Cristina.; CERQUEIRA, Miguel Ângelo.; VICENTE, Antônio Augusto. Nanotecnologia como ferramenta para produzir novos alimentos funcionais: vantagens e precauções. TecnoHospital, **Revista de Engenharia e Gestão da Saúde**, v. 59, p. 22-25, 2013.

PORTO, Paula de Donati. **Tecnologia de fabricação de malte**: uma revisão. 2011.

Disponível em:
<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/56455/000857950.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 1.º nov. 2024.

RÊGO, Patrícia Silva; BRITO, José Giovanni Leite de. Produção e caracterização de farinha de bagaço de malte a partir de resíduo cervejeiro. **Revista Brasileira de Agrotecnologia-1º Congresso Brasileiro Online de ciências dos alimentos**, 2021. DOI: 10.18378/REBAGRO.V12I2.8964. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/REBAGRO/index>. Acesso em: 1.º nov. 2024.

RODRIGUES, Camila Gonçalves. **Produção de filmes comestíveis biodegradáveis a partir de bagaço de malte ou subprodutos do processamento de mandioca**. Repositório UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, 3 mar. 2022. Disponível em:

<http://hdl.handle.net/1843/48373>. Acesso em: 2 nov. 2024.

SARAIVA, Bianka. Rocha, VITAL, Ana Carolina Pelaes, ANJO, Fernando Antônio, CESARO, Elisângela, de, MATUMOTO-PINTRO, Paula Toshimi 2018. **Valorização de resíduos agroindustriais: fontes de nutrientes e compostos bioativos para a alimentação humana**. Pubsauê, 1, a007. DOI: <https://dx.doi.org/10.31533/pubsauede1.a007>.

SILVA, João Andrade. Conservação dos alimentos pelo controle da umidade - Cap 7. **Tópicos da Tecnologia dos alimentos**, 2000. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=181991>. Acesso em: 14 dez. 2024.

SILVA, Vania Santos da; ORLANDELLI, Ravely Casarotti. Desenvolvimento de Alimentos Funcionais nos últimos anos: uma revisão. **Revista UNINGÁ**, Maringá, v. 56, n. 2, p. 182-194, abr./jun. 2019.

REVISÃO DE MODELOS E NORMAS EM GESTÃO DE RISCOS CIBERNÉTICOS*REVIEW OF MODELS AND STANDARDS IN CYBER RISK MANAGEMENT*Gerson Luiz Camillo ¹Cássio Aurélio Suski ²

RESUMO: Este artigo trata da gestão de riscos na cibersegurança, pois a segurança da informação está adquirindo importância nos níveis superiores de decisão das organizações. Atualmente, há diversas propostas de metodologias de análise de risco cibernético por meio de padrões e normas. Além disso, têm sido apresentados artigos com propostas alternativas para suprir deficiências ou para especializar os padrões em gestão de riscos. Este trabalho teve por objetivo apresentar esses modelos e destacar as abordagens adotadas quanto aos métodos usados para analisar, qualificar e quantificar riscos. A metodologia adotada foi de pesquisa bibliográfica em normas e artigos científicos. Os resultados indicam que as normas e trabalhos mais recentes estão dando maior enfoque à análise quantitativa dos riscos, pois os dados podem ser agregados à análise de risco corporativo. As abordagens mais recentes adotam estimativas das incertezas dos riscos usando os dois principais métodos: simulações de Monte Carlo e análise Bayesiana.

Palavras-chave: risco; cibersegurança; gestão.

ABSTRACT: *This article addresses risk management in cybersecurity, as information security is gaining importance at the highest levels of decision-making organizations. Currently, several proposals for cyber risk analysis methodologies exist through standards and norms. Moreover, we presented articles with alternative proposals to fill deficiencies or to standardize risk management. This paper aims to present these models and highlight the approaches adopted regarding the methods used to analyze, qualify, and quantify risks. The methodology adopted was bibliographical research in standards and scientific articles. The findings suggest that the quantitative analysis of risks is garnering more attention in the most recent standards and works, as it is feasible to accumulate data for corporate risk analysis. The latest methods incorporate estimates of risk uncertainties, utilizing two primary techniques: Monte Carlo simulations and Bayesian analysis.*

Keywords: *risk; cybersecurity; management.*

¹ Mestrando em Clima e Ambiente. Instituto Federal de Santa Catarina.

E-mail: gerson.camillo@gmail.com

² Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais. Instituto Federal de Santa Catarina.

E-mail: cassio.suski@ifsc.edu.br

1 INTRODUÇÃO

A informação e o seu processamento em meios eletrônicos estiveram presentes desde os primórdios do século passado, através dos desenvolvimentos atrelados à Segunda Guerra Mundial (Bombe; 2021, ENIAC; 2021). Nas décadas seguintes, seguiu para o desenvolvimento comercial e científico e, nas décadas de 1970 e 1980, iniciou a popularização por meio da computação pessoal. Se antes a informação estava protegida pela restrição do seu uso, com a comunicação via Internet (Internet; 2021) e a disseminação de sistemas em universidades e pequenas empresas, a segurança dos dados começou a ser um problema. Ataques a redes e por vírus fizeram com que meios de defesa e proteção comesçassem a ser pesquisados e se tornassem processos e produtos.

A disrupção nos sistemas nos primórdios da Internet significou interrupção da comunicação e/ou do processamento de informações. O impacto das inoperâncias não era “relevante” considerando que os maiores usuários eram o meio acadêmico e científico. Contudo, com a Internet se tornando comercial e a sua administração saindo das mãos do governo americano, empresas começaram a usá-la para os mais diversos fins. Conglomerados foram criados com base em produtos e serviços exclusivamente eletrônicos, como o Google e a Amazon, para citar apenas alguns. Agora, os riscos aos negócios deveriam considerar todas as questões envolvidas em manter as propriedades fundamentais em segurança: a confidencialidade, integridade e disponibilidade. Nesse contexto, está se desenvolvendo o tema de cibersegurança. A norma ISO/IEC 27032 define a segurança cibernética (em inglês, cybersecurity) como a preservação das propriedades de segurança no espaço cibernético. Esse é um “ambiente complexo resultante da interação de pessoas, software e serviços na internet por dispositivos de tecnologia e redes conectadas a ele, ao qual não existe em qualquer forma física” (ABNT, 2015, p. 5).

As atividades envolvendo o ciberespaço se tornaram críticas para o mundo moderno. O Fórum Econômico Mundial, por meio do seu 16.º relatório de riscos, aponta que falhas na segurança cibernética estão no mesmo quadrante de risco, considerando o nível de impacto e de probabilidade, que crises de escassez de recursos naturais e de meios de subsistência (WEF, 2021). Nesse sentido, a gestão de riscos em computação tem se tornado primordial, tanto no setor privado quanto no público.

O gerenciamento de riscos na segurança da informação é parte vital da gestão de riscos de toda a organização. Conforme explicitado por Joyce, Dobrygowski e der Oord (2021): “Cybersecurity is a strategic business enabler” no seu artigo sobre a importância do gerenciamento de riscos cibernéticos para os negócios. Nesse sentido, normas e publicações especializadas têm sido propostas, por considerarem as

especificidades da área, como os tipos de vulnerabilidades, as ameaças e os ataques. Elas variam em abrangência e detalhamento dos processos, apesar de terem os mesmos objetivos finais. As mais recentes procuram incorporar análises quantitativas e métodos estatísticos.

O objetivo deste artigo foi extrair os princípios gerais das normas para gerenciamento de riscos em cibersegurança e apresentar os desenvolvimentos mais recentes nas metodologias que usam métodos quantitativos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O gerenciamento de riscos inclui os processos que tratam da realização de identificação, análise, respostas, monitoramento e controle e planejamento do gerenciamento de riscos. Os objetivos da gestão de riscos são aumentar a probabilidade e o impacto dos eventos positivos e diminuir a probabilidade e o impacto dos eventos adversos na organização.

A Análise e Gestão de Riscos consiste em uma série de passos que ajudam uma equipe a entender e administrar a incerteza. Na verdade, convive-se com a incerteza o tempo todo, em maior ou menor grau, mas não se tem consciência dos riscos. Isso está intimamente relacionado com o conhecimento que se possui sobre um determinado assunto. Esse conhecimento pode ser tanto tácito quanto explícito.

Em outras palavras, o risco é um evento ou condição incerta que, se ocorrer, terá um efeito positivo ou negativo sobre a organização em termos de tempo, custo, qualidade, entre outros fatores. Um risco pode ter uma ou mais causas e, se ele ocorrer, um ou mais impactos.

A finalidade do gerenciamento de risco, segundo Salles Júnior *et al.* (2010), está em antecipar-se aos efeitos que o risco pode causar, por meio da utilização de métodos como identificação, análise, planos de ação, monitoramento e controle, e dessa forma, buscando minimizá-los ou cessá-los.

Segundo Weber e Diehl (2014), o risco está intrinsecamente ligado à incerteza, permitindo a ocorrência de eventos inesperados como resultado. O gerenciamento dos riscos pode ser realizado somente após a sua identificação e, a partir disso, permite a elaboração de estratégias de mitigação que minimizem os impactos negativos.

Nesse sentido, o gerenciamento de riscos não só contribui para a estabilidade operacional, mas também para a sustentabilidade de longo prazo das organizações, ao reduzir a vulnerabilidade a eventos adversos e promover uma cultura de proatividade e resiliência. A gestão de risco compõe uma série de entendimentos relacionados à administração do fato de que o risco aconteça ou que já aconteceu (Olson, 2024).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho está baseado em uma análise de dados obtida por meio de revisão bibliográfica de normas e artigos que tratem do gerenciamento de risco em cibersegurança. As normas são importantes para contextualizar os padrões usados e nos quais as empresas e organizações se apoiam para gerenciar seus riscos. Essas normas e documentos usados amplamente por empresas e instituições são reconhecidas como padrões de mercado. As normas para segurança compreendem conceituação, sistemas de gerenciamento de segurança da informação, modelos de gestão de riscos e frameworks contendo controles de segurança.

Além dos sistemas normativos e dos padrões de mercado, foram pesquisados artigos científicos relacionando gerenciamento de riscos cibernéticos e os seguintes temas: propostas de novos modelos; aplicações da gestão de riscos em determinadas áreas ou setores, como IoT (Internet of Things), e propostas de abordagens diferentes para análise de riscos.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Qualquer organização precisa compreender e medir os riscos envolvidos em projetos ou nas suas operações diárias. Essa necessidade se estende para a segurança das informações, que vem ganhando importância nos níveis mais altos da gerência, de tal forma que a governança da cibersegurança está nos mesmos patamares que fatores ESG (fatores ambientais, sociais e de governança corporativa) (Joyce; Dobryowski; Der Oord, 2021).

Portanto, gerenciamento de riscos é:

[...] o processo contínuo de identificação, avaliação e resposta ao risco. Para gerenciar riscos, as organizações devem entender a probabilidade de ocorrência de determinado evento e os possíveis impactos resultantes. Com essas informações, as organizações podem determinar o nível aceitável de risco para atingir seus objetivos organizacionais e podem, assim, apresentá-lo como sua tolerância a riscos. (NIST, 2018, p.4).

O objetivo primário de uma gestão de riscos é reduzi-los a níveis aceitáveis, conforme o apetite de risco da organização (Chapple; Stewart; Gibson, 2021). Além desse foco principal, o gerenciamento de riscos deve servir a dois outros propósitos principais. O primeiro é de servir de suporte às decisões da alta gerência, por meio dos resultados das métricas associadas a cada risco. Em segundo lugar, é o ponto de partida de qualquer processo de implantação de um sistema de gerenciamento de segurança da informação.

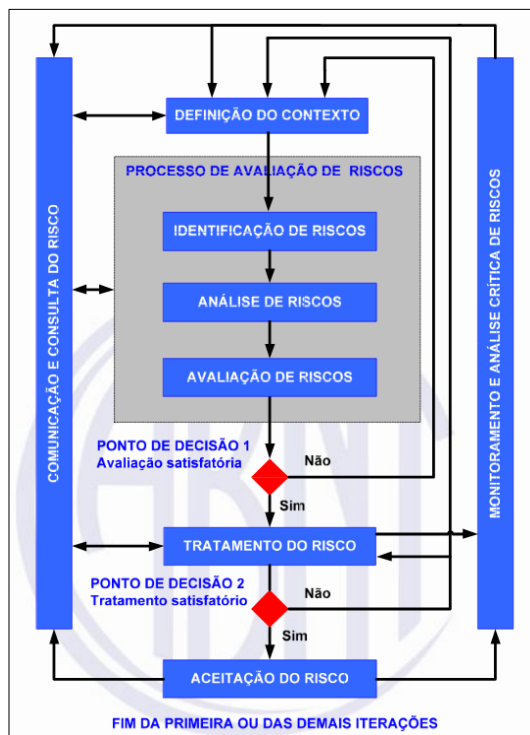
A gestão de riscos é um processo contínuo de identificação, análise e resposta aos riscos conforme fases apresentadas na Figura 1 e concernentes à norma ABNT NBR ISO/IEC 27005:2019 (Gestão de riscos de segurança da informação).

Um aspecto importante do processo de gestão de riscos é o fato de ser um processo cíclico no qual os resultados da última etapa têm um escopo temporal definido, ou seja, os planos de tratamento de riscos devem ser monitorados e revistos periodicamente (ABNT, 2019).

Em termos gerais, o processo inicia pela identificação dos ativos que podem ser tangíveis ou intangíveis e algumas categorias podem ser: pessoas, informação, facilidades, tecnologia e externos. Depois são determinadas as fontes de risco definidas como os elementos que, individualmente ou combinados, têm o potencial para dar origem ao risco. Em cibersegurança, o termo usado é ameaça (no inglês, threat) e podem ser ações ou a falta de ação, além de poderem ser intencionais, ou não intencionais. Algumas ameaças possuem agentes ou atores que agem intencionalmente com o intuito de abusar de vulnerabilidades, que a publicação NIST 800-30 denomina de origens de ameaça adversária e não adversária (Joint, 2012).

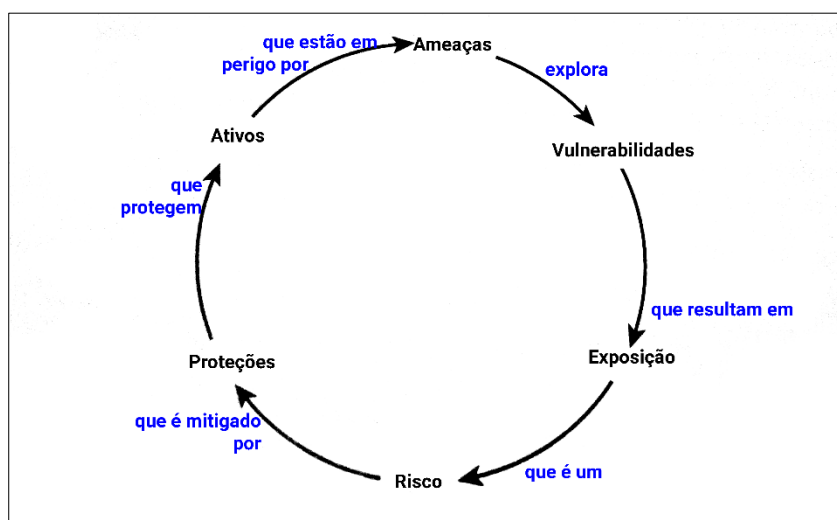
As vulnerabilidades são fraquezas, falhas internas ou falhas de configuração que podem ser exploradas pelas ameaças e cuja exposição configura riscos em segurança. Algumas ameaças podem usar determinados vetores. Um aspecto importante das ameaças é a questão da motivação (que pode ser intencional ou não), pois pode resultar em níveis de riscos mais altos. Essa propriedade das ameaças se incluiu em modelos mais recentes (Stine, 2021; Tucker, 2020). A Figura 2 apresenta os relacionamentos cíclicos dos elementos de risco cibernético.

Figura 1: Ciclo da gestão de riscos em segurança da informação.



Fonte: (ABNT, 2019)

Figura 2: Relacionamentos cíclicos dos elementos de risco cibernético.



Fonte: adaptado de Chapple, Stewart e Gibson (2021).

Evento é a ocorrência ou mudança em um conjunto específico de circunstâncias que pode consistir em várias causas e determinar várias consequências, podendo ser fonte de risco. Um evento implica impacto, o qual é a medida de perda real (custos realizados) quando ameaças exploram vulnerabilidades, ou seja, realização da ameaça (ou do risco). Os impactos podem ser na forma de perda de propriedade, perda da segurança, perdas financeiras ou da reputação e danos à saúde ou até em morte.

Sobre os riscos em cibersegurança, dois tipos merecem um breve comentário. O primeiro são os riscos de conformidade. São aqueles que podem advir do risco de sanções legais ou regulatórias ou, ainda, de perda financeira ou de reputação como resultado da falha no cumprimento da aplicação de leis, acordos, regulamentos, código de conduta e/ou das políticas. Para qualquer entidade brasileira que trate dados pessoais, há um conjunto de regramentos que estão definidos na LGPD (Lei Geral de Proteção de Dados). E as multas podem ser muito onerosas em casos de vazamentos de dados pessoais ou tratamento fora do consentido.

Mas há outras normas e leis, algumas que sujeitam a multas e/ou penalidades. Exemplos: PCI-DSS (Payment Card Industry Data Security Standard) que deve ser adotada por toda instituição que presta serviços bancários/financeiros usando sistemas de pagamento por cartão. O sistema financeiro brasileiro também deve seguir as orientações constantes da Resolução n.º 4.658 do Banco Central, de 26 de abril de 2018, que dispõe sobre a política de segurança cibernética e sobre os requisitos para a contratação de serviços de processamento e armazenamento de dados e de computação em nuvem. A certificação de segurança por meio da norma ABNT NBR ISO/IEC 27001 requer contínuas reavaliações.

A computação avança muito rapidamente e novos riscos ou riscos que tinham probabilidades muito baixas podem se tornar relevantes. Por exemplo, o crime de sequestro de dados (ransomware) com liberação mediante resgate tem atingido todo tipo de indústria, não poupando nem hospitais e educação. Seria um crime provável em setores altamente monetarizados. O autor Nassim N. Taleb convencionou chamar esses eventos de “Cisne Negro”, pois: são extremamente raros; produzem um impacto extremo; e, após a ocorrência, a natureza humana os outorga como evento previsível (e menos aleatório) (Taleb, 2019).

Após definidos os ativos (tangíveis ou intangíveis) e as ameaças potenciais, com os impactos, é necessária a avaliação do risco de cada um. O enfoque e a metodologia variam, conforme o modelo adotado ou os cenários e as particularidades de cada organização.

A análise do par ativo-ameaça pode ser feita por dois enfoques principais (Chapple; Stewart; Gibson, 2021). Algumas metodologias usam o enfoque dos ativos, nos quais são elencadas e pesquisadas na organização as informações e os processos e alguma medida de sensibilidade. Por exemplo, a perda de um notebook pode representar um custo de substituição, mas também dados e informações perdidas e/ou períodos de inoperância de um sistema até sua recuperação total.

O outro enfoque é nas ameaças e nos vetores de ameaças. As metodologias usadas que são denominadas genericamente de análise de ameaças. Dois exemplos: o framework Cyber Kill Chain, desenvolvido pela empresa Lockheed Martin, e se constitui em sete diferentes passos para identificar e prevenir atividades de intrusão. Outro framework é o MITRE ATT&CK, que busca identificar os padrões e comportamentos das ameaças para realizar ataques cibernéticos. É um dos mais recentes modelos de ameaça, criado dentro do MITRE, que é uma organização patrocinada pelo governo americano, além de centros de pesquisas e universidades. Dessa forma, as atividades de análise de riscos, a análise de ameaças e a pontuação de vulnerabilidades (em inglês, vulnerability scoring) são diferentes métodos para a organização conhecer seus riscos cibernéticos (Strom *et al.*, 2020).

A análise ou avaliação dos riscos é uma das fases que mais distinguem os modelos. É esta fase que trata de compreender os riscos e suas características, e os níveis deles podem ser determinados basicamente por meio de duas metodologias: a qualitativa e a quantitativa. Elas não são excludentes, podendo ser empregadas juntas, sendo a qualitativa em uma fase anterior da análise (Chapple; Stewart; Gibson, 2021).

A avaliação qualitativa é o processo de forma subjetiva para determinar o impacto de um evento que afeta um projeto, programa ou processo. Envolve normalmente o uso de julgamentos de peritos no assunto e modelos para completar o processo. O resultado mais conhecido é na forma de um “mapa de calor” que usa cores para comunicar nível de risco aos ativos e é baseado num quadrante que possui num sentido a probabilidade de ocorrência e, em outro, o nível de impacto (Hubbard; Seiersen, 2016).

A avaliação quantitativa recorre a processos objetivos para determinar o impacto e usa métricas. Para tanto, precisa de dados históricos e tendências para prever a probabilidade futura de eventos e dos impactos. O Quadro 1 apresenta um sumário das principais características de ambas as metodologias (Chapple; Stewart; Gibson, 2021).

Quadro 1 – Comparativo das metodologias de análise de riscos qualitativas e quantitativas

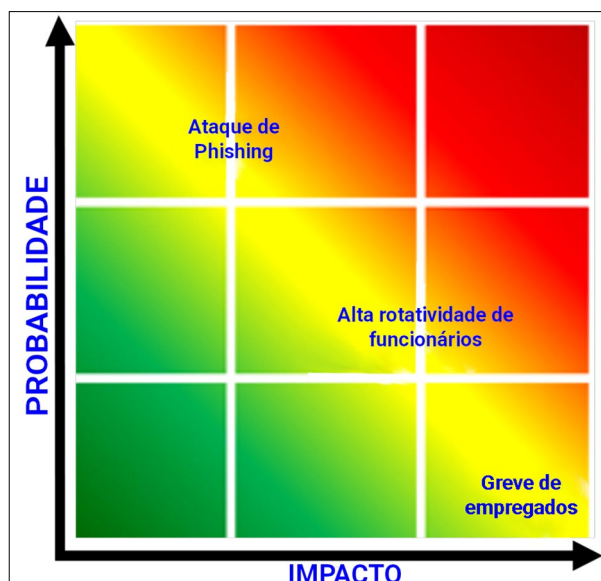
Características	Qualitativo	Quantitativo
Usa funções matemáticas	Não	Sim
Usa análise de custo/benefício	Pode usar	Sim
Requer estimativas	Sim	Alguns
Suporta automação	Não	Sim
Envolve um grande volume de informação	Não	Sim
É objetivo	Pouco	Muito
Depende substancialmente de opinião	Sim	Não
Requer esforço grande e tempo	Em alguns casos	Sim
Oferece resultados úteis e com significado	Sim	Sim

Fonte: adaptado de Chapple, Stewart e Gibson (2021).

Um risco qualitativo poderia ser quantificado como: probabilidade da ameaça contra o impacto. A probabilidade poderia ter os seguintes níveis: improvável (ou baixíssima); raramente (ou baixa); ocasional (ou média); provável (ou alta); frequente (ou altíssima). Algumas normas estabelecem parâmetros para atribuir valores em diferentes escalas. Enquanto isso, o impacto poderia, por exemplo, ser classificado em: insignificante (ou irrelevante); baixo; moderado; crítico (ou alto); catastrófico (ou extremo). O produto da probabilidade de ocorrência pelo impacto constitui uma matriz, que pode ter alocadas cores para indicar o nível de risco, como mostrado num exemplo da Figura 3 (Tucker; 2020).

As análises qualitativas têm a vantagem de possibilitar a compreensão dos riscos para um conjunto muito maior de pessoas (ABNT, 2019), mas não são adequadas para serem integradas à gestão de riscos empresariais. Por isso, muitos autores e normas mais recentes estão procurando incluir metodologias de medidas quantitativas. Pois, como Hubbard e Seiersen (2016, p. X) apontaram em sua obra que os números são a única entrada tanto para engenharia como para inferência estatística. Ainda, os autores fazem a seguinte declaração quanto aos métodos qualitativos: “They are a failure. They do not work” (Hubbard; Seiersen, 2016, p. 14). São apresentadas diversas pesquisas que evidenciam falhas na interpretação que diferentes pessoas têm a respeito de níveis de probabilidade de eventos.

Figura 3: Exemplo de uma matriz de riscos no qual estão definidos três riscos que apesar de possuírem os mesmos níveis, possuem valores de impacto e probabilidade diferentes.



Fonte: alterado de Tucker (2020)

Os métodos quantitativos partem da valoração ou estimativa dos ativos que serão analisados. Algumas das métricas mais comuns são: *Single-Loss Expectancy* (SLE), as quais são o resultado da multiplicação do valor do ativo pelo fator de exposição; *Annualized Loss Expectancy* (ALE), que se obtém do produto da SLE pela probabilidade ou pelo número de vezes que o evento é esperado ocorrer em um ano. Esse último valor corresponde à métrica *Annualized Rate of Occurrence* (ARO), que representa a frequência de um determinado evento em um ano (Conklin *et al.*, 2021).

O problema dos métodos quantitativos é determinar a frequência dos eventos ou a probabilidade da magnitude das perdas. Duas são as soluções: a) usar dados históricos, que podem ou não estar disponíveis, por exemplo, eventos do tipo “Cisne Negro” (Taleb, 2020); b) a outra opção é usar probabilidade para reduzir a incerteza. Um dos métodos mais adotados é a simulação de Monte Carlo, usada para quantificar o nível de confiança (probabilidade de ocorrência) de um evento ou de um resultado de uma decisão. Outra opção, que vários trabalhos recentes vêm fazendo menção, é o uso da decisão Bayesiana, incluindo a proposta dos autores Hubbard e Seiersen (2016).

A fase de tratamento de riscos compreende como a organização responderá aos riscos identificados e selecionados. São quatro principais: aceitar, evitar, transferir ou mitigar. Aceitar um risco é uma decisão na qual se analisam os custos de evitar, transferir ou mitigar em relação à probabilidade de ocorrência e seu potencial impacto. Mas isso não exige que sejam tomadas medidas de monitoramento (Chapple; Stewart; Gibson, 2021).

Evitar um risco pode ser obtido por diversas formas, mas em aspectos gerais é eliminar a causa ou alterar a exposição do sistema às ameaças. A transferência de risco ocorre por meio de acordos legais nos quais terceiros assumem parte ou todo o risco. E, para os casos em que se decide pela mitigação, controles podem ser definidos para endereçar a ameaça ou o agente da ameaça ou mesmo a vulnerabilidade. Os controles são medidas que modificam o risco. A cibersegurança possui diversas normas e padrões que podem auxiliar na definição de controles de segurança. Serão apresentados alguns desses padrões, os quais são os mais conhecidos pelo mercado.

A norma ABNT NBR ISO/IEC 27002 (ABNT, 2013) possui um conjunto de controles de segurança e está relacionada à norma 27001, que determina os requisitos para criar um sistema de gerenciamento de segurança da informação. Elas são bastante conhecidas no mercado, sendo possível obter certificação na 27001 (da mesma forma como a certificação de qualidade ISO 9001). Comparativamente, são mais fáceis de seguir do que algumas normas *National Institute for Standards and Technology* (NIST).

A organização americana de padrões NIST publicou a norma SP 800-53, Revision 5 (*Security and Privacy Controls for Information Systems and Organizations*), a qual é uma revisão (ainda em fase de rascunho), com a inclusão de controles específicos para privacidade. É um framework baseado em controles de segurança de baixo, moderado e alto impacto. Há um apêndice com o mapeamento dos controles dessa norma com os da ISO/IEC 27001. Os controles e respectivos parâmetros da norma 800-53 seguem a mesma linha da ISO/IEC 27002, mas, em contrapartida, são mais amplos e mais detalhados.

O NIST também publicou o framework *NIST Cybersecurity Framework* cuja função é usado para gestão da cibersegurança e, principalmente, para proteção de infraestrutura crítica. O framework é organizado em cinco funções, 22 categorias e 98 subcategorias. As funções são: identificar (ID); proteger (PR); detectar (DE); responder (RS); e recuperar (RC). Um dos melhores e mais fáceis padrões para seguir, estando na versão 1.1 de 2018. Pode ser aplicado a qualquer modelo de gerenciamento de riscos. Esta e outras normas expedidas pelo NIST são de livre acesso. Há uma versão traduzida para o português.

A entidade *Center for Information Security* (CIS) emite recomendações conhecidas como *CIS Controls*, consistindo em um conjunto de ações para proteger diferentes tipos de organizações. Ao todo, são 18 controles de segurança e podem ser adotados em conjunto com outros frameworks específicos. O acesso é livre após um rápido registro e os controles são licenciados sob a *Creative Commons Attribution-Non Commercial-No Derivatives*. Diferentemente das normas

ISO/IEC 27001/2, cuja última versão é de 2013, os controles CIS possuem uma atualização constante, sendo a última versão, a v.8, de agosto de 2020, porém, é menos conhecido e menos adotado.

A entidade *Security Standards Council* (PCI), além de emitir normativas, expediu o documento PCI-DSS (v3.2.1, de maio de 2018), que trata de um padrão para segurança de dados para bancos e financeiras que adotam pagamentos via cartão. Ela é de adoção obrigatória, que além de ser certificada, há revisões periódicas. Essa norma, diferentemente das normas ABNT ISO/IEC 2700x, é de livre acesso.

Nesta seção, serão apresentados os modelos de gestão de riscos cibernéticos mais amplamente adotados e conhecidos pelo mercado. Após uma breve descrição, serão apresentados pontos e informações mais relevantes de cada um. Uma análise detalhada não seria possível, considerando o escopo limitado do presente trabalho. Além dos padrões, serão discutidas as contribuições de alguns artigos selecionados para esta pesquisa.

O primeiro modelo, ou mais precisamente, norma, é a ABNT NBR ISO/IEC 27005:2019 (Gestão de riscos de segurança da informação) (ABNT, 2019), que faz parte do arcabouço de padrões ISO/IEC 2700x. Não é um documento prescritivo, apenas fornece diretrizes gerais para encontrar e analisar riscos, seguindo a linha da norma de Gestão de Riscos ABNT NBR ISO 31000:2018. O documento apresenta tabelas delineando as principais vulnerabilidades e potenciais ameaças. Os níveis de risco foram estabelecidos de forma qualitativa, em uma tabela relacionando valor do ativo, probabilidade da ocorrência da ameaça e facilidade de exploração.

O padrão do NIST, referenciado como Special Publication 800-30, versão de 2012, segue a linha da condução da avaliação de riscos cibernéticos das normas internacionais ISO 31000 e ISO/IEC 27005. Um aspecto importante dessa norma é que as entradas do gerenciamento de riscos são categorizadas em três níveis: organizacional, processo de negócios e ao nível de sistemas de informação. Essa categorização dos riscos em níveis gerenciais permite que o tratamento e a comunicação ocorram de forma mais efetiva. Por exemplo, riscos de alto impacto aos objetivos da organização seriam melhor comunicados à alta gerência para propiciar ações mais efetivas. Riscos tecnológicos que demandam mitigação por controles específicos, são mais adequados aos setores responsáveis por esses ativos.

O risco é qualificado por meio de cinco níveis e obtidos pelo “mapa de calor”, relacionando níveis de impacto e probabilidade de ocorrência. Contém várias tabelas relacionando tipos de ameaças e níveis de intenção. Além dos níveis qualitativos, essas tabelas informam valores semiquantitativos, em duas escalas, uma de zero a dez e outra de zero a cem. Essa norma é prescrita aos órgãos do governo americano e também adotada pelo setor privado.

O órgão de padronização NIST americano está lançando um conjunto de três publicações que compõem a série NISTIR 8286x (*Integrating Cybersecurity and Enterprise Risk Management*), que tratarão de integrar o gerenciamento de risco cibernético (CSRM, em inglês, *Cybersecurity Risk Management*) na gestão de risco empresarial, indicada pela sigla ERM (*Enterprise Risk Management*). A publicação NISTIR 8286A (Stine, 2021a) detalha aspectos gerais da gestão de riscos cibernéticos, como contexto, identificação de probabilidades e impactos, além da forma de apresentação das saídas, por meio de registros, conhecidos como *Cybersecurity Risk Registers* (CSRR).

A publicação informa técnicas para estimativas de probabilidade e de impacto. A probabilidade de eventos pode ser obtida por modelos de ameaças ou pelo conhecimento de eventos passados. No primeiro caso, o framework MITRE ATT&CK (Strom *et al.*, 2020) pode fornecer uma valiosa informação sobre as várias ameaças cibernéticas por meio da compreensão do ciclo de vida dos ataques. O documento apresenta uma tabela-exemplo com avaliação mensal, contemplando resultados passados de riscos, limites de tolerância e de apetite, dentre outras informações sobre um ativo em específico. Esse tipo de informação pode auxiliar nas estimativas de probabilidade futuras, apesar da não garantia para probabilidades futuras.

O documento NISTIR 8286A também informa outros métodos para analisar probabilidade e impacto. A primeira é a da estimativa de três pontos, que elenca um cenário otimista, um pessimista e um provável, gerando estimativas quantitativas. A outra técnica elencada é a de análise de árvores de eventos, que é uma espécie de árvore de decisão, com a causa raiz (ameaça) e os resultados finais. A análise qualitativa informa a probabilidade de cada ramo, considerando as probabilidades de sucesso de cada defesa ou controle. São citadas mais duas técnicas quantitativas para análise de riscos: simulação de Monte Carlo e análise Bayesiana. Diferentemente do framework NIST 800-30, em que não há alusão a técnicas quantitativas, as publicações NISTIR 8286x avançam nessa questão, pois buscam inserir a gestão de riscos cibernéticos na gestão de riscos empresarial.

A publicação NISTIR 8286B (*Prioritizing Cybersecurity Risk for Enterprise Risk Management*), lançada em setembro de 2021 (Stine, 2021b), refina as questões da análise do risco. São apontadas as questões para priorização dos riscos, a avaliação e seleção de respostas aos riscos, além de estratégias de comunicação e integração ao ERM.

As normas e padrões anteriores não enfatizavam a questão da análise quantitativa dos riscos cibernéticos, exceto as publicações mais recentes do NIST, que fizeram menção a algumas técnicas. O framework FAIR (*Factor Analysis of Information Risk* - Análise Fatorial de Risco de Informação) já contempla o enfoque

quantitativo da análise de riscos. Usa a simulação de Monte Carlo combinada com técnicas de aproximação estatísticas. O FAIR foi a base escolhida para a metodologia Open FAIR provida pelo OpenGroup por meio dos padrões O-RT (*Risk Taxonomy*) (Opengroup; 2020b) e O-RA (*Risk Analysis*) (Opengroup; 2020a).

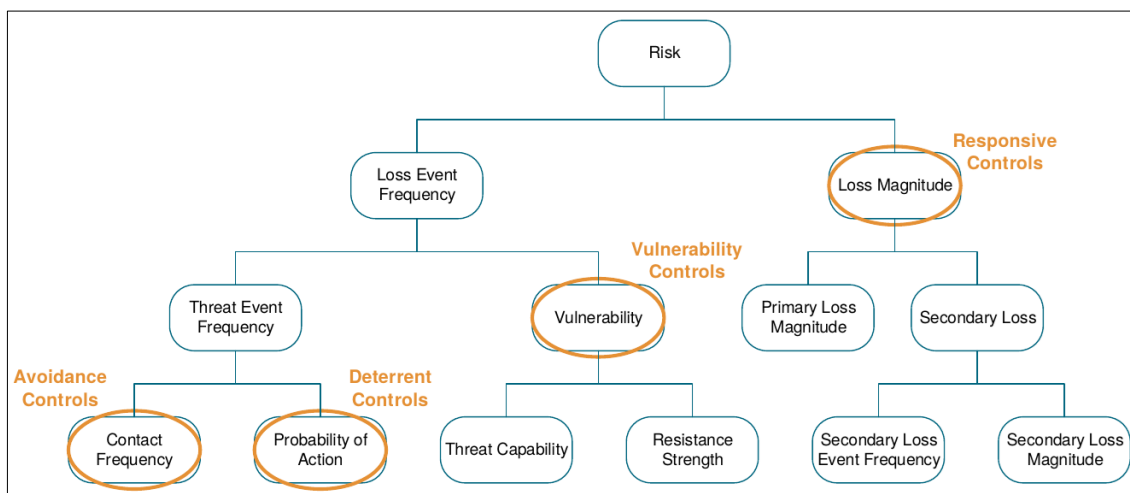
O padrão O-RA faz o processo de análise de riscos em fases e a parte conceitual e a própria linguagem estão baseadas em norma específica, a O-RT, proporcionando um diferencial quando comparado com outras abordagens. As cinco fases compreendem: identificação dos cenários de perda (também o escopo), a avaliação da frequência de eventos de perda, a magnitude das perdas, a derivação e articulação dos riscos e, por fim, a modelagem dos controles de mitigação. O estágio da articulação dos riscos compreende análises quantitativas usando simulações por Monte Carlo e a forma de apresentação dos resultados.

A Figura 4 apresenta os componentes que dão suporte à metodologia de quantificação de riscos, acrescido dos controles de segurança segundo uma categoria própria. A definição e escolha dos controles adequados são executadas na última fase da metodologia. A motivação para incluir controles na norma é que eles representam medidas que podem afetar (diminuir) a frequência ou a magnitude das perdas, ou ambas.

A questão dos controles de segurança é um importante componente do processo geral de gerenciamento de riscos e existem normas e padrões próprios, como a NBR ISO/IEC 27002, a NIST SP 800-53 ou a publicação NIST CSF. No caso da norma O-RA há uma seção que integra as famílias de controles ao framework NIST CSF que trata especificamente das medidas de mitigação via categorização por funções.

Um outro padrão para análise de riscos cibernéticos é o OCTAVE FORTE (*Operationally Critical Threat, Asset, and Vulnerability Evaluation For the Enterprise*) (Tucker, 2020). Esse modelo foi lançado em novembro de 2020, pelo Instituto de Engenharia de Software (SEI) (*Software Engineering Institute*). Essa unidade de pesquisa em computação foi patrocinada pelo governo americano e está vinculada à universidade Carnegie Mellon University.

Figura 4: Componentes da metodologia O-RA com destaque para as categorias de controles definidos na quinta fase.



Fonte: extraído de OpenGroup (2020a).

É constituído em dez passos, iniciando pela estrutura de governança do risco, na qual são definidos o apetite de risco e as políticas de gerenciamento de alto nível dos riscos. Além de descrever o processo OCTAVE FORTE, esse relatório recomenda métodos e fornece um exemplo de política de gerenciamento de risco que as organizações podem consultar ou adaptar ao redigir sua própria política. Os materiais suplementares contêm modelos que as organizações podem usar ao conduzir muitas das atividades do OCTAVE FORTE.

O modelo OCTAVE FORTE, além de ser livremente disponível, contempla o seguinte: a inclusão de planos de resposta e a definição de métricas, tanto para medir a performance dos planos de resposta quanto da efetividade do programa de gestão de riscos. As métricas obtidas deverão vir do monitoramento contínuo do plano. A inclusão dos planos de resposta no documento segue o mesmo princípio adotado pela norma O-RA do OpenGroup.

Os modelos propostos pelas normas e padrões podem apresentar análises quantitativas, como as mais recentes, mas também podem ser omissas nessa questão, como a ABNT NBR ISO/IEC 27005. O trabalho proposto pelos autores Wang, Neil e Fenton (2020) expande o modelo FAIR para acomodar estimativas baseadas em redes Bayesianas. Essa alternativa visava oferecer uma alternativa à questão do conjunto de distribuições dos dados de entrada que, por padrão, são triangulares no esquema FAIR padrão. O problema é que muitos dados não seguem essa distribuição e isso leva a falhas na acurácia das estimativas de perdas dos riscos.

Considerando a evolução temporal dos modelos, eles estão incorporando estratégias quantitativas para os riscos. O objetivo é que o risco cibernético é parte integrante do gerenciamento de risco da empresa na totalidade e as métricas de custo são padrões nesse nível gerencial. Normas mais recentes, como a Open FAIR e a O-RA, e o NISTIR 8286a, incluem análises quantitativas de riscos.

Por outro lado, algumas metodologias ou normas são mais genéricas, definindo diretrizes gerais. Um exemplo é a norma ABNT ISO/IEC 27005, que pode ser apropriada para as organizações que planejam obter certificação ISO/IEC 27001. Algumas abordagens buscam combinar modelos e estratégias (Bakare, 2020).

Os modelos de gerenciamento de riscos em cibersegurança estão seguindo por dois caminhos: o primeiro é especializar-se para determinados setores da computação e, em segundo, são as tentativas de criar um modelo genérico, que possa ser aplicado para qualquer.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram apresentados os principais modelos e normas em gestão de riscos em segurança da informação. A gestão dos riscos cibernéticos e os tratamentos resultantes são parte dos processos de proteção dos ativos. Mas a postura de segurança compreende mais dois pilares: detecção e resposta. Especificamente, em se tratando de vazamentos (em inglês, breach) de dados, há uma mudança de foco de prevenir para assumir os vazamentos (Diogenes; Ozkaya, 2018). E o motivo é que os vetores de ataques, as motivações e as vulnerabilidades estão em crescente, de forma que o custo para eliminar esses riscos é muito alto ou o processo é tão longo que poderá estar desatualizado na fase de implementação das medidas de mitigação (Gollman, 2011).

Os processos e programas de resposta a incidentes são uma resposta das organizações aos riscos à cibersegurança crescentes. Eles servem tanto para adequação às normas e leis vigentes como um mecanismo rápido para o retorno das operações. Além disso, os processos de investigação e recuperação de desastres servem como fatores de aprendizado.

A gestão de riscos cibernéticos procura qualificar ou quantificar riscos aos ativos de informação em cenários incertos. Dois desses cenários que devem merecer atenção nos processos de análise de riscos são: a presença de sistemas legados (Conklin *et al.*, 2021) e as normas atuais de proteção aos dados pessoais, como a GDPR europeia e a LGPD no Brasil. Essas e outras legislações correlatas demandam multas e penalidades para os riscos de tratamento indevido ou para vazamento de dados pessoais e devem conseguir modificar a postura de risco das organizações (Conklin *et al.*, 2021).

REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR ISO/IEC 27032:2015:
Tecnologia da informação: Técnicas de segurança: Diretrizes para segurança cibernética. Rio de Janeiro, 2015. 62 p.
- ABNT. NBR ISO/IEC 27002:2013:
Tecnologia da informação: Técnicas de segurança: Código de prática para controles de segurança da informação. 2a. ed. Rio de Janeiro, 2013. 99 p.
- ABNT. NBR ISO/IEC 27005:2019:
Tecnologia da informação: Técnicas de segurança: Gestão de riscos de segurança da informação. 3. ed. Rio de Janeiro, 2019. 66 p.
- BAKARE, Adeyinka. **A Methodology for Cyberthreat ranking: Incorporating the NIST Cybersecurity Framework into FAIR Model**. 2020. Tese de Doutorado. University of Cincinnati.
- CHAPPLE, Mike; STEWART, James Michael; GIBSON, Darril. **CISSP: Certified Information Systems Security Professional (Official Study Guide)**. 9th Edition. US: Sybex. 2021.
- CONKLIN, Arthur William. *et al.* **CompTIA Security+**: All-in-One Exam Guide. Sixth Edition. US: McGraw Hill. 2021.
- DIOGENES, Yuri; OZKAYA, Erdal. **Cybersecurity: Attack and Defense Strategies**. Birmingham (UK): Packt Publishing, 2018. ISBN 978-1-78847-529-7.
- GIUCA, Olivia *et al.* A Survey of Cybersecurity Risk Management Frameworks. *In: International Workshop Soft Computing Applications*. Springer, Cham, 2018. p. 240-272.
- GOEL, Rajni; KUMAR, Anupam; HADDOW, James. PRISM: a strategic decision framework for cybersecurity risk assessment. **Information & Computer Security**, 2020.
- HUBBARD, Douglas William.; SEIERSEN, Richard. **How to Measure Anything in Cybersecurity Risk**. New Jersey (US): Wiley. 2016.
- JOINT TASK FORCE TRANSFORMATION INITIATIVE. NIST SP 800-30: Guide for Conducting Risk Assessments. Rev. 1. Gaithersburg, MD: NIST, 2012.
- JOYCE, Sean; DOBRYGOWSKI, Daniel; der OORD, Friso Van. **Principles for Board Governance of Cyber Risk**. Harvard Law School Forum on Corporate Governance. 10 jun. 2021. Disponível em: <https://corpgov.law.harvard.edu/2021/06/10/principles-for-board-governance-of-cyber-risk/>. Acesso em: 30 ago. 2021.
- NIST. **Framework for Improving Critical Infrastructure Cybersecurity:** Cybersecurity Framework Version 1.1. 16 abr. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.6028/NIST.CSWP.04162018>. Acesso em: 27 ago. 2021.
- OLSON, Alexander. Gestão de Riscos. *In: SMITH, John (org.). Advanced Risk Management Strategies*. Heidelberg: Springer, 2024. p. 473-478. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-55943-3_30.
- OPENGROUP. Risk Analysis (O-RA) Standard. Version 2.0, The Open Group Standard (C20A), November 2020. Disponível em: <https://publications.opengroup.org/c20a> Acesso em: 1º set. 2021.
- OPENGROUP. Risk Taxonomy (O-RT) Standard. Version 3.0, The Open Group Standard (C20B), November 2020. Disponível em: <https://publications.opengroup.org/standard/s/open-fair-standards/c20b> Acesso em: 1º set. 2021.

SALLES JUNIOR., Carlos Alberto Correa; SOLER, Alonso Mazini; VALLE, José Angelo Santos do. Gerenciamento de riscos em projetos. 2. ed.

STINE, Kevin *et al.* NISTIR 8286A: Identifying and Estimating Cybersecurity Risk for Enterprise Risk Management (ERM). 2nd Draft. Gaithersburg:MD(US): NIST (National Institute of Standards and Technology). Jul. 2021. 60 p. Disponível em: <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8286A-draft2>. Acesso em: 27 ago. 2021

STINE, Kevin *et al.* NISTIR 8286B: Prioritizing Cybersecurity Risk for Enterprise Risk Management. Draft. Gaithersburg:MD(US): NIST (National Institute of Standards and Technology). Sep. 2021. 42 p. Disponível em: <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8286B-draft>. Acesso em: 18 set. 2021.

STROM, Blake *et al.* MITRE ATT&CK: Design and Philosophy. McLean, VA: MITRE, 2020. Disponível em: https://attack.mitre.org/docs/ATTACK_Design_and_Philosophy_March_2020.pdf. Acesso em: 23 set. 2021.

SULOYEVA, Svetlana; GRISHUNIN, Sergei; BUROVA, Ekaterina. Developing a Cybersecurity Risk Analysis System for High-Tech Equipment in Machine Industry. *In: Proceedings of the 2019 International SPBPU Scientific Conference on Innovations in Digital Economy*. 2019. p. 1-6.

TALEB, Nassim Nicholas; NEEDHAM, Duncan; WEITZDORFER, Julius. Probability, Risk, and Extremes. **Extremes**, v. 31, p. 46, 2019.

TUCKER, Brett. **Advancing Risk Management Capability Using the OCTAVE FORTE Process**. Pittsburgh, PA: Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, 2020. Disponível em: <http://resources.sei.cmu.edu/library/asset-view.cfm?AssetID=644636>. Acesso em: 31 ago. 2021.

WANG, Jiali; NEIL, Martin; FENTON, Norman. **A Bayesian network approach for cybersecurity risk assessment implementing and extending the FAIR model**. *Computers & Security*, v. 89, p. 101659, 2020.

WANGEN, Gaute Bjørklund. **Cyber Security Risk Assessment Practices: Core Unified Risk Framework**. Tese (Doctoral thesis) - Institutt for informasjonssikkerhet og kommunikasjonsteknologi, NTNU (Norwegian University of Science and Technology), Gjøvik (Noruega), 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11250/2447264>

WEBER, Elson Luciano; Diehl, Carlos Alberto (2014). GESTÃO DE RISCOS OPERACIONAIS: UM ESTUDO BIBLIOGRÁFICO SOBRE FERRAMENTAS DE AUXÍLIO. **Revista De Contabilidade Do Mestrado Em Ciências Contábeis Da UERJ**, 19(3), 41–58. <https://doi.org/10.12979/10408>

WEF. The Global Risks Report 2021. 16. ed. 19 jan. 2021. Disponível em: http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2021.pdf. Acesso em: 30 ago. 2021.

WIKIPEDIA contributors. Bombe. Wikipedia, The Free Encyclopedia. May 24, 2021, 15:32 UTC. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Bombe&oldid=1024882980>. Accessed August 26, 2021. +

WIKIPEDIA contributors. ENIAC. Wikipedia, The Free Encyclopedia. August 26, 2021, 11:57 UTC. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=ENIAC&oldid=1040746089>. Accessed August 26, 2021.

WIKIPEDIA contributors. Internet. Wikipedia, The Free Encyclopedia. August 22, 2021, 14:58 UTC. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Internet&oldid=1040080585>. Accessed August 26, 2021.

**VIABILIDADE DO USO DO SISTEMA DE ENERGIA SOLAR EM RESIDÊNCIAS
NA CIDADE DE UNAÍ – MG****VIABILITY OF USING SOLAR ENERGY SYSTEM IN RESIDENCES IN THE CITY
OF UNAÍ - MG**

Natalia Vaz Oliveira ¹
Gevair Campos ²

RESUMO: A energia solar fotovoltaica é uma das principais fontes renováveis de geração de energia elétrica, contudo, o seu elevado custo de instalação ainda é considerado a principal limitação para a difusão desse tipo de fonte de energia no Brasil, sendo que a redução de custos é uma meta traçada por diferentes agentes econômicos da sociedade. O presente trabalho teve como objetivo identificar economicamente a viabilidade (ou não) da geração de energia fotovoltaica em residências no município de Unaí–MG. Para isso, realizou-se uma pesquisa exploratória, por meio de um estudo de caso, com abordagem quantitativa. Os métodos de análise empregados foram o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Payback simples. Para isso, foram coletados os consumos de cinco residências, três meses antes e três meses após a instalação do sistema fotovoltaico. Dentre os cenários analisados, os resultados revelam que todos se mostraram economicamente viáveis. Segundo os resultados obtidos, nota-se a relação inversamente proporcional entre o tamanho e a capacidade do sistema solar instalado com o tempo de retorno do investimento. Conclui-se que, além de reduzir custos e de apresentar viabilidade econômica para as residências analisadas, a energia solar trará benefícios inestimáveis também ao meio ambiente, por ser uma fonte de captação de energia renovável, limpa, além de ter grande disponibilidade do recurso solar.

Palavras-chave: Sistema fotovoltaico; Geração Distribuída; Viabilidade Econômica.

ABSTRACT: *Photovoltaic solar energy is a leading renewable source of electricity generation. However, its high installation cost remains a significant barrier to the widespread adoption of this energy source in Brazil. Reducing these costs is a goal shared by various economic stakeholders in society. The present study aimed to economically identify the viability (or not) of photovoltaic energy generation in residences in the municipality of Unaí–MG. For this, we conducted an exploratory research through a case study with a quantitative approach. The analysis methods employed were Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), and Simple Payback. For this, we collected the consumption of five residences three months before and three months after the installation of the photovoltaic system. Among the scenarios analyzed, the results reveal that all were economically viable. The results indicate an inverse relationship between the size and capacity of the installed solar system and the time required to return on investment. We concluded that, to reduce*

¹ Bacharel em Engenharia Civil pela Faculdade CNEC Unaí, Faculdade CNEC Unaí. E-mail: natalia.vaz.oliveira@gmail.com. Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-4288-7705>

² Mestre em Agronegócios pela Universidade de Brasília (UnB); Docente na Faculdade CNEC Unaí, Faculdade CNEC Unaí. E-mail: javas1989@gmail.com. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6909-6088>

costs and demonstrate economic viability for the analyzed houses, solar energy offers significant environmental benefits. It serves as a renewable and clean energy source, capitalizing on the abundant availability of solar resources.

Keywords: Photovoltaic System; Distributed Generation; Economic Feasibility.

1 INTRODUÇÃO

Diante dos impactos ambientais, a conscientização do homem proporcionou a busca por fontes de energias mais limpas (energias renováveis) por causarem menos impactos ao meio ambiente, como também, promovem o desenvolvimento sustentável.

Durante as últimas décadas, as fontes de energia têm sido cada vez mais estudadas e aperfeiçoadas. Segundo Moreira (2008) a utilização de fontes de energias renováveis foi impulsionada pela crise energética e a necessidade de mudança da matriz energética mundial, uma vez que o estoque de reservas de combustíveis não renováveis é limitado e as exigências na redução da emissão de poluentes são constantes.

A emissão de dióxido de carbono intensificou-se no início do século XX devido à produção de energia, inclusive na produção de energia elétrica. Concomitante a este cenário, a eficiência energética tornou-se papel importante nas políticas mundiais de energia e de meio ambiente, principalmente naquelas voltadas às mudanças climáticas.

Conforme o Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (2007), 60% da emissão dos gases de efeito estufa são provenientes da geração de energia. Para estabilizar a concentração dos gases emitidos, é necessário que se reduza até 2030, na mesma proporção de consumo referente à década de 1990, ou seja, é imprescindível haver uma reformulação das formas de produção de energia no planeta.

Diante dos alertas para as alterações climáticas e as consequências provenientes, diversos países passaram a utilizar as fontes de energias renováveis a fim de substituir as fontes tradicionais e minimizar os impactos ambientais causados por essas, bem como ampliar a oferta e a diversificação da matriz energética perante a demanda crescente.

A eficiência energética pautada em fontes de energias renováveis, pode contribuir com o desperdício de energia e a mitigação dos impactos causados ao meio ambiente, provenientes do uso compulsivo e despreocupado do uso da energia pela sociedade, a saber: biomassa, energia eólica, energia geotérmica, energia hidráulica, energia do mar e energia solar.

Os sistemas fotovoltaicos encontram-se em crescente utilização e têm evoluído significativamente em vários países. Por meio deles, obtém-se a energia solar fotovoltaica, em que a célula fotovoltaica é a unidade fundamental do processo de conversão. Contudo, a maioria dos países ainda utiliza como elemento principal para geração de energia os combustíveis fósseis.

A discussão acerca da necessidade da mudança do paradigma da matriz energética brasileira tem se tornado cada vez mais necessária. Ela vem sendo impulsionada por diversos fatores, como o aumento significativo do preço da energia elétrica causado por razões que vão desde a sua distribuição até os custos gerenciais das empresas distribuidoras. Além da diminuição das chuvas, em razão da geração de energia elétrica se basear notadamente na utilização da força da água por meio das usinas hidrelétricas.

A questão energética constitui um dos grandes desafios da atualidade, impondo-se fortes preocupações ambientais, considerando a necessidade de explorar recursos renováveis que trazem flexibilidade e sustentabilidade quanto à sua utilização, uma vez que o aumento do consumo de energia vem se acentuando na maioria dos países desenvolvidos e em muitos países em desenvolvimento. As preocupações relacionadas a esse aumento referem-se principalmente à viabilização do atendimento dessa demanda crescente e à sustentabilidade ambiental desse processo.

São constantes os desafios para identificar as fontes de geração de eletricidade capazes de atender à demanda de maneira sustentável. Além de promover a sustentabilidade, por meio da eficiência energética, a energia solar fotovoltaica é também destacada para solucionar o desperdício. Assim sendo, a questão motivadora deste estudo foi: “Economicamente, é viável (ou não) implantar um sistema de energia solar em uma residência quando comparado ao valor da tarifa pago à distribuidora?”

Para responder ao problema de pesquisa, buscou-se com o estudo o seguinte objetivo: identificar economicamente a viabilidade (ou não) da geração de energia fotovoltaica em residências no município de Unaí–MG.

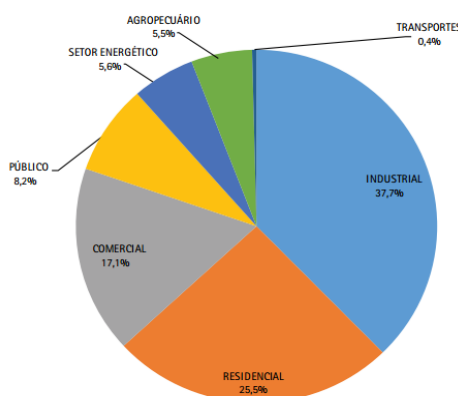
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Um sistema de energia solar fotovoltaico é capaz de gerar energia elétrica através da radiação solar. Esse tipo de sistema vem ganhando destaque em relação às fontes tradicionais de energia devido ao incentivo à utilização de fontes de energia renováveis. As vantagens, o funcionamento e os seus componentes básicos serão explicitados nos tópicos a seguir.

2.1. MATRIZ ENERGÉTICA

Ao final de 2014, a matriz elétrica brasileira no que se trata de fontes renováveis sofreu um regresso de 84,5% em 2012 para 79,3% em 2013 e 65,2% em 2014. O consumo de eletricidade obteve um aumento de 2,9%, ocasionando a expansão da geração termelétrica, principalmente de usinas de carvão mineral, gás natural e biomassa. Tais mudanças são oriundas devido ao aumento dos impactos de gases de efeito estufa. Em 2017, os setores industrial, residencial e comercial respondem por mais de 80% na participação do consumo de energia elétrica, conforme mostra a Figura 1 (EPE, 2018).

Figura 1 – Participação Setorial no Consumo de Eletricidade



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2018).

Conforme Gore (2010, p. 27), o efeito estufa e consequente aumento de temperatura do planeta impulsionaram-se com o desenvolvimento econômico no século XX baseado no uso de combustíveis fósseis:

O uso de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás), no qual se baseou o desenvolvimento econômico do século XX, está lançando na atmosfera enormes quantidades de dióxido de carbono, alterando a sua composição e provocando o aquecimento do globo terrestre, que já está levando a sérios problemas climáticos. Alguns dos efeitos destes problemas, como o derretimento das calotas polares ou o aumento do nível do mar, já são visíveis (GORE, 2010, p.27).

Atualmente, em muitos países, as políticas governamentais desempenham um papel importante no estímulo aos investimentos em energia renovável, motivadas pelos altos níveis de consumo de energia existente em muitos países industrializados, o crescimento contínuo da população e também com as mudanças climáticas. A dinâmica que rege as tendências atuais de energia trata-se das necessidades energéticas voltadas a questões sustentáveis, por meio de soluções efetivas pelo lado da demanda e pelo lado do fornecimento (GORE, 2010).

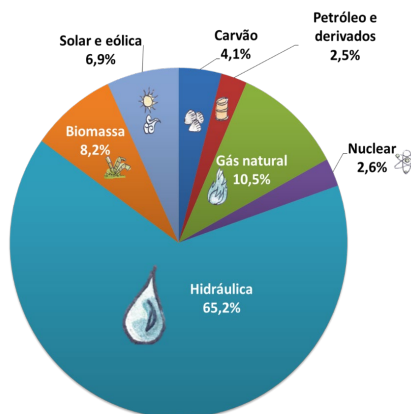
A esse respeito, é preciso considerar que:

Atingir os objetivos de sustentabilidade exigirá mudanças não apenas no modo pelo qual a energia é fornecida, mas no modo como é usada. Reduzir a quantidade de energia necessária para a entrega de vários bens, serviços ou amenidades é uma forma de abordar as externalidades negativas associadas aos sistemas energéticos atuais e fornece um complemento essencial aos esforços que visam à mudança do conjunto de tecnologias de fornecimento de energia e recursos (FAPESP, 2010, p. 29).

De acordo com Bandeira (2012), o Brasil possui no seu território significativas reservas de fontes não renováveis (petróleo, gás natural, carvão, urânio, etc.), como também possui diversificadas fontes de energia renovável, destacando-se a energia eólica, solar e de biomassa para a geração de energia elétrica. Apesar do grande potencial na produção de combustíveis fósseis, o Brasil possui a maior bacia hidrográfica do mundo, que, conseqüentemente, reflete na produção de energia elétrica sendo na sua maior parte oriunda de usinas hidrelétricas.

A matriz elétrica brasileira é predominantemente renovável, e 80,4%, representam as fontes renováveis da oferta interna de eletricidade. Nesse contexto, destaca-se a fonte hídrica, que representa 65,2% dessa oferta conforme a Figura 2 (EPE, 2018).

Figura 2 – Oferta de Energia Elétrica no Brasil



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2018).

A energia solar tem participação pouco expressiva na matriz energética mundial, contudo, o potencial para a energia solar no Brasil é muito grande, apesar das diferentes características climáticas do país. Conforme a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (2010), o local em que ocorre a menor radiação solar é no estado de Santa Catarina ($4,25 \text{ kWh/m}^2$), valor quatro vezes maior que o território da Alemanha (país líder mundial no aproveitamento de energia solar). As áreas localizadas no Nordeste brasileiro têm valores de radiação solar diária, média anual, comparáveis às melhores regiões do mundo (regiões desérticas).

O aproveitamento da energia solar atualmente é mais utilizado para o aquecimento de água e a geração fotovoltaica de energia elétrica. Com o passar dos anos, muitos países começaram a exigir a participação da energia solar no aquecimento de água, destacando-se primeiramente Israel e, posteriormente, a Espanha. No Brasil, o aproveitamento da energia solar para aquecimento de água é mais encontrado nas regiões Sul e Sudeste, sendo uma parcela expressiva do consumo de energia elétrica destinada a esse fim, principalmente no setor residencial, devido às características climáticas das regiões. Já para a geração fotovoltaica de energia elétrica, destacam-se as regiões Norte e Nordeste, em comunidades isoladas da rede de energia elétrica (CRESESB, 2006).

2.2. A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A humanidade está ligada à energia solar desde os tempos remotos. Há muitos séculos, o homem já utilizava o sol para suprir as suas necessidades (por ex.: secar peles). No século VII a.C., conforme achados históricos de arqueólogos, obtinha-se o fogo pela concentração da luz solar em lentes de vidro, que, quando direcionada a pedaços de madeira, ocorria a queima e, conseqüentemente, o fogo. Por praticar a maioria das atividades no período diurno, o homem preocupava-se com a obtenção de uma forma de luz artificial. No período Paleolítico, têm-se os primeiros relatos referentes ao aproveitamento da energia solar para fins de iluminação, impulsionada com a descoberta do fogo (Farias; Sellitto, 2011).

Devido às políticas governamentais, motivadas pelas mudanças climáticas, o gradativo aumento do custo do petróleo, as preocupações com a segurança energética, bem como a consciência ecológica, o uso de fontes renováveis de energia encontra-se cada vez mais comum entre os países. Define-se como energia renovável toda a energia proveniente de recursos naturais e renováveis no meio ambiente, sendo eles: sol, vento, chuva, marés e calor. Toda a energia que utiliza como fonte principal esse recurso é denominado como energia “limpa”. Diante desse cenário, a energia solar tem desenvolvido importante papel como uma fonte renovável e segura de energia, aumentando-se os estímulos para se investir nesse setor (FAPESP, 2010).

A Agência Nacional de Energia Elétrica estabelece a Resolução Normativa ANEEL n.º 482/2012, que fomenta a utilização de fontes renováveis de energia e permite que o usuário e consumidor possa gerar a sua própria energia elétrica a partir de fontes não convencionais e que o excedente de energia elétrica possa ser vendido para a concessionária da rede de distribuição, ou seja, a sobra se converte em um crédito para ser abatido da conta de luz seguinte (ANEEL, 2012).

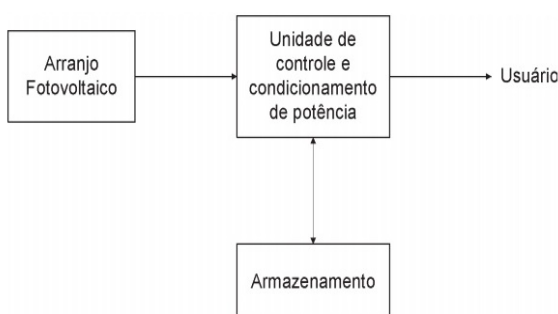
Conforme o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica - CRESEB (2004), a célula fotovoltaica é a unidade responsável pelo processo de conversão em que ocorre uma diferença de potencial na estrutura do material semicondutor, ou seja, no momento em que a radiação solar interage com o material semicondutor, tem-se a liberação de elétrons pelo material, ocorrendo então a diferença de potencial. A célula fotovoltaica mantém o fluxo de elétrons no circuito elétrico somente enquanto houver radiação solar sobre ela, ou seja, não se armazena energia elétrica.

Para produzir uma maior quantidade de energia, são necessárias várias células fotovoltaicas, uma vez que uma célula fotovoltaica sozinha produz pouca energia. O conjunto de células conectadas eletricamente em série sobre uma estrutura rígida permite que se produza tensões maiores. Esse agrupamento de células fotovoltaicas é chamado módulo fotovoltaico (CRESEB, 2004).

Conforme o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica - CRESEB (2004), os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em duas categorias, sendo Sistema Isolado (Off Grid) e Sistema Conectado à Rede (On Grid).

Sistema Isolado (Off Grid): utiliza-se de uma forma de armazenamento (baterias). A energia gerada pelos painéis fotovoltaicos é direcionada à alimentação dos aparelhos elétricos da propriedade e armazenada para que se tenha energia disponível quando não há geração pelo sistema, conforme mostra a Figura 3. Esse sistema é uma solução para atender a um propósito específico, como trazer energia a locais remotos e de difícil acesso, ou ainda, para o acionamento de equipamentos elétricos em períodos em que não há geração do sistema fotovoltaico. Até aqui

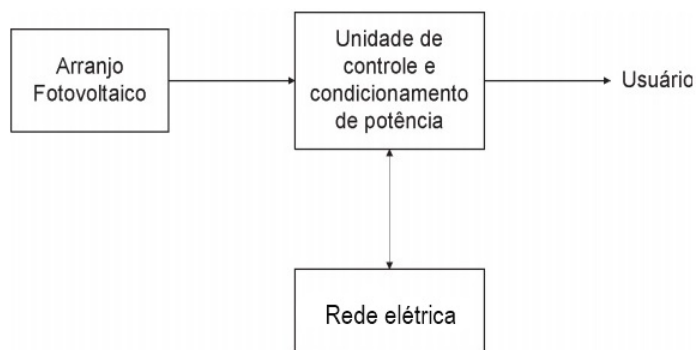
Figura 3 - Configuração Básica de um Sistema Fotovoltaico Isolado



Fonte: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica - CRESEB (2004).

Sistema conectado à rede (On Grid): o fornecimento de energia é constante e dispensa a utilização de baterias e controladores de carga, tornando-se mais eficiente que o Off Grid. A energia solar fotovoltaica se comporta como uma fonte complementar à geração convencional. Geralmente não se utiliza equipamentos para armazenamento, uma vez que a potência gerada é conduzida à rede elétrica como mostra a Figura 4. Um relógio bidirecional registra os momentos de produção maior que o consumo (horários de mais sol) o que é injetado na rede.

Figura 4 - Configuração básica de um sistema fotovoltaico conectado à rede



Fonte: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica - CRESEB (2004).

Segundo o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica - CRESEB (2004) o correto dimensionamento do sistema solar fotovoltaico traz inúmeros benefícios ao usuário, como a economia em componentes a serem utilizados, sendo a produção de energia segundo a necessidade do usuário. As instalações podem variar conforme a necessidade do usuário.

Segundo CRESEB (2004) o projeto de um sistema fotovoltaico envolve algumas etapas fundamentais que devem ser seguidas para que o sistema produza energia suficiente para atender a demanda de consumo de energia elétrica, sendo elas: Obtenção dos dados do recurso solar e temperatura para o local de instalação do sistema, uma vez que o sistema solar fotovoltaico tem as suas características elétricas dependentes da radiação solar que atinge a superfície do módulo fotovoltaico e da temperatura do ambiente a qual o sistema está submetido; Levantamento do consumo de energia elétrica (demanda a ser atendida); Levantamento da quantidade de dias de autonomia do sistema; Seleção dos componentes; e, Dimensionamento dos principais componentes do sistema.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os métodos e técnicas de pesquisas serão tratados a seguir, explicitando-se, concisamente, os elementos utilizados para o desenvolvimento da presente pesquisa e demais aspectos que a constitui.

O presente estudo caracteriza-se como um estudo de caso múltiplo, de caráter exploratório e bibliográfico. Conforme Zikmund (2000), a pesquisa exploratória é útil para diagnosticar situações e descobrir novas ideias, dessa forma, caracteriza-se como ampla e versátil. Esse tipo de pesquisa enquadra-se em descobrir ideias, a fim de adquirir maior familiaridade com o fenômeno pesquisado. Empregam-se estudos de casos selecionados, levantamentos em fontes secundárias e levantamentos de experiências.

Segundo Yin (2001), o estudo de caso múltiplo visa analisar um objeto de estudo de maneira única, em que ocorre um estudo completo, para posteriormente, observar as semelhanças com outros casos, com seus respectivos eventos relevantes e conclusões. Não há generalização dos resultados para toda a população, mas apresentam-se as causas pelas quais alguns fatos ocorreram e outros não, como também há previsão de resultados similares. O pesquisador pode ter a possibilidade de estudar dois ou mais objetos de estudo.

Quanto à abordagem, a pesquisa caracterizou-se como quantitativa, uma vez que há coleta de dados (caráter quantitativo), que foram analisados qualitativamente (especulações das causas dos resultados).

Para a realização da análise da viabilidade da instalação do sistema de energia solar fotovoltaica nas residências foi necessário identificar o valor gasto com a utilização do serviço de fornecimento de energia da concessionária CEMIG em cinco residências, considerando três meses antes e três meses após a instalação do sistema fotovoltaico. Após a identificação desses valores, foi calculada a média do valor antes e depois da instalação para encontrar o valor economizado no mês (subtração do valor médio a ser pago antes e do valor médio a ser pago depois da instalação do sistema) e em seguida, encontrar o valor economizado no ano. O valor médio a ser pago nas residências antes da instalação do sistema é especificado no Quadro 1.

Quadro 1 – Custo com Energia Elétrica das Residências antes da Instalação do Sistema de Energia Solar Fotovoltaica nas Residências

	Residência 1	Residência 2	Residência 3	Residência 4	Residência 5
Mês 1	R\$ 840,53	R\$ 303,82	R\$ 150,02	R\$ 398,54	R\$ 1709,52
Mês 2	R\$ 1078,18	R\$ 448,37	R\$ 162,64	R\$ 430,58	R\$ 1658,49
Mês 3	R\$ 740,64	R\$ 367,76	R\$ 218,23	R\$ 429,56	R\$ 1724,41
Médias	R\$ 886,45	R\$ 373,31	R\$ 176,96	R\$ 419,56	R\$ 1697,47

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

O valor médio a ser pago nas residências depois da instalação do sistema é especificado no Quadro 2.

Quadro 2 – Custo com Energia Elétrica das Residências depois da Instalação do Sistema de Energia Solar Fotovoltaica nas Residências

	Residência 1	Residência 2	Residência 3	Residência 4	Residência 5
Mês 1	R\$ 109,72	R\$ 126,55	R\$ 47,29	R\$ 47,28	R\$ 169,23
Mês 2	R\$ 111,89	R\$ 156,94	R\$ 42,80	R\$ 55,39	R\$ 181,14
Mês 3	R\$ 98,53	R\$ 109,71	R\$ 46,17	R\$ 50,21	R\$ 173,64
Médias	R\$ 106,70	R\$ 130,89	R\$ 45,42	R\$ 50,96	R\$ 174,67

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

No valor que compõe cada sistema estão inclusos: o inversor, as placas, o projeto, a instalação e a manutenção. A potência instalada, ou seja, a capacidade de produção, irá depender do tamanho do projeto e, conseqüentemente, da quantidade de placas. No Quadro 3 têm-se as respectivas potências instaladas nas residências.

Quadro 3 – Capacidade de Produção (kW pico) das Residências

	Capacidade de produção (kW pico)
Residência 1	8,80
Residência 2	4,62
Residência 3	2,30
Residência 4	4,44
Residência 5	14,06

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Foi considerado o período de 25 anos do projeto, que se refere a garantia dada pelo fabricante das placas fotovoltaicas. Finalmente, a partir do valor economizado no ano com o valor total da instalação do sistema, foi possível realizar os cálculos, utilizando o Excel, para saber a viabilidade da implantação, com base em três indicadores de viabilidade econômica, explicados a seguir:

VPL (Valor Presente Líquido), é a diferença entre o valor investido e o valor resgatado ao fim do investimento, trazidos ao valor presente. Basicamente, tem como objetivo medir o lucro (Lapponi, 2000). Para saber se o valor investido será recuperado e haverá ganho, o VPL terá que ser positivo, caso contrário, quando for negativo, o investidor resgatará um valor menor que o valor investido, ou seja, o projeto custa mais do que vale, obtendo prejuízo. Quando o VPL for zero, significa que não fará diferença em aplicar.

TIR (Taxa Interna de Retorno), é a taxa que relaciona o valor investido com o valor resgatado ao fim do investimento. A TIR é utilizada para verificar se a taxa de retorno do projeto é melhor do que outros investimentos a uma taxa estabelecida pelo dono do capital a ser investido. Essa taxa representa a rentabilidade relativa de um projeto de investimento e deverá ser comparada com a taxa de atratividade (TMA) da empresa (LAPPONI, 2000). Se a TIR for maior que a TMA, logo, o investimento é considerado como viável economicamente. Caso contrário ($TIR < TMA$), o investimento é classificado como inviável economicamente. A TMA utilizada foi a taxa IPCA do ano de 2019, utilizada para medir a variação de preços do mercado para o consumidor final e representa o índice oficial da inflação no Brasil.

E o payback permite verificar quando um investimento se pagará e trará ganhos efetivos. Segundo Abreu (2007, p. 78), “o critério consiste em somar os valores dos benefícios obtidos pela operação do projeto. O payback é o tempo necessário para que esses benefícios totalizem o valor do investimento feito”. Em suma, esse indicador estima quanto tempo levará para que o investidor recupere a sua aplicação inicial.

O payback pode ser simples (considera o valor investido sem considerar o valor do dinheiro no tempo) ou, descontado (o valor do dinheiro é levado em conta no decorrer do tempo). O modelo utilizado na pesquisa foi o payback simples.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Considerando um período de vida útil do sistema fotovoltaico de 25 anos, pôde-se observar por meio dos resultados que todos os sistemas seriam pagos antes desse período. Outro aspecto a ser considerado ao se tratar da energia fotovoltaica se refere à regressividade na tarifa de energia, uma vez que, com a instalação do sistema, em todos os casos houve uma diminuição significativa do valor a ser pago para a concessionária.

Utilizando-se do payback, foi possível identificar o tempo necessário para a obtenção de retorno sobre o investimento. Observa-se que o investimento obteve retorno a partir do quinto ano. Na residência 1, o valor investido foi de R\$ 43.000,00, conforme mostra o Quadro 4.

Quadro 4 – Fluxo de Caixa e Payback (Residência 1)

Ano	Fluxo de caixa	Payback	Ano	Fluxo de caixa	Payback
0	-R\$ 43.000,00	-R\$ 43.000,00	13	R\$ 9.356,84	R\$ 78.638,92
1	R\$ 9.356,84	-R\$ 33.643,16	14	R\$ 9.356,84	R\$ 87.995,76
2	R\$ 9.356,84	-R\$ 24.286,32	15	R\$ 9.356,84	R\$ 97.352,60
3	R\$ 9.356,84	-R\$ 14.929,48	16	R\$ 9.356,84	R\$ 106.709,44
4	R\$ 9.356,84	-R\$ 5.572,64	17	R\$ 9.356,84	R\$ 116.066,28

5	R\$ 9.356,84	R\$ 3.784,20	18	R\$ 9.356,84	R\$ 125.423,12
6	R\$ 9.356,84	R\$ 13.141,04	19	R\$ 9.356,84	R\$ 134.779,96
7	R\$ 9.356,84	R\$ 22.497,88	20	R\$ 9.356,84	R\$ 144.136,80
8	R\$ 9.356,84	R\$ 31.854,72	21	R\$ 9.356,84	R\$ 153.493,64
9	R\$ 9.356,84	R\$ 41.211,56	22	R\$ 9.356,84	R\$ 162.850,48
10	R\$ 9.356,84	R\$ 50.568,40	23	R\$ 9.356,84	R\$ 172.207,32
11	R\$ 9.356,84	R\$ 59.925,24	24	R\$ 9.356,84	R\$ 181.564,16
12	R\$ 9.356,84	R\$ 69.282,08	25	R\$ 9.356,84	R\$ 190.921,00

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

O VPL foi utilizado para indicar os rendimentos do projeto em relação ao custo de capital. No sistema solar fotovoltaico da residência 1, obteve-se o VPL no valor de R\$106.632,51, indicando que o projeto é viável e capaz de gerar retorno financeiro.

Com base nessas premissas, o fluxo de caixa projetado para o período de 25 anos. Ressalta-se que, para o bom funcionamento do sistema, é crucial serem realizadas manutenções preventivas (limpeza do sistema), antecipando possíveis problemas e monitorando as condições de desempenho do sistema.

Com uma economia anual de R\$ 2.907,00 na residência 2, foi possível analisar a viabilidade do sistema, quando comparado aos custos de implantação, como mostra o Quadro 5.

Quadro 5 – Fluxo de caixa e Payback (Residência 2)

Ano	Fluxo de caixa	Payback	Ano	Fluxo de caixa	Payback
0	-R\$ 23.000,00	-R\$ 23.000,00	13	R\$ 2.907,00	R\$ 14.791,00
1	R\$ 2.907,00	-R\$ 20.093,00	14	R\$ 2.907,00	R\$ 17.698,00
2	R\$ 2.907,00	-R\$ 17.186,00	15	R\$ 2.907,00	R\$ 20.605,00
3	R\$ 2.907,00	-R\$ 14.279,00	16	R\$ 2.907,00	R\$ 23.512,00
4	R\$ 2.907,00	-R\$ 11.372,00	17	R\$ 2.907,00	R\$ 26.419,00
5	R\$ 2.907,00	-R\$ 8.465,00	18	R\$ 2.907,00	R\$ 29.326,00
6	R\$ 2.907,00	-R\$ 5.558,00	19	R\$ 2.907,00	R\$ 32.233,00
7	R\$ 2.907,00	-R\$ 2.651,00	20	R\$ 2.907,00	R\$ 35.140,00
8	R\$ 2.907,00	R\$ 256,00	21	R\$ 2.907,00	R\$ 38.047,00
9	R\$ 2.907,00	R\$ 3.163,00	22	R\$ 2.907,00	R\$ 40.954,00
10	R\$ 2.907,00	R\$ 6.070,00	23	R\$ 2.907,00	R\$ 43.861,00
11	R\$ 2.907,00	R\$ 8.977,00	24	R\$ 2.907,00	R\$ 46.768,00
12	R\$ 2.907,00	R\$ 11.884,00	25	R\$ 2.907,00	R\$ 49.675,00

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Dessa forma, conforme o fluxo de caixa apresentado, percebe-se que o investimento trará retorno no oitavo ano. O VPL positivo no valor de R\$ 23.488,10 mostra que o projeto é economicamente viável.

Cabe salientar que o sistema solar da residência 3 possui o menor valor investido e maior tempo de retorno. A economia gerada anualmente proporciona um valor de R\$ 1.574,52, conforme mostra o Quadro 6.

De acordo com Kebede (2015), o estudo da viabilidade econômica dos painéis fotovoltaicos objetiva informar aos investidores a respeito dos benefícios de se utilizar o sistema, uma vez que a falta de informação sobre a verdadeira economia gerada com a utilização do sistema de energia solar fotovoltaica no uso doméstico é o maior obstáculo para a expansão da implantação dos sistemas em residências. Ressalta-se que, assim como qualquer outra empresa, uma usina fotovoltaica também tem que obter lucro sobre o investimento.

Quadro 6 – Fluxo de Caixa e Payback (Residência 3)

Ano	Fluxo de caixa	Payback	Ano	Fluxo de caixa	Payback
0	-R\$ 15.000,00	-R\$ 15.000,00	13	R\$ 1.574,52	R\$ 5.468,76
1	R\$ 1.574,52	-R\$ 13.425,48	14	R\$ 1.574,52	R\$ 7.043,28
2	R\$ 1.574,52	-R\$ 11.850,96	15	R\$ 1.574,52	R\$ 8.617,80
3	R\$ 1.574,52	-R\$ 10.276,44	16	R\$ 1.574,52	R\$ 10.192,32
4	R\$ 1.574,52	-R\$ 8.701,92	17	R\$ 1.574,52	R\$ 11.766,84
5	R\$ 1.574,52	-R\$ 7.127,40	18	R\$ 1.574,52	R\$ 13.341,36
6	R\$ 1.574,52	-R\$ 5.552,88	19	R\$ 1.574,52	R\$ 14.915,88
7	R\$ 1.574,52	-R\$ 3.978,36	20	R\$ 1.574,52	R\$ 16.490,40
8	R\$ 1.574,52	-R\$ 2.403,84	21	R\$ 1.574,52	R\$ 18.064,92
9	R\$ 1.574,52	-R\$ 829,32	22	R\$ 1.574,52	R\$ 19.639,44
10	R\$ 1.574,52	R\$ 745,20	23	R\$ 1.574,52	R\$ 21.213,96
11	R\$ 1.574,52	R\$ 2.319,72	24	R\$ 1.574,52	R\$ 22.788,48
12	R\$ 1.574,52	R\$ 3.894,24	25	R\$ 1.574,52	R\$ 24.363,00

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Na análise do sistema da residência 3, também foi considerado viável economicamente, uma vez que o resultado do VPL foi positivo ao final do período, no valor de R\$ 10.179,37. O tempo de retorno estimado para a residência 3 foi de 10 anos.

No Quadro 7, observa-se que a residência 4 terá economia de R\$ 4.423,20 no ano com a obtenção do sistema de energia solar fotovoltaica. Segundo Almeida (2016), atualmente é extremamente importante estudar a viabilidade de implantação do sistema de energia solar fotovoltaica, uma vez que o custo da implantação do sistema é relativamente elevado. Utilizar essa tecnologia tornou-se uma alternativa com grande potencial, principalmente no que se refere às questões ambientais, sendo que as fontes de energia atuais, na sua maioria, não são renováveis e contribuem expressivamente para os impactos negativos ambientais.

Salienta-se ainda que incentivos governamentais na isenção de impostos aliados ao aumento do custo da energia elétrica nos últimos anos impulsionaram a utilização da energia fotovoltaica. A viabilidade do investimento pode ser promissora, no entanto, devem ser mantidos os incentivos financeiros em correspondência com a redução de preços anuais da tecnologia fotovoltaica.

Quadro 7 – Fluxo de Caixa e Payback (Residência 4)

Ano	Fluxo de caixa	Payback	Ano	Fluxo de caixa	Payback
0	-R\$ 25.697,39	-R\$ 25.697,39	13	R\$ 4.423,20	R\$ 31.804,21
1	R\$ 4.423,20	-R\$ 21.274,19	14	R\$ 4.423,20	R\$ 36.227,41
2	R\$ 4.423,20	-R\$ 16.850,99	15	R\$ 4.423,20	R\$ 40.650,61
3	R\$ 4.423,20	-R\$ 12.427,79	16	R\$ 4.423,20	R\$ 45.073,81
4	R\$ 4.423,20	-R\$ 8.004,59	17	R\$ 4.423,20	R\$ 49.497,01
5	R\$ 4.423,20	-R\$ 3.581,39	18	R\$ 4.423,20	R\$ 53.920,21
6	R\$ 4.423,20	R\$ 841,81	19	R\$ 4.423,20	R\$ 58.343,41
7	R\$ 4.423,20	R\$ 5.265,01	20	R\$ 4.423,20	R\$ 62.766,61
8	R\$ 4.423,20	R\$ 9.688,21	21	R\$ 4.423,20	R\$ 67.189,81
9	R\$ 4.423,20	R\$ 14.111,41	22	R\$ 4.423,20	R\$ 71.613,01
10	R\$ 4.423,20	R\$ 18.534,61	23	R\$ 4.423,20	R\$ 76.036,21
11	R\$ 4.423,20	R\$ 22.957,81	24	R\$ 4.423,20	R\$ 80.459,41
12	R\$ 4.423,20	R\$ 27.381,01	25	R\$ 4.423,20	R\$ 84.882,61

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Segundo o fluxo de caixa, observa-se que o investimento dará retorno no sexto ano. Com base no valor do VPL de R\$ 45.037,44, considera-se a instalação do sistema solar economicamente viável.

Observa-se no Quadro 8 que o quinto caso estudado irá obter retorno financeiro no quarto ano.

Quadro 8 – Fluxo de caixa e Payback (Residência 5)

Ano	Fluxo de caixa	Payback	Ano	Fluxo de caixa	Payback
0	-R\$ 65.000,00	-R\$ 65.000,00	13	R\$ 18.273,65	R\$ 172.557,45
1	R\$ 18.273,65	-R\$ 46.726,35	14	R\$ 18.273,65	R\$ 190.831,10
2	R\$ 18.273,65	-R\$ 28.452,70	15	R\$ 18.273,65	R\$ 209.104,75
3	R\$ 18.273,65	-R\$ 10.179,05	16	R\$ 18.273,65	R\$ 227.378,40
4	R\$ 18.273,65	R\$ 8.094,60	17	R\$ 18.273,65	R\$ 245.652,05
5	R\$ 18.273,65	R\$ 26.368,25	18	R\$ 18.273,65	R\$ 263.925,70
6	R\$ 18.273,65	R\$ 44.641,90	19	R\$ 18.273,65	R\$ 282.199,35
7	R\$ 18.273,65	R\$ 62.915,55	20	R\$ 18.273,65	R\$ 300.473,00
8	R\$ 18.273,65	R\$ 81.189,20	21	R\$ 18.273,65	R\$ 318.746,65

9	R\$ 18.273,65	R\$ 99.462,85	22	R\$ 18.273,65	R\$ 337.020,30
10	R\$ 18.273,65	R\$ 117.736,50	23	R\$ 18.273,65	R\$ 355.293,95
11	R\$ 18.273,65	R\$ 136.010,15	24	R\$ 18.273,65	R\$ 373.567,60
12	R\$ 18.273,65	R\$ 154.283,80	25	R\$ 18.273,65	R\$ 391.841,25

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Com base na análise dos resultados, pode-se observar que, no final do período da vida útil do sistema fotovoltaico na residência 5, o valor economizado será de R\$ 18.273,65.

Os sistemas de energia fotovoltaica das residências 1 e 5 possuem os maiores valores de potência instalada quando comparados aos demais sistemas estudados, sendo 8,80 kWp e 14,06 kWp, respectivamente. Comparando os resultados com o tempo de retorno, nota-se que a relação entre eles é inversamente proporcional, ou seja, quanto maior o sistema solar (maior potência instalada), menor será o tempo de retorno.

Segundo a Resolução Normativa Número 687 (ANEEL, 2015), a energia elétrica excedente gerada não poderá ser vendida para a concessionária, mas sim retornar como forma de crédito de energia elétrica. Os créditos podem ser abatidos da conta do consumidor conforme a necessidade e possuem prazo de validade de 60 meses, sendo descartados após esse prazo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho de conclusão de curso teve como objetivo identificar economicamente a viabilidade (ou não) da geração de energia fotovoltaica em residências no município de Unaí-MG. Para isso, foram utilizados indicadores de viabilidade VPL, TIR e Payback Simples.

Diante das constatações apresentadas na análise de viabilidade econômica, pode-se afirmar que se faz vantajoso o investimento no sistema de geração fotovoltaica aplicado às residências. E, além de garantir o retorno do investimento, cobram-se os custos de instalação e manutenção, gerando ao longo do tempo de utilização uma receita líquida, superior às aplicações financeiras, caracterizando-se como um investimento economicamente viável. Foi possível constatar que o tempo do retorno financeiro se altera conforme o tamanho e capacidade do sistema, visto que terá menor tempo de retorno econômico quanto maior for o sistema e, consequentemente, maior valor investido.

Conclui-se que o sistema fotovoltaico é de suma importância para o processo de desenvolvimento da geração distribuída limpa e sustentável, sendo uma oportunidade de investimento que poderá gerar benefícios ao longo do tempo. A compreensão dessa realidade foi possível devido ao alcance dos objetivos propostos no trabalho. As limitações deste estudo são em relação à quantidade de casos fornecidos. Estudos futuros podem ampliar a análise de viabilidade econômica envolvendo mais casos, sugerindo-se como trabalhos posteriores.

REFERÊNCIAS

- ABREU, F. J. C. de. **Finanças corporativas**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2007.
- ALMEIDA, G. D. Energy performance evaluation of a net plus-energy residential building with grid-connected photovoltaic system in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 120, p. 19 – 29, 2016.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa n.º 482, de 17 de abril de 2012. **Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências**. 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: dez. 2024.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa 687, de 24 de novembro de 2015**. 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: nov. 2024
- BANDEIRA, F. De P. M. **Aproveitamento da energia solar no Brasil: Aproveitamento e perspectivas**. 2012. Disponível em: http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/9008/aproveitamento_energia_bandeira.pdf?sequence. Acesso em: dez. 2024.
- CRESESB. Centro de Referência Para Energia Solar e Eólica De Salvo Brito. **Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2004.
- CRESESB. Centro de Referência Para Energia Solar e Eólica Sérgio De Salvo Brito. **Energia solar: princípios e aplicações**. Tutorial Solar, 2006.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional**. 2018. Disponível em: <https://epe.gov.br>.
- FAPESP. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. **Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho**. São Paulo: FAPESP, 2010.
- FARIAS, L. M.; SELLITTO, M. A. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. **Revista Liberato** (Novo Hamburgo), v. 12, p. 7/21788820-16, 2011.
- GORE, A. **Nossa escolha**: um plano para solucionar a crise climática. Our choice: a plan to solve the climate crisis. Barueri–SP: Manole, 2010.
- KEBEDE, K. Viability study of grid-connected solar PV system in Ethiopia. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 10, p. 63 – 70, 2015.
- LAPPONI, J. C. **Projetos de Investimentos**: construção e avaliação do fluxo de caixa: modelos em Excel. São Paulo: 2000.
- MOREIRA, C. A. M. **Avaliação do desempenho hidro energético de sistemas fotovoltaicos utilizados no bombeamento de água**. 2008, 116 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2008.
- PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA. **Mudança do clima 2007**: a base das ciências físicas. contribuição do Grupo de Trabalho I ao Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. 2007. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/portuguese/ar4-wg1-spm.pdf>. Acesso em: nov. 2024
- YIN, R. K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- ZIKMUND, W. G. **Business research methods**. 5. ed. Fort Worth, TX: Dryden, 2000.