4ª FCTI

FEIRA DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

UFSM – CAMPUS CACHOEIRA DO SUL



E-BOOK

EDITORA CORALINA FUND. 2019

ORGANIZADORES:

Jocenir Boita, Glauber Rodrigues de Quadros e Lucinéia Fabris

4ª FCTI

FEIRA DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

UFSM – CAMPUS CACHOEIRA DO SUL

1ª edição, 2026

CRÉDITOS EDITORIAIS

ORGANIZADORES

» Jocenir Boita
» Glauber Rodrigues de Quadros
» Lucinéia Fabris

Publisher
Pedro Paulo Graczcki

Coordenação Editorial
Barbara Miho Kuriki

Projeto Gráfico e diagramação
Alexsandro Gomes Pereira

Capa
Jocenir Boita

REVISORES DA OBRA

» Bruno Cristiano dos Santos
» Adilson Mueller
» Ricardo Giuliani Martini
» Felipe Caleffi
» Luciana Ebani
» Letícia Camargo Fabris
» Renata Venturini Zampieri
» Deise Maria Cirolini Milbradt
» Emanuele Amanda Gauer
» Débora Gregoletto
» Minéia Johann Scherer
» Letícia de Castro Gabriel
» João Rodrigo Guerreiro Mattos
» Rafaela Falcão Socoloski
» Mariana Vieira Coronas
» Rosana Brettas da Silva
» Júlio César Pinheiro Pires
» Nelson Knak Neto
» Leticia Lopes da Silveira da Silva
» Diogo Pauletti
» Camila Becker Picoloto
» Patrícia Regina Ebani
» André Francisco Caldeira
» Simone Ferigolo Venturini
» Rafael Domingues Della Pace
» Carina Dorneles Gomes
» Vanderlei Manica
» Rodrigo Marinho de Souza
» Débora Faoro
» Ana Luisa Soubhia
» Mariângela Brum Frota
» Cristiano Frandalozo Maidana
» Charles Rech
» Lucas Tavares Cardoso
» Carolina Kuhn Novakoski

Dados Internacionais de Catálogo na Publicação (CIP)

4ª Feira de ciências, tecnologia e inovação: UFSM - Campus Cachoeira do Sul [recurso eletrônico] / Organizadores Jocenir Boita, Glauber Rodrigues de Quadros, Lucinéia Fabris. - 1. ed. – Gravataí, RS: Editora Coralina, 2026.
recurso digital

Formato: Epub
Modo de acesso: word wide web

Bibliografia.
ISBN 978-65-83639-40-0 (recurso eletrônico)

1.Produção técnico-científica. 2.Pesquisa científica. 3.Divulgação científica. 4.Feiras de ciências. 5. Tecnologia. 6.Inovação tecnológica. 7. Livros eletrônicos. I.Boita, Jocenir. II.Quadros, Glauber Rodrigues. III. Fabris, Lucinéia.

CDD: 001.4
CDU: 001.891

Kethlyn Galdino Pereira – Bibliotecária - CRB-8/10560

Índice para catálogo sistemático:

1. Pesquisa Científica. 001.4
2. Pesquisa Científica. 001.891

AGRADECIMENTOS

Registramos nosso agradecimento ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil, pelo apoio financeiro concedido ao projeto "Feira de Ciências, Tecnologia e Inovação da UFSM-CS", conforme Termo de Outorga do Processo nº 420983/2025-2. Os recursos recebidos foram fundamentais para a realização da 4ª Feira de Ciências, Tecnologia e Inovação da UFSM-CS e para o fortalecimento das ações de divulgação, popularização da ciência e integração entre universidade, escolas e comunidade.

Apoio institucional e financiamento

APRESENTAÇÃO

O e-book da 4ª Feira de Ciências, Tecnologia e Inovação da Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul (UFSM-CS) reúne trabalhos apresentados no âmbito de uma ação institucional dedicada à divulgação científica, à valorização da educação, ao estímulo à investigação e à aproximação entre a universidade, as escolas e a comunidade.

A Feira de Ciências, Tecnologia e Inovação da UFSM-CS consolidou-se como um espaço de socialização do conhecimento, no qual estudantes, professores, orientadores, pesquisadores e demais participantes apresentam projetos, experimentos, protótipos, estudos aplicados e propostas educacionais desenvolvidas em diferentes áreas do conhecimento. Ao longo de suas edições, a Feira tem contribuído para fortalecer a cultura científica no município e na região, incentivando a curiosidade, o pensamento crítico, a criatividade, a inovação e o protagonismo estudantil.

Esta publicação dá continuidade ao compromisso de registrar e divulgar os trabalhos vinculados à Feira, transformando as produções apresentadas em capítulos de livro. Dessa forma, o e-book amplia o alcance das atividades realizadas durante o evento, preserva a memória acadêmica e escolar da Feira e contribui para a circulação do conhecimento produzido por estudantes da Educação Básica, do Ensino Superior e por seus respectivos orientadores.

A realização da 4ª Feira reafirma a importância das Feiras de Ciências como instrumentos de popularização da ciência e de integração entre ensino, pesquisa, extensão e inovação. Mais do que uma exposição de resultados, a Feira representa um ambiente formativo, no qual os participantes são incentivados a observar problemas, formular perguntas, testar hipóteses, construir soluções e comunicar suas descobertas à sociedade. Nesse processo, a ciência torna-se mais próxima, acessível e conectada com os desafios educacionais, sociais, ambientais e tecnológicos contemporâneos.

A UFSM-CS, por meio desta iniciativa, fortalece seu papel como instituição pública comprometida com a formação científica e cidadã, com a interiorização das ações de ciência, tecnologia e inovação e com o desenvolvimento regional. A Feira também evidencia a relevância da parceria entre universidade e escolas, criando oportunidades para que estudantes tenham contato com práticas investigativas desde as etapas iniciais de sua trajetória formativa.

Registramos nosso agradecimento ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil, pelo apoio financeiro concedido ao projeto "Feira de Ciências, Tecnologia e Inovação da UFSM-CS", aprovado no âmbito da Chamada CNPq/FNDCT/MCTI/MEC/CAPES Nº 37/2024 – Feiras de Ciências e Mostras Científicas, conforme Termo de Outorga do Processo nº 420983/2025-2. Os recursos financeiros recebidos foram fundamentais para apoiar a execução das ações previstas, contribuindo para a realização da Feira e para o fortalecimento das atividades de divulgação e popularização da ciência.

Agradecemos, ainda, aos autores, orientadores, escolas, estudantes, docentes, técnicos administrativos, colaboradores, avaliadores, revisores e membros da comissão organizadora que contribuíram para a construção desta edição. O trabalho coletivo de todos foi essencial para a realização da Feira e para a produção deste e-book.

Que esta obra sirva como registro, inspiração e incentivo para novas iniciativas científicas, educacionais e tecnológicas. Esperamos que os capítulos aqui reunidos estimulem novos projetos, despertem vocações, fortaleçam parcerias e reafirmem a importância da ciência como instrumento de transformação social.

Comissão Organizadora

4ª Feira de Ciências,
Tecnologia e Inovação da UFSM-CS

SUMÁRIO

1- RUPTURA VS. SEGURANÇA: UMA ANÁLISE PRÁTICA DA TENSÃO ADMISSÍVEL 13
Lorenzo Prediger Dezordi; João Lauro Ritter Vargas; Enzo Makyiama Cruz

2- AVALIAÇÃO DAS FAIXAS DE APLICAÇÃO DO DRONE AGRÍCOLA DJI T20P 20
Isabela Scholten Decian; Eduardo de Moraes Severo;
Érika de Moraes Severo; Alice Ciandra Bitencourt Damacena;
Wanderléia dos Santos Jobim; Alfran Tellechea Martini

3- ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DAS ALTURAS DOS ESTUDANTES DE UMA ESCOLA NO SUL DO BRASIL 25
Matheus Barbosa Flores; Murilo Maciel da Silva Silveira;
Ana Lúcia Souza Silva Mateus

4- FÍSICA EM UMA GUITARRA ELÉTRICA: FUNDAMENTOS DE ELETROMAGNETISMO APLICADOS AO SUSTAINER..... 30
Bruna Silva Vargas; Glauber Rodrigues de Quadros;
Deyla da Costa Moura; Lucas Anversa da Silva; Arthur Batista Bromirsky;
Jocenir Boita; Angélico Loreto Teixeira; Luciana Ebani

5- REVISÃO SOBRE SUSTAINERS – USO, APLICAÇÕES E PERSPECTIVAS 37
Bruna Silva Vargas; Glauber Rodrigues de Quadros;
Deyla da Costa Moura; Lucas Anversa da Silva; Arthur Batista Bromirsky;
Jocenir Boita; Angélico Loreto Teixeira

6- DESEMPENHO TÉRMICO E CONFORTO AMBIENTAL: PLANEJAMENTO E IMPLANTAÇÃO DE UMA FACHADA VEGETAL.....42
Keren Francini Baracy; Brenda de Oliveira Dutra;
Luana dos Santos Gonçalves; Lays Távore Silva; Ana Livia Farias Dib;
Elaíse Gabriel; Minéia Johann Scherer

7- SUSTAINER E INTEGRIDADE SONORA: ESTRATÉGIAS DE CAPTAÇÃO E PRESERVAÇÃO DO TIMBRE DO INSTRUMENTO 48
Bruna Silva Vargas; Glauber Rodrigues de Quadros;
Deyla da Costa Moura; Lucas Anversa da Silva; Arthur Batista Bromirsky;
Jocenir Boita; Angélico Loreto Teixeira

8- DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE PARA ANÁLISE DE BARRAS PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS 56
Arthur Batista Bromirsky; Marcus Paulo de Oliveira; Eduardo Pasquetti

9- DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA AUXÍLIO À ESCOLHA DE COLETORES SOLARES 65
Arthur Batista Bromirsky; Nicolas Araujo Paladino do Campo;
Cristiano Frandalozo Maidana; Charles Rech; André Francisco Caldeira

10- ANÁLISE ESTATÍSTICA DO VOLUME DE ÁGUA COLETADO DE AR CONDICIONADO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA 71
Nândria Diésily do Carmo Danzmann; Carolina Kuhn Novakoski; Rafaela Falcão Socoloski; Thaís Aquino dos Santos

11- INTEGRAÇÃO DO MICROSSIMULADOR SUMO COM O UNITY PARA REQUALIFICAÇÃO URBANA 76
Maria Manoela Cardoso dos Santos; Letícia Steyding Mazuim; Felipe Caleffi

12- ÁLGEBRA LINEAR: A LINGUAGEM DAS REDES NEURAIS 83
Willian Marques da Silva; Pedro Barbosa Flores; Robson Giambastiani; Lucas Tavares Cardoso

13- ESCOLA LIXO ZERO COMO EXEMPLO À COMUNIDADE – POSSIBILIDADES DE TRANSFORMAR O QUE SERIA "LIXO" EM FONTES DE ENERGIA, ECONOMIA E LUCRO 89
João Eduardo da Silva Cheiram; Adriane Aparecida Madrid da Silva; Érick Alexei Coelho de Melo; Geovana Monteiro da Silva; Marília Luiza da Silveira Alves; Pedro Henrique Cassol da Silva; Victor Costa Bonini; Raquel Cristina Estrasulas de Vargas; Rezoni de Fátima Batista Teixeira

14- ESTAÇÃO FERROVIÁRIA CONTROLADA E MONITORADA COM ESP32 E APLICATIVO MÓVEL 94
Willian Marques da Silva; Pedro Barbosa Flores; Robson Giambastiani; Celso Becker Tischer

15- JOGOS MATEMÁTICOS E AVALIAÇÃO EXTERNA: PERCEPÇÃO DOCENTES E POTENCIALIDADES PEDAGÓGICAS 99
Geovanne Carlos Teles da Silveira; Lucinéia Fabris; Ana Luisa Soubhia; Deise Maria Cirolini Milbradt; Mariana Vieira Coronas

16- CRESCIMENTO DA FROTA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL E PERSPECTIVAS FUTURAS PARA A GESTÃO DE BATERIAS DE ÍON-LÍTIO 105
Eduarda Nunes Adolpho; Vanessa Teresinha Alves; Paula Donaduzzi Rigo

17- EXPLORANDO A OTIMIZAÇÃO ESTOCÁSTICA: CADEIAS DE MARKOV, ENTROPIA E O ALGORITMO DE METROPOLIS-SIMULATED ANNEALING 111
Vanessa Neumann; Maria Eliza Castro; Rodrigo Marinho; Lucas Sartor

18- DIAGNÓSTICO E MAPEAMENTO GEORREFERENCIADO DO TRANSPORTE COLETIVO URBANO POR MEIO DE REGISTROS DE GPS NA CIDADE DE CACHOEIRA DO SUL/RS 116
Julia Brettas da Silva; Ítalo Brum Raguzzoni; Felipe Caleffi

19- A ILUSÃO DO CONE DUPLO: QUANDO O CENTRO DE MASSA DESCE E O OBJETO PARECE SUBIR 121
Sofia Veiga Oliveira; Jocenir Boita

20- UMA INTRODUÇÃO AO PROCESSO DE POISSON 131
Sofia Gattermann; Rodrigo Marinho; Adriana Neumann

21- DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DIDÁTICO DE MOTOR STIRLING 136
Enzo Reghelin Manhabosco; Heitor Franzmann Pereira; Pedro Henrique Chiodi; Cristiano Frandalozo Maidana; Charles Rech

22- MODELO GUMBEL AUTORREGRESSIVO PARA DADOS CLIMÁTICOS..... 141
Maria Eliza Castro; Moizés da Silva Melo; Laís Helen Loose

23- DESENVOLVIMENTO DE UM MOLDE 3D PARA SECAGEM DE SABÃO: UMA EXPERIÊNCIA DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA..... 146
Anderson Machado Borba; Camila Becker Picoloto; Débora Faoro; Matheus Fritz Warol Porto Rodrigues; Cassio Yuri Oliveira dos Santos; Adylson Hahn; Gabriel Rodrigues Jacobi; Arthur Ferretti Goncalves

24- MATERIAIS DA ENDURANCE - COMPÓSITOS, LIGAS E BLINDAGEM NO ESPAÇO..... 152
Raissa Veiga; Rithiele dos Santos Ferreira; Yara de Mattos Silva; Camila dos Santos Torres

25 - DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE YOUNG EM HASTE UTILIZANDO UM SMARTPHONE 157
Rafael Domingues Della Pace; Lucas Alves Lamberti; Diogo Pauletti; Lucas Tavares Cardoso; Fábio Beck

26- AJUSTE DA EQUAÇÃO DE TALBOT PARA CACHOEIRA DO SUL ATRAVÉS DO MÉTODO DE GAUSS-NEWTON 167
Ana Julia Oliveira da Costa; Lucas Alves Lamberti

27- CONCRETO AERADO À BASE DE RESÍDUOS DE CINZA DE CASCA DE ARROZ E PÓ DE ÁGATA: EFEITO DO AGENTE ESPUMANTE NA ABSORÇÃO DE ÁGUA 172
Marcus Paulo de Oliveira; Matheus Amancio Correa Neres; Larissa Friedrich; Jocenir Boita

28- CADEIAS DE MARKOV ABSORVENTES..... 180
Maria Eliza Castro; Vanessa Neumann; Rodrigo Marinho; Lucas Sartor

29- CADEIAS DE MARKOV ATRAVÉS DE OPERAÇÕES COM MATRIZES E SISTEMAS LINEARES..... 185
Laura de Brum Carlan; Rodrigo Marinho

30- SOLUÇÕES COLOIDAIS DE FERRO: REMOÇÃO SELETIVA DE ÓXIDOS E ESTABILIDADE CONTRA REOXIDAÇÃO 190
Larissa Friedrich; Arthur Batista Bromirsky; Marcus Paulo de Oliveira; Matheus Amancio Correa Neres; Glauber Rodrigues de Quadros; Patrícia Regina Ebani; Jocenir Boita

31- O MÉTODO DE WILSON E O TEMPO DE MISTURA DO EMBARALHAMENTO DE RUDVALIS SIMÉTRICO 196
Lucas Sartor; Maria Eliza Castro; Vanessa Neumann; Rodrigo Marinho

32- FUNCIONAMENTO DE UM SUSTAINER – SOLUÇÕES DE BAIXO CUSTO E REAPROVEITAMENTO..... 200
Arthur Batista Bromirsky; Lucas Anversa da Silva; Angélico Loreto Teixeira; Glauber Rodrigues de Quadros; Jocenir Boita; Bruna Silva Vargas; Deyla da Costa Moura

33- RE CONECTA CACHOEIRA: EDUCAÇÃO PATRIMONIAL E VALORIZAÇÃO DO PATRIMÔNIO MATERIAL EM CACHOEIRA DO SUL (RS) POR MEIO DO USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA) 205
Ana Paula Nogueira; Adroaldo Borba da Silva; Isadora Dias Bido;

Maria Luiza Zanatta de Souza

34- O USO DE TRANSFORMAÇÕES LINEARES E MATRIZES NA IMPLEMENTAÇÃO E ANÁLISE DE SISTEMAS CRIPTOGRÁFICOS DE SEGURANÇA ... 211
Gunnar Vingren Teixeira Aparicio; Erik Luiz Dullius Carneiro; Miguel Nunes Roso; Lucas Tavares Cardoso

35- CONCEITOS DE ÁLGEBRA LINEAR NO RECONHECIMENTO FACIAL 216
Eduardo Soares Boeck; Leonardo Leão Leal; Ruan Pablo da Silva; Lucas Tavares Cardoso

36- PROJETO DE CONVERSÃO TÉRMICA COM PELTIER 220
Matheus A. C. Neres; Lara B. Lorenzoni; João Vitor H. Spode; Charles Rech; Cristiano F. Maidana

37- VISUALIZAÇÃO DE DADOS EM SAÚDE MENTAL DO MUNICÍPIO DE SANTA MARIA RS: APLICATIVO EM SHINY 226
Lucas Rossini Belmonte; Luciano Araldi; Luciane Flores Jacobi; João Pedro Gonçalvez Pacheco; Janine Bosi Tonel; Elton Rogerio Teixeira Jacobi; Caroline de Oliveira Salvati

38- ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NA COMUNIDADE DA UFSM-CS 231
Vitória Gonçalves da Silva; Lucinéia Fabris; Paula Trindade da Silva Selbach

39- PROTÓTIPO DE DESUMIDIFICADOR TERMOELÉTRICO INTEGRADO A SISTEMA DE IRRIGAÇÃO DOMÉSTICA 237
Tauan Alison Mundt; Maria Clara Burgues Nepomuceno; Pedro Antônio Pereira do Carmo; Cristiano Frandalozo Maidana; André Francisco Caldeira; Charles Rech

40- JOGOS MATEMÁTICOS: UMA FORMA LÚDICA DE ENTENDER A MATEMÁTICA 243
Laura Brites Adolpho; João Marcos de Lara Bittencourt; Ana Luisa Soubhia

41- GANHO DE PESO DE TERNEIROS EM FUNÇÃO DA COR DO PELAME E DAS CONDIÇÕES DE AMBIÊNCIA DO PIQUETE 248
Diogo André Schmidt; Zanandra Boff de Oliveira

42- IMPACTOS DA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ETO – FAO PM) NO BALANÇO HÍDRICO DA SOJA IRRIGADA EM DUAS SAFRAS ... 254
Zanandra Boff de Oliveira; Beatriz Mariana; Rafaela Richardt Piazza; Rafael Rohrs Borges; Rafaela Fauth Bisol; Bruno Gabriel Mayerhofer; Ana Luíza Canto da Silva

43- CONHECIMENTOS DA COMUNIDADE DA ESCOLA TAUFIK GERMANO SOBRE PLANTAS MEDICINAIS 260
Melaine Santos da Silva Penha

44- MONITORANDO O CLIMA: PROTEGENDO A CIDADE 266
Gabriela de Souza Vidal; Laiana Dutra Garcia; Laiana Rosa dos Santos; Ediane Bersagui Aresi Santos; Vanessa Muniz

1 RUPTURA VS. SEGURANÇA: UMA ANÁLISE PRÁTICA DA TENSÃO ADMISSÍVEL

RESUMO

A engenharia de segurança é um âmbito de estudo importantíssimo no ambiente profissional para assegurar a realização de atividades cotidianas, e para compreendê-la é de suma importância citar o papel inevitável da resistência dos materiais nesta área[1]. Sob esta perspectiva, o objetivo deste trabalho está centrado na visualização prática e simples do conceito de Tensão Admissível, relacionando-o com índices de Fator de Segurança[2] e componentes básicos do dia a dia, com o auxílio de um script desenvolvido em Python para facilitar o cálculo dos resultados. Destarte, será utilizado como material principal do trabalho fios de diferentes composições e propriedades distintas, como fio dental e barbante. A análise será feita a partir da obtenção da força peso máxima que determinado fio suportou antes de sua ruptura, calculando-se assim sua Tensão Ruptura[3]. A partir deste valor e de Fatores de Segurança pré-determinados, as medições obtidas serão inseridas no código desenvolvido, para assim, ser rapidamente obtido parâmetros seguros de Tensão Admissível que o material é capaz de suportar antes de apresentar danos. O trabalho consegue propor de forma acessível, visual e lúdica princípios essenciais da área de Resistência dos Materiais, e indispensáveis para noções de segurança em projetos.

Palavras-chave: Tensão Admissível, Fator de Segurança, Tensão de Ruptura, Poliméricos.

Lorenzo Prediger Dezordi[1];
João Lauro Ritter Vargas[1];
Enzo Makyiama Cruz[1]

1 Universidade Federal de Santa Maria - Campus Cachoeira do Sul, Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

ABSTRACT

Safety engineering is a crucial area of study in the professional environment to ensure the execution of daily activities, and to understand it, the inexorable role of materials resistance in this field[1] must be mentioned. From this perspective, the objective of this work will be centered on the practical and simple visualization of the concept of Allowable Stress, relating it to Safety Factor indices[2] using basic daily components with the aid of a Python script developed to facilitate the calculation of results. Thus, the main materials used will be threads of different compositions and distinct properties, such as dental floss and twine. The analysis will be made by obtaining the maximum weight force that a given thread supported before its rupture, thus calculating its Rupture Stress[3]. Based on this value and predetermined Safety Factors, the obtained measurements will be inserted into the developed code to quickly obtain safe parameters of Allowable Stress that the material is capable of supporting before presenting damage. The project manages to propose essential principles of the Materials Resistance area in an accessible, visual, and playful way, which are indispensable for safety notions in projects.

Keywords: Allowable Stress, Safety Factor, Rupture Stress, Polymeric.

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho foi apresentado na 4ª Feira de Ciências, Tecnologia e Inovação da UFSM - Campus Cachoeira do Sul e está centrado na visualização prática da Tensão Admissível e no conceito de engenharia de segurança.

O design seguro de componentes não se baseia na capacidade máxima de um material, mas sim na sua operação dentro de limites definidos. O objetivo principal deste trabalho é determinar experimentalmente a Tensão de Ruptura (σr) de diferentes fios (polímeros) através de um ensaio de tração destrutivo. A partir destes dados, demonstra-se a aplicação prática do conceito de Fator de Segurança (FS) e o cálculo da Tensão Admissível (σadm) ilustrando a diferença crucial entre a capacidade máxima de um material e seu uso seguro em uma aplicação real.

A Tensão Admissível é a tensão máxima de trabalho que o componente pode suportar em serviço. Ela é calculada pela Tensão de Ruptura dividida pelo Fator de Segurança: $\sigma adm = \sigma r \ / \ FS$. O Fator de Segurança é um número adimensional, sempre maior que 1, fundamental para compensar incertezas no trabalho, variações nas propriedades do material e a gravidade das consequências de uma falha. Um projeto é considerado seguro quando a tensão de trabalho ($\sigma trabalho$) é sempre menor ou igual à tensão admissível: $\sigma trabalho \leq \sigma adm$.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo baseia-se em um ensaio de tração destrutivo para demonstrar conceitos de resistência e segurança usando materiais poliméricos simples.

Materiais Sugeridos:

- **Corpos de Prova (Fios):** Linha de pesca (Nylon), Linha de costura (Poliéster), Fio dental e Barbante de algodão.
- **Instrumentos de Medição:** Paquímetro, Balança de cozinha digital.
- **Aparato de Ensaio:** Suporte Fixo, Recipiente de Carga (balde ou garrafa PET), e Água como Carga.

Procedimento Experimental (Cálculos Chave):

Cálculo da Área da seção transversal:

$$(A0)\text{: } A0 = \pi \, . \, r^2 = \pi \, . \, \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

Caracterização do Fio: Diâmetro (d), baseados em valores representativos na **Figura 1**.

Figura 1: Representação de diâmetros fixos para utilizar no experimento

Linha	Diâmetro Fixo Representativo
Linha de Pesca (Nylon)	0,30
Linha de Costura (Poliéster)	0,50
Fio Dental	0,70
Barbante de Algodão	2,0

Determinação da Força de Ruptura ($Prup$): Aplicação de carga (água) até a ruptura. Peso da massa no momento da ruptura ($Mrup$) é convertido em Força de Ruptura ($Prup$), utilizando a aceleração da gravidade (g=9.81$\frac{m}{s^2}$):

$$Prup(N) = Mrup\,(kg) \times 9.81 \frac{m}{s^2}$$

Cálculo da Tensão de Ruptura (σr): É a tensão máxima suportada. (a média dos ensaios será usada).

$$\sigma r = Prup \; / \; A0.$$

Cálculo da Tensão Admissível (σadm): É a tensão máxima de trabalho.

$$\sigma adm = \backslash\ \sigma r \ \text{ médio}$$

2.1. Implementação Computacional

A fim de conferir maior agilidade e precisão ao tratamento dos dados experimentais, as formulações matemáticas descritas anteriormente foram transpostas para um script em linguagem Python. O código automatiza o cálculo da área da seção transversal ($A0$), a conversão da carga em Newton ($Prup$) e a determinação das tensões de ruptura e admissível.

Figura 2: Script python.

```python
import math

# Entrada de dados: Diâmetro (mm), Força (N) e Fator de Segurança (FS)
d_mm = float(input("Diâmetro (mm): "))
f_newtons = float(input("Força de Ruptura (N): "))
fs = float(input("Fator de Segurança: "))

# Processamento: Conversão para metros e cálculo de área (m²)
d_metros = d_mm / 1000
area_m2 = (math.pi * (d_metros ** 2)) / 4

# Saída: Cálculo das tensões em Pascal (Pa)
tensao_rup_Pa = f_newtons / area_m2
tensao_adm_Pa = tensao_rup_Pa / fs
```

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para esta documentação, a discussão se concentrará na aplicação prática e conceitual dos resultados, utilizando valores hipotéticos, porém realistas, para ilustrar a relevância da Tensão Admissível no trabalho de engenharia.

FIGURA 3: Estrutura para apresentação dos dados de ensaio com valores aproximados.

Material	Diâmetro Médio (d) (mm)	Área ($A0$) (mm^2)	Força de Ruptura Média (Pr) (N)	Tensão de Ruptura Média (σr) (MPa)	Tensão Admissível (FS =2.0) (MPa)	Tensão Admissível (FS =4.0) (MPa)
Nylon (Monofilamento)	0.30	0.0707	17.7	250.0	125.0	62.5
Poliéster (Fio de Costura)	0.50	0.196	29.4	150.0	75.0	37.5
Fio Dental (PTFE)	0.70	0.385	78.5	204.0	102.0	51.0
Barbante (Algodão)	2.00	3.14	196.2	62.5	31.3	15.6

3.1. Análise Comparativa e Tensão Intrínseca

A análise de engenharia demonstra que o ponto-chave não é qual fio suportou mais Força (P, em Newtons), mas qual aguentou mais Tensão (σ, em Megapascals – MPa). A tensão é a resistência intrínseca do material por unidade de área, sendo o parâmetro correto para a comparação.

Observando os dados hipotéticos na **Figura 2**:

- O Barbante de Algodão suportou a maior Força (196.2 N). No entanto, por ter uma área de seção transversal muito maior (3.14 mm^2), sua Tensão de Ruptura é a menor de todas (62.5 MPa).
- O Fio de Nylon suportou a menor Força (17.7 N), mas, devido à sua área minúscula (0.0707 mm^2), possui a maior Tensão de Ruptura (250.0 MPa).

Este resultado demonstra a essência do trabalho: O Nylon, embora suporte uma força total menor, é o material intrinsecamente mais resistente. Isso o torna ideal para aplicações que exigem alta resistência com o mínimo de peso e volume (exemplo: cabos de elevação de pequeno diâmetro, componentes aeroespaciais). O Barbante de Algodão, apesar de suportar uma força alta, exige muito mais material (área) para tal, limitando seu uso a aplicações não críticas.

3.2. Aplicação do Fator de Segurança (FS) em Sistemas Reais

A aplicação do Fator de Segurança é o elemento que traduz a resistência máxima (σr) em uso seguro (σadm). Os cálculos para FS = 2.0 (Aplicação Comum) e FS = 4.0 (Aplicação Crítica) demonstram como o engenheiro dimensiona a segurança do trabalho:

» **Nylon de Alta Resistência:** Mesmo com um alto FS = 4.0, sua Tensão Admissível (62.5 MPa) é igual à Tensão de Ruptura do Algodão. Isso significa que um cabo de Nylon, sob a máxima segurança (FS = 4.0), pode trabalhar com a mesma Tensão que um cabo de Algodão suporta no seu limite absoluto.

» **Barbante de Algodão:** Para uma aplicação crítica (FS = 4.0), sua Tensão Admissível cai para apenas 15.6 MPa. Em um projeto real, a tensão de trabalho aplicada jamais poderia exceder este valor, dada a alta probabilidade de falha catastrófica.

O trabalho ilustra que o cálculo da Tensão Admissível é uma prática universal. Materiais com alta σr permitem que a Tensão Admissível seja maior, resultando em projetos mais leves ou mais eficientes, mantendo o nível de segurança exigido pelo Fator de Segurança, que é aplicado para mitigar incertezas, variações do material e o risco de falha.

Na **Figura 3** observa-se a aplicação do conceito de tensão admissível no solo, fundamental para determinar o limite antes da ruptura ou de deformações excessivas no solo.

Figura 4: Aplicação do conceito de tensão admissível no solo.



4. CONCLUSÕES

O trabalho, apresentado, demonstra com sucesso o conceito de Tensão Admissível e sua importância na engenharia de segurança, estabelecendo uma distinção crucial entre a capacidade máxima de um material (σr) e seu uso seguro (σadm).

A metodologia experimental, de fácil replicação, atingiu o objetivo de ilustrar o princípio fundamental da Resistência dos Materiais: a real resistência é uma propriedade intrínseca, analisada pela Tensão (MPa), e não apenas pela força total suportada. A aplicação do Fator de Segurança (FS) mostra a necessidade e o cálculo de uma margem de

segurança no trabalho para mitigar incertezas, assegurando que a tensão de trabalho seja sempre inferior à tensão admissível. O experimento fornece uma base lúdica e sensorial para a compreensão de cálculos essenciais que governam a segurança em todos os ramos da engenharia.

5. REFERÊNCIAS

1. HIBBELER, R. C. Resistência dos Materiais. 9. ed. Pearson Education do Brasil, 2018.

2. BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. Shigley's Mechanical Engineering Design. 10. ed. McGraw-Hill Education, 2017.

3. BEER, F. P.; JOHNSTON, E. R. Mecânica dos Materiais. 7. ed. McGraw-Hill Education, 2015.

2 AVALIAÇÃO DAS FAIXAS DE APLICAÇÃO DO DRONE AGRÍCOLA DJI T20P

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar a influência da velocidade de voo e do tamanho de gotas na largura e uniformidade da deposição em pulverizações com o drone agrícola DJI AGRAS T20P®, utilizando corante como traçador. Investigaram-se duas velocidades (4,20 e 7,00 m s^{-1}) e dois espectros de gotas (320,00 e 450,00 µm). A velocidade de 7,00 m s^{-1} apresentou melhor desempenho, com faixas de 7,00 e 8,00 m, menor variação na deposição e obtenção de concentrações próximas ao valor teórico. Já a menor velocidade resultou em maior variabilidade e acúmulo central de deposição, atribuído ao efeito *downwash* gerado pelos rotores. Conclui-se que o ajuste da velocidade e do tamanho de gotas é essencial para otimizar a uniformidade e eficiência da aplicação.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the influence of flight speed and droplet size on the width and uniformity of deposition in spraying with the DJI AGRAS T20P® agricultural drone, using dye as a tracer. Two speeds (4.20 and 7.00 m s^{-1}) and two droplet spectra (320,00 and 450,00 µm) were investigated. The speed of 7.00 m s^{-1} showed better performance,

Palavras-chave: Aplicação aérea, velocidade de voo, tecnologia de aplicação.

Isabela Scholten Decian[1]; Eduardo de Moraes Severo[2]; Érika de Moraes Severo[1]; Alice Ciandra Bitencourt Damacena[1]; Wanderléia dos Santos Jobim[1]; Alfran Tellechea Martini[1]

1 Coordenadoria acadêmica, Universidade Federal de Santa Maria - Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

2 Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola - PPGEA, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

with widths of 7.00 and 8.00 m, less variation in deposition, and concentrations close to the theoretical value. The lower speed resulted in greater variability and central accumulation of deposition, attributed to the downwash effect generated by the rotors. It is concluded that adjusting the speed and droplet size is essential to optimize the uniformity and efficiency of the application.

Keywords: Aerial application, flight speed, application technology.

1. INTRODUÇÃO

O uso de drones na aplicação de insumos agrícolas tem aumentado de forma expressiva devido à necessidade de serem realizadas aplicações rápidas, precisas e que mantenham a eficiência e a segurança no manejo fitossanitário. Esses equipamentos apresentam vantagens operacionais relevantes, como a possibilidade de atuação em áreas de difícil acesso, a realização de aplicações localizadas e a redução da exposição humana aos produtos fitossanitários, principalmente quando comparada às aplicações realizadas com pulverizadores costais. No entanto, a definição de recomendações técnicas específicas ainda requer estudos que caracterizem seu desempenho em diferentes condições operacionais. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência da velocidade de operação e do diâmetro de gotas na largura e na uniformidade da faixa de deposição em pulverizações realizadas pelo drone agrícola DJI AGRAS T20P®.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

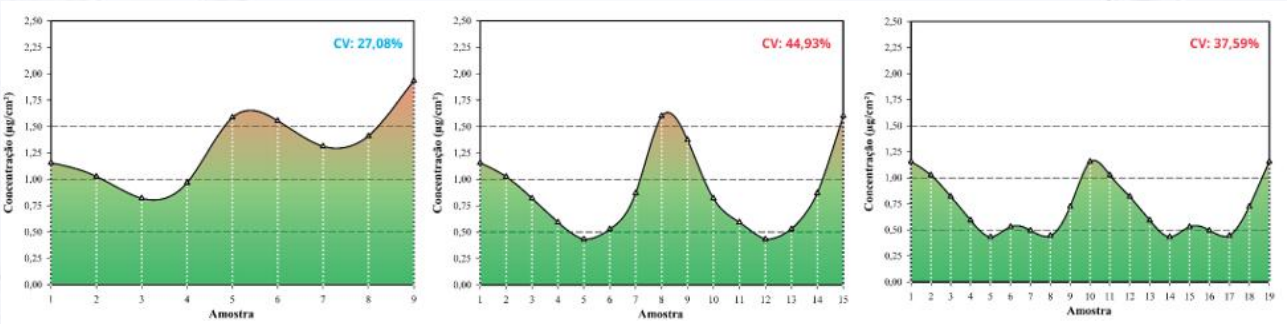
O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Campus Cachoeira do Sul, RS. Foi adotado um delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 2×2, composto por dois diâmetros de gotas (médias – 320,00 µm – e muito grossas – 450,00 µm) e duas velocidades de operação (4,20 e 7,00 m s^{-1}), totalizando quatro tratamentos, cada um com três repetições. A calda foi preparada com o corante Azul Brilhante FD&C Blue n. 1 na dose de 100,00 g ha^{-1}, aplicando-se volume de 10,00 L ha^{-1}. A área experimental foi sistematizada em três faixas de coleta, totalizando 63 pontos por tratamento. Utilizaram-se lâminas de vidro (10×20 cm) como coletores para quantificação da deposição do corante. As aplicações foram realizadas com um drone do modelo DJI AGRAS T20P®. As condições meteorológicas foram continuamente monitoradas durante as aplicações empregando dois termo-higro-anemômetros (Kestrel 5500AG® e Icel®), sendo que a temperatura oscilou entre 22,8 °C e 24,5 °C, velocidade do vento entre 0,89 e 1,39 m s^{-1} e umidade relativa do ar entre 79,80% e 71,00%. Após a aplicação, o corante

depositado nas lâminas foi removido mediante lavagem com 100,00 mL de água. Em laboratório, procedeu-se à leitura da solução por espectrofotometria, utilizando comprimento de onda de 630 nm para determinação da concentração depositada. Os dados obtidos foram analisados por meio da estatística descritiva, sendo que a uniformidade da aplicação foi avaliada por meio do coeficiente de variação (CV), adotando-se como referência valores ideais entre 20,00% e 25,00%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No tratamento 1, com velocidade de 4,20 m s^{-1} e gotas de 320,00 µm, todas as faixas excederam os limites indicados do CV, sendo que o mínimo valor obtido (27,08%) na faixa de 4,00 m. Além disso, foram obtidas concentrações médias de 1,31, 0,88 e 0,71 µg cm^{-2} para as respectivas faixas de 4,00, 7,00 e 9,00 m (Figura 1); destaca-se que o valor esperado era de 1,00 µg cm^{-2}.

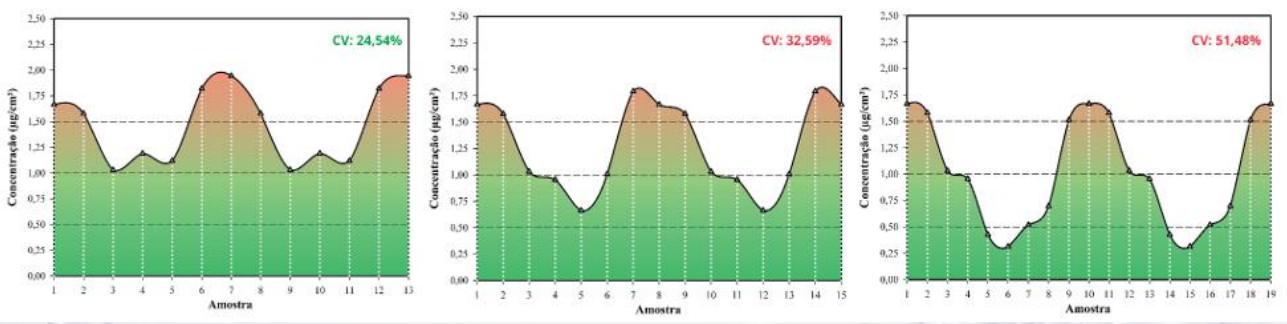
FIGURA 1: Faixas de deposição do tratamento 1; 4 (a), 7 (b) e 9 metros (c).



Fonte: autores.

Já no tratamento 2, composto por velocidade de 4,20 m s^{-1} e gotas de 450,00 µm, somente a faixa de 6,00 m apresentou CV dentro dos limites recomendados (24,54%), enquanto houve um excedente nas faixas de 7,00 e 9,00 m (Figura 2). Entretanto, as concentrações médias se mostraram elevadas, principalmente ao centro da faixa, onde atingiu-se o dobro da desejada, o que pode aumentar no aumento do risco de ocorrência de fitotoxicidade em aplicações com produtos fitossanitários.

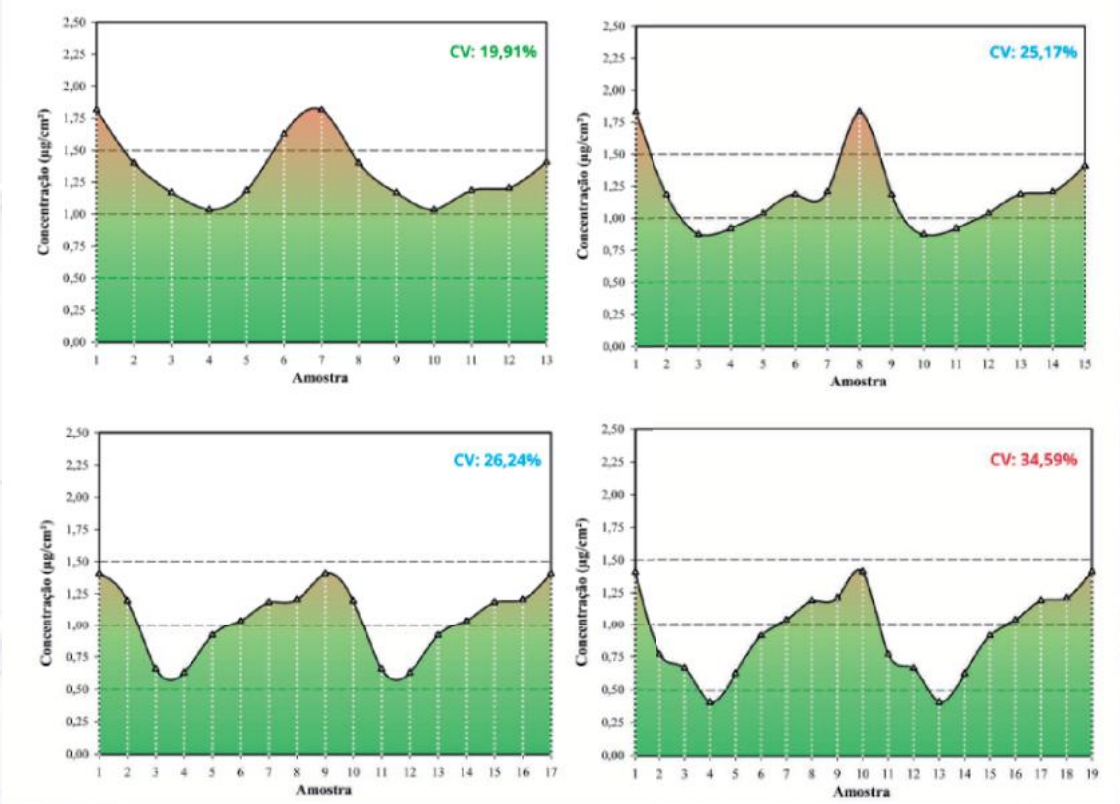
FIGURA 2: Faixas de deposição no tratamento 2; 6 (a), 7 (b) e 9 metros (c).



Fonte: autores

No tratamento 3, com velocidade de 7,00 m s^{-1} e gotas de 320,00 µm, a faixa de 6,00 m apresentou o melhor desempenho, com CV de 19,91% (Figura 3); já a faixa de 9,00 m teve alta variabilidade (CV de 34,59%). Sendo assim, podem ser consideradas promissoras as faixas de 7,00 e 8,00 m, por demonstrarem um CV pouco acima do indicado, no entanto, com melhor uniformidade de distribuição das gotas na faixa considerada.

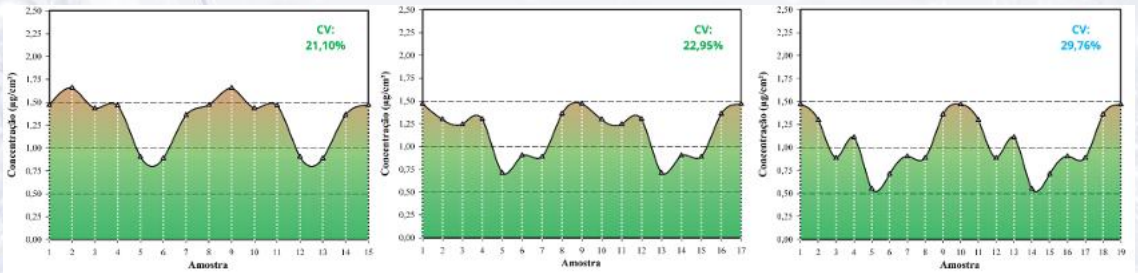
FIGURA 3: Faixas de deposição no tratamento 3; 6 (a), 7 (b), 8 (c) e 9 metros (d).



Fonte: autores.

Adicionalmente, no tratamento 4, onde se utilizou a velocidade de 7,00 m s^{-1} e gotas com 450,00 µm, obteve-se CV dentro do recomendado para as faixas de 7,00 e 8,00 m, de 21,10% e 22,95%, respectivamente (Figura 4). Ademais, observou-se também que as concentrações médias foram correspondentes à concentração esperada (1,32 e 1,17 µg cm^{-2}, respectivamente), o que indica distribuição uniforme satisfatória.

FIGURA 4: Faixas de deposição no tratamento 4; 7 (a), 8 (b) e 9 metros (c).



Fonte: autores.

Esses resultados estão de acordo com os estudos realizados anteriormente por Silva Neto *et al.* (2021), os quais revelam que em aplicações com drones, o uso de maiores velocidades de operação, bem como de maiores diâmetros das gotas, proporcionaram faixas de deposição mais largas e uniformes. A homogeneidade na distribuição das gotas na faixa de aplicação foi contribuída pelo aumento da velocidade, o que reduziu o acúmulo de depósito abaixo da linha de voo do drone. Os resultados corroboram os dados apresentados por Martini *et al.* (2023), os quais associam a desuniformidade de deposição das gotas à turbulência criada pela rotação das hélices para deslocamento do drone e sua sustentação em voo, reforçando a necessidade de mais investigações sobre o tema.

Além disso, a tomada de decisão quanto à classe de gotas e à altura de voo deve ser cuidadosamente estudada, tendo em vista que o aumento da altura de voo aliado à redução do tamanho das gotas pode elevar o potencial de deriva durante a aplicação (ANTUNIASSI *et al. 2021)*.

4. CONCLUSÕES

Dessa forma, verificou-se que o tamanho das gotas e a velocidade de operação influenciam diretamente a largura da faixa de trabalho e a uniformidade de deposição. As faixas de 9,00 metros apresentaram maior variabilidade, sobretudo quando utilizada a velocidade de 4,20 m s^{-1}. Além disso, identificaram-se indícios de superdosagem na região central das faixas, com CV acima de 50,00%, possivelmente relacionados ao efeito *downwash*, que causa maior concentração de deposição sob a linha de voo. Melhores desempenhos foram obtidos em faixas de 7,00 e 8,00 metros à velocidade de 7,00 m s^{-1}; velocidades mais altas estão associadas à fragmentação adicional das gotas e redução do DMV, aumentando a cobertura e penetração no dossel, entretanto é intensificado o risco de deriva, especialmente nas condições climáticas próximas dos limites para pulverização.

5. REFERÊNCIAS

1. SILVA NETO, J. O. *et al*. **Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) para aplicação de agrotóxico**. Research, Society and Development, v. 10, n. 12, p. e293101220573, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20573.

2. MARTINI, A. T. *et al.* **Depósitos e Variabilidade na Deposição de Calda em Pulverização Terrestre e com Drone em Soja**. XI Simpósio Internacional de Tecnologia de Aplicação, Goiânia, p. 31-34, 2023.

3. ANTUNIASSI, U. R. *et al*. **Entendendo a tecnologia de aplicação**. 2. ed. Botucatu: FEPAF, 2021.

3 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DAS ALTURAS DOS ESTUDANTES DE UMA ESCOLA NO SUL DO BRASIL

RESUMO

Esse trabalho aplicou conceitos básicos de Geoestatística de forma simples e acessível para alunos do ensino médio. O objetivo foi de avaliar a relação da dependência e variabilidade espacial das alturas dos alunos de uma turma do Ensino Fundamental de uma Escola X, localizada no município de Santa Maria-RS. Foi usado o semivariograma como uma ferramenta para a determinação do grau de dependência espacial das alturas. Pelos resultados obtidos (Co=0, C=14,1010, a=2,0672), podemos afirmar que a variável (altura) não apresenta padrão espacial, sendo distribuída de forma aleatória na sala. O estudo possibilitou compreender conceitos fundamentais de Geoestatística e aproximar os alunos do uso prático de ferramentas estatísticas em situações do cotidiano.

ABSTRACT

This study applied basic Geostatistics concepts in a simple and accessible way for high school students. The objective was to evaluate the relationship between spatial dependence and variability in the heights of students from an elementary school class at School X, located in the city of Santa Maria, RS. The semivariogram was used as a tool to

Palavras-chave: Modelo exponencial, semivariância, variabilidade espacial.

Matheus Barbosa Flores [1];
Murilo Maciel da Silva Silveira[2];
Ana Lúcia Souza Silva Mateus[3]

1 Bolsista PIBIC/Ensino Médio, Universidade Federal de Santa Maria - Campus Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

2 Graduando, Departamento de Estatística, Universidade Federal de Santa Maria - Campus Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

3 Professor Associado, Departamento de Estatística, Universidade Federal de Santa Maria - Campus Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

determine the degree of spatial dependence of the heights. Based on the results obtained (Co=0, C=14.1010, a=2.0672), it can be stated that the variable (height) does not present a spatial pattern, being randomly distributed in the classroom. The study made it possible to understand fundamental concepts of Geostatistics and to bring students closer to the practical use of statistical tools in everyday situations.

Keywords: Exponential model, semivariance, spatial variability.

1. INTRODUÇÃO

A Geoestatística é uma área da Estatística que estuda fenômenos que variam no espaço, buscando identificar padrões de dependência entre valores observados em diferentes locais. Por meio dessa abordagem, é possível compreender como uma variável se distribui espacialmente e prever valores em pontos não amostrados, utilizando ferramentas como o semivariograma e a interpolação espacial.

Segundo Isaaks e Srivastava (1989), a teoria fundamental da geoestatística baseia-se na ideia de que, em média, amostras próximas no tempo e no espaço tendem a ser mais semelhantes entre si do que aquelas que estão distantes.

Entre as técnicas estatísticas mais utilizadas para a análise de dados distribuídos continuamente no espaço destaca-se o variograma (ou semivariograma). Essa técnica tem como principal característica analisar a distribuição espacial das observações, determinando a distância a partir da qual os dados deixam de apresentar dependência espacial (CRESSIE, 1991).

Com base nesses conceitos, é possível aplicar os métodos Geoestatísticos a variáveis simples, como a altura dos alunos em uma sala de aula. Assim, pode-se investigar se existe uma dependência espacial entre as medidas, ou seja, se alunos localizados próximos tendem a ter alturas semelhantes.

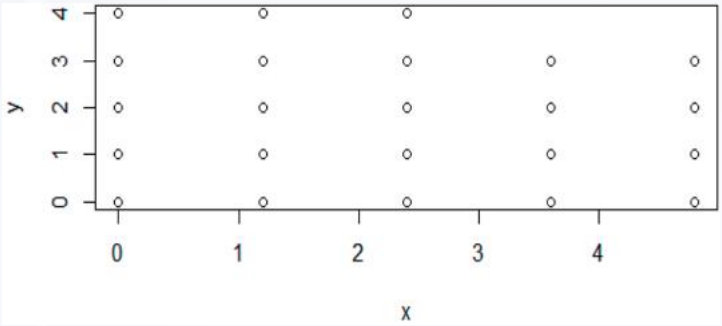
Dessa forma, o objetivo principal desse trabalho é avaliar a relação da dependência e variabilidade espacial das alturas dos alunos de uma classe, ou seja, verificar se alunos próximos tendem a ter alturas semelhantes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A variável escolhida para análise foi a altura dos alunos de uma turma do Ensino Fundamental da Escola X, localizada em Santa Maria-RS. Optou-se por estudar a altura porque é uma medida fácil de obter e pode apresentar diferenças interessantes conforme a posição dos alunos na sala de aula. A amostra foi composta por 23 estudantes.

Para as medições, foram utilizados fita métrica, folha quadriculada (para o croqui da sala), lápis, régua e borracha. As alturas dos alunos, medidas em centímetros, foram registradas juntamente com as posições das carteiras na sala de aula, conforme ilustrado na Figura 1. Foram atribuídas coordenadas (x, y) a cada carteira, em metros, iniciando no canto inferior esquerdo da sala e seguindo até a última carteira no canto superior direito.

Figura 1: Croqui da sala de aula



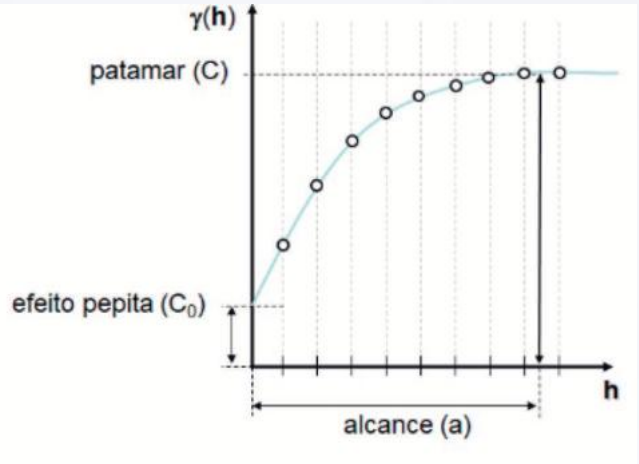
Primeiramente, realizou-se a análise exploratória das alturas utilizando as estatísticas: média aritmética, moda, mediana, valor máximo, valor mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação.

A análise da variabilidade espacial foi feita através de semivariogramas que podem mostrar o comportamento das semivariâncias γ(h) em função distância (h),

$$\gamma(h) = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N(h)}[Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

Em que: γ(h) a semivariância para uma distância h; N(h) o número de pares possíveis para a distância h; h a distância de separação das observações; e $Z(x_i)$ e $Z(x_i+h)$ as observações da variável aleatória regionalizada na posição x_i e x_i+h respectivamente. A distância h a partir da qual γ(h) se torna, aproximadamente, constante é chamada de alcance da dependência espacial (a) sendo que as medições realizadas a distâncias maiores que a, tem distribuição espacial aleatória e, portanto, são independentes entre si. O valor de γ(h) constante é chamado de patamar é dado por (C). As semivariâncias quando h = 0, é chamado de efeito pepita (C0).

Figura 2: Esquema padrão do *semivariograma*



Foi ajustado o modelo exponencial e todos os cálculos das semivariâncias empíricas e os respectivos ajustes de modelos foram feitas no software R (R Development Core Team, 2023).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A **Tabela 1** mostra as estatísticas descritivas das alturas dos 23 alunos.

Tabela 1 - Estatísticas descritivas das alturas dos alunos.

Medidas Descritivas	Valor Mínimo	Média	Mediana	Moda	Valor Máximo	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)
Alturas	129	137,4348	137	137	145	4,3779	3,1854

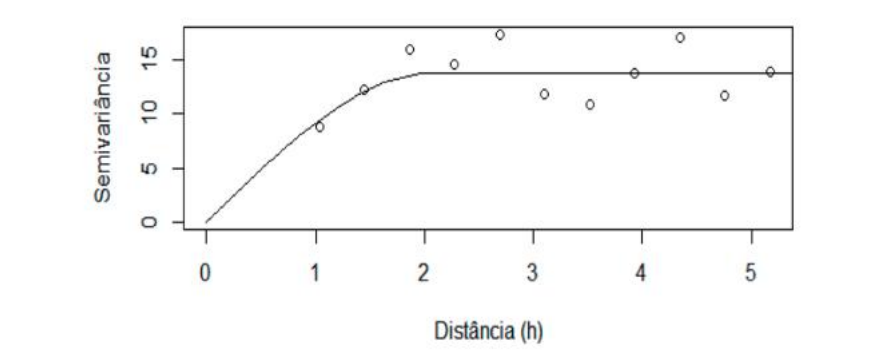
Pode-se observar pela **Tabela 1** que as medidas descritivas mostram que as alturas dos alunos variaram em torno de 129 cm a 145 cm. Os valores da média, moda e a mediana são bem próximos, essa semelhança sugere que a distribuição das alturas é bastante simétrica, ou seja, não há alunos muito mais altos ou muito mais baixos que puxem os resultados para um dos lados. O coeficiente de variação de 3,2679%, é considerado baixo, o que significa que os alunos da turma têm alturas semelhantes entre si.

Pela **Figura 3,** pode-se observar um efeito pepita nulo (Co=0), isso reforça a limitação dos dados, como a pequena variabilidade nas curtas distâncias e a falta de pares de pontos próximos. A contribuição estrutural (C=14,1010) representa a variação moderada, enquanto o alcance (a = 2,0672) indica que apenas alunos muito próximos entre si (até cerca de 2 metros) teriam alturas correlacionadas. A distribuição das alturas é essencialmente aleatória, ou seja, não há tendência de que alunos mais altos ou mais baixos se agrupem em determinadas áreas da sala. Modelo exponencial ajustado:

$$\gamma(h) = C_0 + C\left[1 - e^{-3(h/a)}\right], \quad 0 < h < d$$

Com poucos pontos amostrais (n=23 alunos), a análise Geoestatística pode não captar variações espaciais sutis. O *semivariograma* pode indicar aleatoriedade simplesmente pela falta de dados para modelar uma estrutura de dependência.

Figura 3: *Semivariogramas* omnidirecionais observados (pontos) e teóricos (linha contínua) das alturas dos alunos.



Nossos resultados corroboram com os achados de Carvalho, Silveira e Vieira (2002), que destacam que conjuntos de dados reduzidos ou distribuídos de forma limitada no espaço podem comprometer a estimativa do *semivariograma*, resultando na ausência aparente de estrutura espacial.

4. CONCLUSÕES

A partir da aplicação introdutória dos conceitos iniciais de Geoestatística realizada com os dados de altura dos alunos, foi possível observar que não existe dependência espacial significativa entre as medidas, ou seja, as alturas não apresentam padrão espacial, sendo distribuída de forma aleatória na sala.

O estudo permitiu compreender conceitos da Geoestatística, como o cálculo do *semivariogramas*. Dessa forma, o trabalho contribuiu para aproximar os alunos do uso prático de ferramentas estatísticas espaciais em um contexto simples e cotidiano.

5. REFERÊNCIAS

CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, 2002.

Cressie, N. Statistics for spatial data. Chichester: John Wiley, 1991.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. An Introduction to Applied Geostatistics. New York: Oxford University Press, 1989.

R: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. www.r-project.org. Version 2.3.1.2023.

4 FÍSICA EM UMA GUITARRA ELÉTRICA: FUNDAMENTOS DE ELETROMAGNETISMO APLICADOS AO SUSTAINER

RESUMO

A guitarra elétrica é um instrumento cuja sonoridade depende diretamente de princípios de eletromagnetismo. O funcionamento básico envolve cordas metálicas vibrando em um campo magnético estático, geralmente gerado por ímãs permanentes presentes nos captadores. A variação do fluxo magnético causada pela vibração das cordas induz correntes elétricas nas bobinas, que são então amplificadas e transformadas em som audível.

No caso do sustainer, esses mesmos princípios são utilizados de forma inversa: em vez de apenas captar a vibração, o dispositivo realimenta o sinal elétrico amplificado para uma bobina de excitação, gerando um campo magnético variável que mantém as cordas vibrando artificialmente. Esse processo exemplifica a aplicação prática das leis de Faraday e de Lenz, demonstrando a relação direta entre fluxo magnético, indução e corrente elétrica.

O presente trabalho busca apresentar os fundamentos físicos envolvidos tanto na captação do som da guitarra quanto no funcionamento do sustainer, destacando como o eletromagnetismo conecta teoria e prática. Dessa forma, a análise evidencia a relevância

Palavras-chave: Guitarra elétrica; Eletromagnetismo; Sustainer; Indução eletromagnética; Lei de Faraday.

Bruna Silva Vargas[3]; Glauber Rodrigues de Quadros[1]; Deyla da Costa Moura[2]; Lucas Anversa da Silva[1]; Arthur Batista Bromirsky[1]; Jocenir Boita[1]; Angélico Loreto Teixeira[1]; Luciana Ebani[3]

1 Coordenação Acadêmica - Campus Cachoeira do Sul, Universidade Federal de Santa Maria;
2 Escola Estadual de Educação Básica Borges de Medeiros;
3 Colégio Estadual Diva Costa Fachin

da física para a compreensão e inovação tecnológica em instrumentos musicais, ao mesmo tempo em que aproxima conceitos acadêmicos da experiência artística.

Este trabalho é parte integrante do projeto "Desenvolvimento de um sustainer para guitarra a partir de peças reutilizadas ou de baixo custo", desenvolvido na Universidade Federal de Santa Maria - Campus Cachoeira do Sul.

ABSTRACT

The electric guitar is an instrument whose sound production is directly related to fundamental principles of electromagnetism. Its basic operation involves metallic strings vibrating within a static magnetic field, usually generated by permanent magnets located in the pickups. The vibration of the strings changes the magnetic flux through the coils, inducing electric currents that are subsequently amplified and converted into audible sound. In the case of a sustainer, these same principles are applied in reverse: instead of only detecting string vibration, the amplified electrical signal is fed back into an excitation coil, producing a variable magnetic field that maintains the strings vibrating artificially. This process represents a practical application of Faraday's and Lenz's laws, demonstrating the direct relationship between magnetic flux, electromagnetic induction, and electric current. This work aims to present the physical principles involved both in electric guitar sound pickup and in sustainer operation, highlighting how electromagnetism connects theoretical concepts with practical technological applications. Therefore, the study emphasizes the relevance of physics for understanding and developing innovations in musical instruments, while also bringing academic concepts closer to artistic experience. This work is part of the project "Development of a Guitar Sustainer Using Reused or Low-Cost Components", carried out at the Federal University of Santa Maria, Cachoeira do Sul Campus.

Keywords: Electric guitar; Electromagnetism; Sustainer; Electromagnetic induction; Faraday's law.

1. JUSTIFICATIVA

- Conectar conceitos teóricos de eletromagnetismo com aplicações musicais.
- Favorecer práticas de ensino experimental com reutilização e sustentabilidade.
- Estimular criatividade e inovação em eletrônica aplicada a instrumentos musicais.
- Produzir um dispositivo de baixo custo e de fácil manutenção para uso em oficinas e projetos estudantis.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Desenvolver um protótipo de sustainer para guitarra elétrica usando peças reutilizadas ou materiais de baixo custo, validando seu funcionamento por meio de medições elétricas e testes sonoros.

2.2 Objetivos específicos

- Revisar os princípios físicos envolvidos em captadores e em alimentadores magnéticos (sustainer).
- Projetar a bobina de excitação e o circuito de realimentação usando componentes acessíveis.
- Montar e integrar o sustainer em uma guitarra elétrica de testes.
- Medir e analisar o sinal elétrico (tensão, impedância, resposta em frequência) e o comportamento vibratório das cordas.
- Documentar e disponibilizar um manual de montagem e operação.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O funcionamento da guitarra elétrica e do sustainer envolve conceitos fundamentais do eletromagnetismo, que podem ser explicados a partir das interações entre campos magnéticos, cargas elétricas e forças resultantes. Esses fenômenos são descritos pelas Leis de Faraday e Lenz e pela força de Lorentz, que definem como o movimento de partículas carregadas em um campo magnético pode gerar corrente elétrica, ou como uma corrente elétrica pode criar movimento.

Em termos simples, quando uma carga elétrica (como um elétron em movimento) passa por um campo magnético, ela sofre a ação de uma força de Lorentz, que é perpendicular tanto à direção do campo quanto à direção da corrente. Essa força é o que permite que motores elétricos girem e que alto-falantes vibrem. Na guitarra elétrica, essa mesma ideia é aplicada em escala muito menor e de modo reverso: o movimento das cordas metálicas dentro de um campo magnético cria pequenas variações de corrente elétrica em uma bobina.

Esses princípios, formulados por cientistas como Michael Faraday, Heinrich Lenz e James Clerk Maxwell, explicam a base da conversão entre energia mecânica e elétrica. Faraday demonstrou que uma variação no fluxo magnético pode induzir uma corrente elétrica - o que ocorre quando as cordas vibram sobre os ímãs dos captadores. Lenz complementou

esse princípio ao mostrar que a corrente induzida sempre se opõe à causa que a produziu, garantindo equilíbrio e conservação de energia. Já Maxwell unificou essas ideias em um conjunto de equações que descrevem todo o comportamento dos campos elétricos e magnéticos no espaço e no tempo.

Esses conceitos estão por trás de inúmeras tecnologias modernas, desde motores, transformadores e geradores até microfones, captadores e sustainers de guitarra, mostrando como os fundamentos da física podem se transformar em aplicações práticas e expressivas na música e na engenharia, especialmente a indução eletromagnética e a relação entre campo magnético, corrente elétrica e força mecânica. Esses princípios, formulados por cientistas como Michael Faraday e Heinrich Lenz, são a base de tecnologias que vão desde motores e geradores até equipamentos musicais sofisticados.

3.1 Indução eletromagnética e a Lei de Faraday

A Lei de Faraday da Indução Eletromagnética estabelece que uma variação no fluxo magnético (Φ) que atravessa uma bobina induz uma força eletromotriz (f.e.m.) proporcional à taxa de variação desse fluxo:

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

onde (N) é o número de espiras da bobina e o sinal negativo expressa a Lei de Lenz, que determina o sentido da corrente induzida de modo a se opor à variação do fluxo magnético que a originou.

No contexto da guitarra elétrica, as cordas metálicas vibram dentro de um campo magnético estático gerado por ímãs permanentes. Essa vibração altera o fluxo magnético que atravessa as bobinas dos captadores, gerando uma f.e.m. variável no tempo. O sinal elétrico resultante, correspondente à frequência de vibração das cordas e suas harmônicas, é então amplificado e convertido em som audível.

3.2 A Lei de Lenz e o princípio da oposição

A Lei de Lenz complementa a de Faraday ao definir o sentido da corrente induzida. Essa corrente sempre cria um campo magnético que se opõe à variação que a produziu, garantindo a conservação de energia e explicando fenômenos como o freio eletromagnético e o feedback em sistemas realimentados. Em captadores e sustainers, essa lei explica a estabilidade do sistema e os limites da amplificação antes da ocorrência de auto-oscilações indesejadas.

3.3 Captação do som: o papel dos captadores

Os captadores (pickups) de uma guitarra elétrica são dispositivos baseados em bobinas indutoras associadas a ímãs permanentes. Cada corda metálica, ao vibrar, modula o campo magnético nas proximidades da bobina, induzindo uma tensão proporcional à velocidade de variação do fluxo magnético. O sinal elétrico resultante contém informações de amplitude e frequência, que são posteriormente amplificadas e filtradas. Esse processo é essencialmente um transdutor eletromagnético, que transforma energia mecânica (vibração) em energia elétrica.

A resposta do captador depende de fatores como:

- Intensidade e geometria do campo magnético;
- Número de espiras e indutância da bobina;
- Material e espessura das cordas;
- Posição do captador em relação às cordas (próximo à ponte ou ao braço).

Esses parâmetros influenciam o timbre, a sensibilidade e o nível de saída do captador, permitindo variações expressivas na sonoridade.

3.4 O sustainer e a realimentação eletromagnética

O sustainer é um sistema que opera o processo de indução de forma inversa. Em vez de apenas captar o movimento das cordas, ele alimenta uma bobina de excitação com um sinal elétrico amplificado proveniente do captador. Esse sinal cria um campo magnético variável que, por sua vez, exerce uma força sobre as cordas, mantendo-as em vibração contínua. É uma forma de realimentação positiva controlada.

A interação entre o captador e o sustainer forma um circuito fechado de energia: o movimento da corda gera um sinal elétrico, que é amplificado e devolvido sob a forma de campo magnético oscilante, prolongando o som. Essa aplicação é uma demonstração direta das leis de Faraday e Lenz e exemplifica o conceito de acoplamento eletromecânico recíproco, no qual energia elétrica e mecânica são continuamente convertidas uma na outra.

3.5 Aspectos de engenharia elétrica

O desempenho de um sustainer depende de fatores como:

Fase do sinal: o sinal de excitação deve estar em fase com o movimento da corda para amplificar sua vibração, e não cancelá-la.

Ganho do amplificador: um ganho excessivo causa instabilidade e oscilações indesejadas; um ganho insuficiente resulta em sustain ineficiente.

Resposta em frequência: filtros podem ser implementados para privilegiar certas faixas harmônicas (fundamentais ou harmônicos superiores).

Impedância: a correspondência entre a impedância da bobina e do amplificador é fundamental para máxima transferência de energia.

3.6 Conexões com aplicações tecnológicas

Os princípios utilizados no sustainer estão presentes em inúmeros dispositivos tecnológicos: microfones dinâmicos, alto-falantes, transformadores e motores elétricos. Em todos esses casos, a variação do campo magnético gera corrente elétrica, ou o inverso - uma corrente elétrica gera movimento ou vibração. Assim, a guitarra elétrica é um exemplo artístico e prático da aplicação direta do eletromagnetismo clássico, transformando a teoria em experiência sensorial.

3.7 Relevância educacional e científica

Compreender o funcionamento do captador e do sustainer permite que estudantes e pesquisadores percebam o elo entre a ciência fundamental e a inovação tecnológica. A realização de um projeto prático baseado em reaproveitamento de materiais reforça conceitos de sustentabilidade, eletrônica experimental e interdisciplinaridade, mostrando como a Física contribui não apenas para o entendimento da natureza, mas também para a criação de instrumentos de expressão artística e tecnológica.

4. RESULTADOS PARCIAIS

Os resultados parciais indicam que a interação entre o captador e o sustainer apresentou bom funcionamento ao longo do desenvolvimento do projeto. Em conjunto, ambos formam um circuito fechado de energia, no qual o movimento da corda gera um sinal elétrico que é amplificado e devolvido na forma de um campo magnético oscilante, responsável por prolongar o som. Essa aplicação constitui uma demonstração prática das leis de Faraday e de Lenz, evidenciando a viabilidade do sistema na prática.

O sustainer foi construído a partir de modelagem em 3D, utilizando material PLA, é composto por 190 voltas de fio de cobre AWG 27 enroladas ao redor de seu corpo. Quando conectado ao sistema da guitarra, estabelece-se um processo de realimentação eletromagnética que tem se mostrado funcional. Até o momento, o sistema conseguiu sustentar de forma contínua a vibração da corda Mi grave, bem como sua harmônica. Ressalta-se que, devido ao uso de componentes de baixo custo e materiais reutilizáveis, essa ainda é a única corda que mantém a vibração de forma estável. Ainda assim, os resultados obtidos demonstram que é possível a construção de um sustainer funcional a partir do protótipo proposto neste projeto.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos do protótipo correspondem com os exemplos das leis de Faraday e Lenz, sendo na prática um sucesso na funcionalidade básica para um primeiro protótipo, mostrando como a Física contribui não apenas para o entendimento da natureza, mas também para a criação de instrumentos de expressão artística e tecnológica.

6. REFERÊNCIAS

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de Física - Volume 3: Eletromagnetismo. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

TIPLER, E.; MOSCA, G. Física para Cientistas e Engenheiros - Volume 2: Eletricidade e Magnetismo. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

FLETCHER, N. H.; ROSSING, T. D. The Physics of Musical Instruments. 2. ed. New York: Springer, 1998.

HEWITT, P. G. Física Conceitual. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ARAÚJO, M., (2015) Força de Lorentz, Rev. Ciência Elem., V3(1):013. Disponível em: http://doi.org/10.24927/rce2015.013.

DIY FEVER. DIY SustainerDriver Design and Theory. 2012. Disponível em: https://diyfever.com/misc/diy-sustainer/. Acesso em 25 de outubro de 2025.

5 REVISÃO SOBRE SUSTAINERS – USO, APLICAÇÕES E PERSPECTIVAS

RESUMO

Os sustainers são dispositivos aplicados à guitarra elétrica com a finalidade de prolongar a vibração das cordas, permitindo a manutenção do som por períodos superiores ao sustain natural do instrumento. Diferentemente de efeitos baseados apenas no processamento eletrônico do sinal, o sustainer atua diretamente sobre a vibração física da corda, por meio de princípios de indução eletromagnética. Este trabalho apresenta uma revisão sobre o funcionamento, o uso e as aplicações do sustainer, abordando seus fundamentos físicos, contextos musicais de utilização e perspectivas tecnológicas. A partir de referências clássicas da física dos instrumentos musicais e de materiais técnicos especializados, discute-se a relevância do sustainer como ferramenta expressiva na música contemporânea, tanto em ambientes de estúdio quanto em performances ao vivo. Conclui-se que o sustainer representa uma importante inovação tecnológica, integrando ciência, eletrônica e musicalidade, além de apresentar potencial para desenvolvimento de protótipos funcionais em contextos educacionais e experimentais.

Palavras-chave: Sustainer; guitarra elétrica; indução eletromagnética; vibração das cordas; efeitos sonoros.

Bruna Silva Vargas[3];
Glauber Rodrigues de Quadros[1];
Deyla da Costa Moura[2];
Lucas Anversa da Silva[1];
Arthur Batista Bromirsky[1];
Jocenir Boita[1];
Angélico Loreto Teixeira[1]

1 Coordenação Acadêmica – Campus Cachoeira do Sul, Universidade Federal de Santa Maria
2 Escola Estadual de Educação Básica Borges de Medeiros
3 Colégio Estadual Diva Costa Fachin

ABSTRACT

Sustainers are devices used in electric guitars to prolong string vibration, allowing the sound to be maintained for a significantly longer time than the instrument's natural sustain. Unlike effects based solely on electrical signal processing, such as delay or reverb, the sustainer acts directly on the physical vibration of the string, keeping its oscillation active through electromagnetic feedback. This work presents a review of the operating principles, uses, and musical applications of sustainers, emphasizing their physical and technological foundations. The sustainer operates by capturing the string vibration through a pickup and reintroducing energy in the form of an electromagnetic field, compensating for natural mechanical damping. Its use enables continuous notes, expressive solos, and the creation of sustained textures in different musical contexts. The applications of sustainers extend across several musical genres, including progressive rock, metal, and experimental music, as well as studio recording and live performances. Furthermore, technological perspectives indicate that advances in active pickups, electronic control circuits, and digital integration may lead to more compact, efficient, and accessible sustainer systems. Thus, the sustainer stands out as a device that integrates physics, electronics, and musical expression, expanding the expressive possibilities of the electric guitar.

Keywords: sustainer, electric guitar, electromagnetic pickup, string vibration, musical effects.

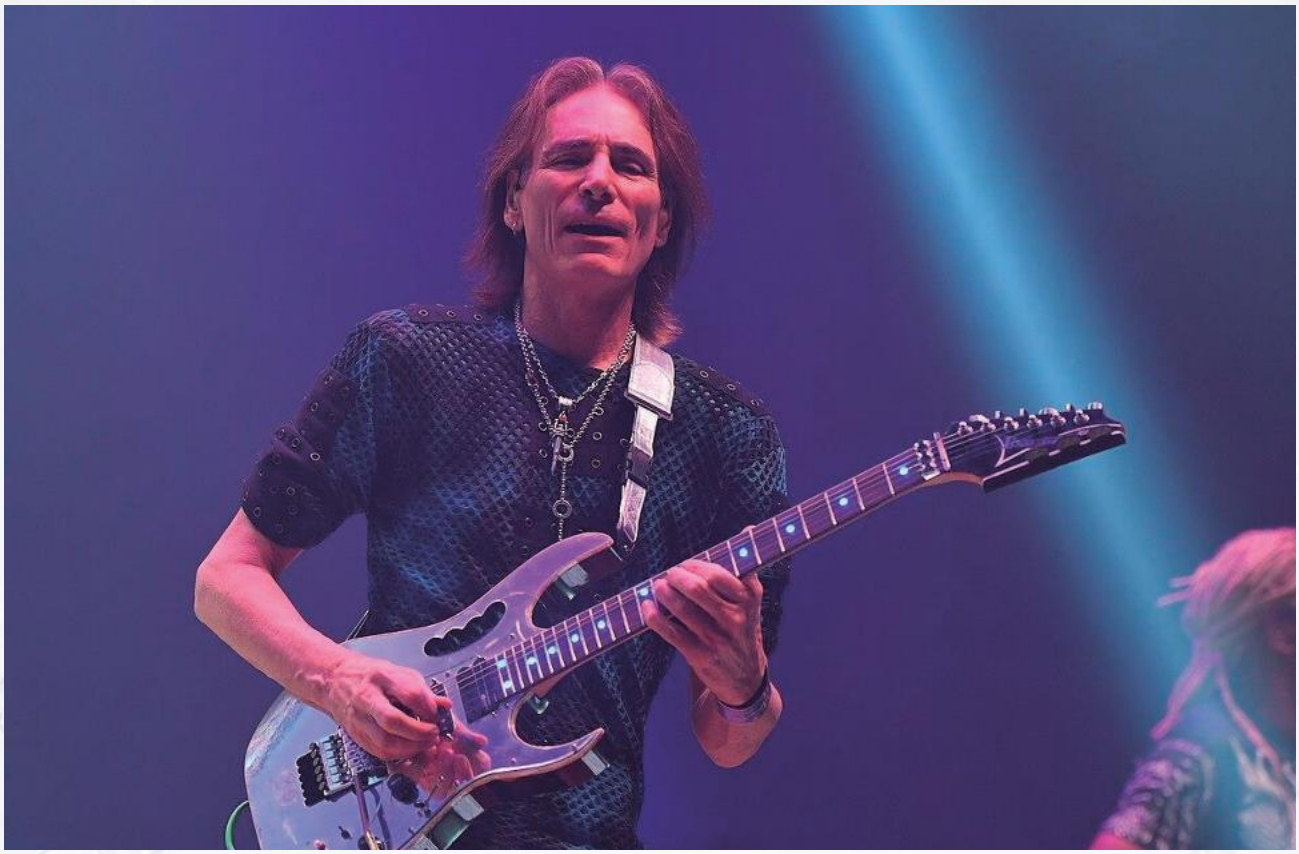
1. INTRODUÇÃO

Os sustainers são dispositivos utilizados em guitarras elétricas com o objetivo de prolongar a vibração das cordas, permitindo que o som seja mantido por um intervalo de tempo significativamente maior do que o sustain natural do instrumento. Diferentemente de efeitos baseados apenas no processamento do sinal elétrico, como delay ou reverb, o sustainer atua diretamente sobre a vibração física da corda, mantendo sua oscilação ativa (SUSTAINIAC, 2025).

Em termos técnicos, o funcionamento do sustainer baseia-se na captação do sinal das cordas por meio de um captador especial, que, associado a um circuito eletrônico, realimenta esse sinal em forma de energia eletromagnética. Essa energia é responsável por manter as cordas em vibração contínua, caracterizando o efeito de sustain infinito. Um dos exemplos mais conhecidos desse tipo de tecnologia é o Fernandes Sustainer, amplamente utilizado por guitarristas como Steve Vai, The Edge (U2) e Joe Satriani, que exploram o recurso para criar solos expressivos, atmosferas prolongadas e texturas sonoras etéreas.

Assim, o sustainer destaca-se como um dispositivo que alia tecnologia e musicalidade, ampliando significativamente as possibilidades expressivas da guitarra elétrica.

Figura 1: Guitarrista utilizando sistema sustainer em apresentação ao vivo.



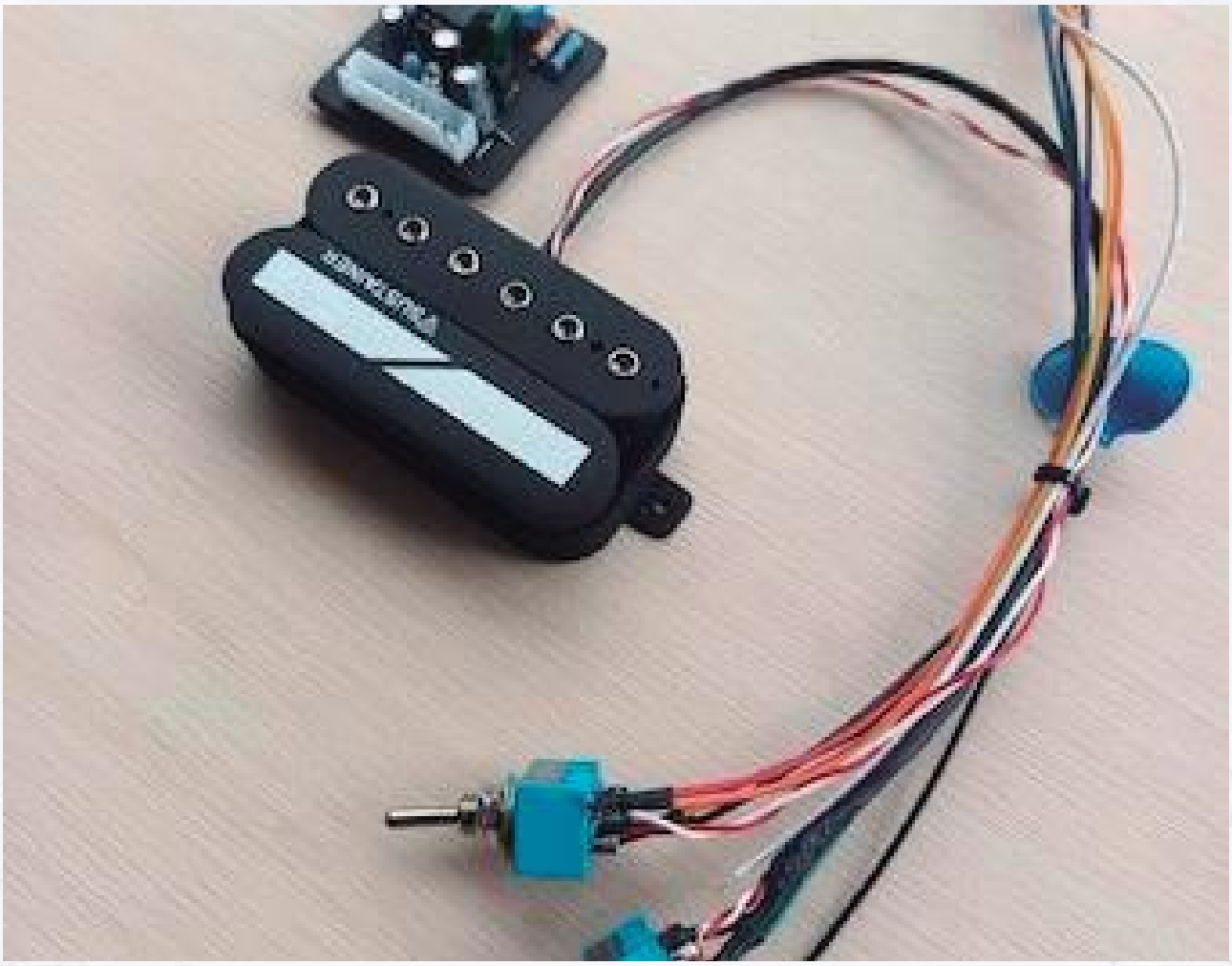
Fonte: Imagem da internet

2. DESENVOLVIMENTO

O uso do sustainer em guitarras elétricas está associado à possibilidade de prolongar notas individuais ou acordes, mantendo sua intensidade sonora mesmo após o ataque inicial. Esse efeito é obtido por meio de um sistema eletromagnético que transfere energia continuamente para a corda, compensando as perdas naturais decorrentes do amortecimento mecânico (FLETCHER; ROSSING, 1998).

Na prática musical, o sustainer é empregado principalmente em solos, passagens atmosféricas e seções que exigem maior controle expressivo do som. Ao permitir a sustentação contínua da nota, o dispositivo possibilita variações de timbre, dinâmica e articulação que não seriam alcançadas apenas com técnicas convencionais de execução.

Figura2: Exemplo de captador sustainer utilizado para realimentação magnética das cordas.



Fonte: Imagem da internet

2.1 Aplicações Musicais

As aplicações do sustainer abrangem diversos contextos musicais e estilos. Em gêneros como o rock progressivo e a música experimental, o dispositivo é utilizado para a criação de texturas sonoras prolongadas e camadas harmônicas complexas. No metal, contribui para a sustentação de solos e riffs com maior intensidade e definição (FERRETALLICA, 2013).

Em ambientes de estúdio, o sustainer permite a construção de paisagens sonoras densas sem a necessidade de múltiplas gravações ou volumes excessivos. Em apresentações ao vivo, o recurso amplia a expressividade do instrumento, possibilitando efeitos semelhantes aos produzidos por instrumentos de arco, como violinos e violoncelos (FLETCHER; ROSSING, 1998).

2.2 Perspectivas Tecnológicas

As perspectivas para o desenvolvimento dos sustainers estão diretamente relacionadas aos avanços na eletrônica aplicada e nos sistemas de captação. A utilização de

captadores ativos, circuitos de controle de frequência e integração com sistemas digitais tende a tornar esses dispositivos mais eficientes, compactos e acessíveis (SUSTAINIAC, 2025).

Além disso, novas abordagens de controle do sustain, como ajustes de intensidade e resposta dinâmica, podem ampliar ainda mais o potencial de aplicação do sustainer em diferentes estilos musicais, incluindo trilhas sonoras, música eletrônica e produções experimentais.

3. CONCLUSÃO

O sustainer representa uma importante inovação tecnológica aplicada à guitarra elétrica, fundamentada em princípios físicos consolidados da indução eletromagnética e da vibração de cordas metálicas. Sua capacidade de prolongar a vibração sonora amplia significativamente as possibilidades expressivas do instrumento, tanto em contextos de estúdio quanto em performances ao vivo.

A análise de seu funcionamento, usos e aplicações demonstra que o sustainer não apenas simula efeitos sonoros, mas atua diretamente sobre a fonte física do som, diferenciando-se de outros dispositivos de processamento de áudio. Além disso, a possibilidade de desenvolvimento de protótipos funcionais com materiais acessíveis indica o potencial de difusão dessa tecnologia em contextos educacionais e experimentais.

Assim, o sustainer consolida-se como um recurso que une ciência, tecnologia e musicalidade, contribuindo para a expansão das fronteiras sonoras da guitarra elétrica.

4. REFERÊNCIAS

FLETCHER, Neville H.; ROSSING, Thomas D. *The physics of musical instruments*. 2. ed. New York: Springer, 1998. Disponível em: https://csclub.uwaterloo.ca/~pbarfuss/The_Physics_of_Musical_Instruments.pdf. Acesso em: 10 dez. 2025.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de física: eletromagnetismo*. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. Disponível em: https://www.eletrica.ufpr.br/armando/index_arquivos/FIsica%203%20Eletromagnetis mo%20Halliday.pdf. Acesso em: 11 dez. 2025.

FERRETALLICA. *Sustainiac and piezos*. ProjectGuitar Forum, 2013. Disponível em: https://www.projectguitar.com/forums/topic/37799-sustainiac-and-piezos/. Acesso em: 12 dez. 2025.

SUSTAINIAC. *About Sustainiac*. Disponível em: https://www.sustainiac.com/aboutsus.htm. Acesso em: 12 dez. 2025.

6 DESEMPENHO TÉRMICO E CONFORTO AMBIENTAL: PLANEJAMENTO E IMPLANTAÇÃO DE UMA FACHADA VEGETAL

RESUMO

O presente capítulo aborda a etapa inicial de um experimento desenvolvido pelo projeto de pesquisa Monitoramento e Avaliação de Desempenho de Infraestruturas Verdes na Universidade Federal de Santa Maria, campus Cachoeira do Sul (RS) cujo propósito é analisar o desempenho térmico de uma fachada vegetal indireta. A pesquisa fundamenta-se na crescente demanda por Soluções Baseadas na Natureza (SBN), em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável[1], especialmente no contexto brasileiro de climas subtropicais. Nesta fase, foram detalhados o planejamento, a modelagem, a construção e a instalação da estrutura de suporte da fachada vegetal, bem como a seleção das espécies vegetais e a definição do sistema de monitoramento ambiental. Além disso, estão sendo realizados aperfeiçoamentos na instalação e no funcionamento do sistema, com o auxílio de plataformas como o Arduino, voltadas ao desenvolvimento e teste dos circuitos eletrônicos, bem como o uso de uma impressora 3D para a fabricação das envoltórias de proteção dos sensores, visando otimizar a precisão e a durabilidade dos dispositivos de medição.

Palavras-chave: Desempenho térmico, fachada vegetal, perenes, decíduas, sensores.

Keren Francini Baracy[1]; Brenda de Oliveira Dutra[1]; Luana dos Santos Gonçalves[2]; Lays Távore Silva[1]; Ana Livia Farias Dib[1]; Elaíse Gabriel[1]; Minéia Johann Scherer[1]

1 Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Maria - Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.
2 Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria - Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

ABSTRACT

This chapter addresses the initial stage of an experiment developed by the research project "Monitoring and Performance Evaluation of Green Infrastructures" at the Federal University of Santa Maria, Cachoeira do Sul campus (RS), whose purpose is to analyze the thermal performance of an indirect green facade. The research is based on the growing demand for Nature-Based Solutions (NBS), in line with the Sustainable Development Goals[1], especially in the Brazilian context of subtropical climates. In this phase, the planning, modeling, construction, and installation of the green facade support structure were detailed, as well as the selection of plant species and the definition of the environmental monitoring system. Furthermore, improvements are being made to the system's installation and operation, with the aid of platforms such as Arduino, aimed at developing and testing electronic circuits, as well as the use of a 3D printer to manufacture protective housings for the sensors, in order to optimize the accuracy and durability of the measuring devices.

Keywords: Thermal performance, green facade, evergreens, deciduous, sensors.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por soluções baseadas na natureza (SBN) nas cidades tem se intensificado diante das mudanças climáticas globais e da devastação de ambientes naturais causada pela força da urbanização. Nesse contexto, o desenvolvimento de estratégias arquitetônicas que minimizem os impactos ambientais e melhorem as condições de habitabilidade torna-se essencial. Essas iniciativas se alinham aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030[1] especialmente ao ODS 11, que busca promover assentamentos humanos mais inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis.

Entre as alternativas para aprimorar o desempenho ambiental das edificações, destacam-se as fachadas vegetais, soluções bioclimáticas que integram vegetações aplicadas diretamente ou indiretamente, sendo esta última quando há auxílio de uma estrutura de suporte instalada nas superfícies verticais. Essas tipologias tem se tornando soluções aptas para mitigar os efeitos de ilha de calor urbana por meio da evapotranspiração e do sombreamento[2], ampliar o sequestro de carbono e o desempenho energético das edificações[3] contribuindo para a economia, uma vez que 20–60% de toda a energia utilizada em edifícios é afetada pelo projeto e construção do envelope do edifício4.

Apesar do avanço das pesquisas, ainda existem lacunas quanto à avaliação do desempenho térmico das fachadas vegetais no contexto brasileiro5. Diante disso, o presente capítulo apresenta a primeira fase de um estudo experimental sobre o desempenho térmico de uma fachada

vegetal indireta. Essa etapa inicial envolve o planejamento, a modelagem, a construção e a implantação da estrutura de suporte, além da seleção das espécies vegetais e da definição do sistema de monitoramento ambiental, que subsidiarão as próximas etapas de coleta e análise de dados.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A fachada vegetal foi instalada nas faces de orientação norte dos Laboratórios 11 e 12 do prédio C4 da UFSM, campus Cachoeira do Sul, em área livre de sombreamentos e interferências externas. O local, situado entre os biomas Pampa e Mata Atlântica, apresenta clima Subtropical Úmido (Cfa), com temperatura média anual de 19,1 °C. A definição da estrutura, das espécies e das variáveis de monitoramento baseou-se em estudos sobre fachadas vegetais indiretas em diferentes zonas climáticas. As espécies foram selecionadas com base na possibilidade de comparações entre tipologias vegetais, buscando uma análise mais completa do comportamento de espécies perenes e decíduas frente às condições climáticas locais. Já a estrutura instalada utiliza treliças e telas metálicas modulares, adequadas à aplicação em fachadas de maior extensão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A definição da estrutura de suporte da fachada vegetal indireta partiu do desenvolvimento e teste de um protótipo inicial. A partir dessa etapa e de modelagens tridimensionais, foi elaborada a estrutura final, composta por oito módulos metálicos fixados às paredes por mãos francesas, posicionados acima das vigas existentes para evitar danos à edificação. Foram selecionadas duas espécies de trepadeiras *Thunbergia alata* (perene) e *Podranea ricasoliana* (decídua) devido à boa adaptação climática, ao baixo custo de manutenção e ao valor ornamental. O plantio foi realizado em março de 2025, utilizando cinco mudas de cada espécie, espaçadas em 1,17 m, irrigadas semanalmente com um total de 75 L de água e substrato orgânico. Por se tratar de um período de transição entre estações, foi necessário complementar o plantio com fertilizantes para favorecer o desenvolvimento das espécies.

Figura 1: Espécies selecionadas, Thunbergia alata e Podranea ricasoliana, fertilização, disposição das mudas, módulos

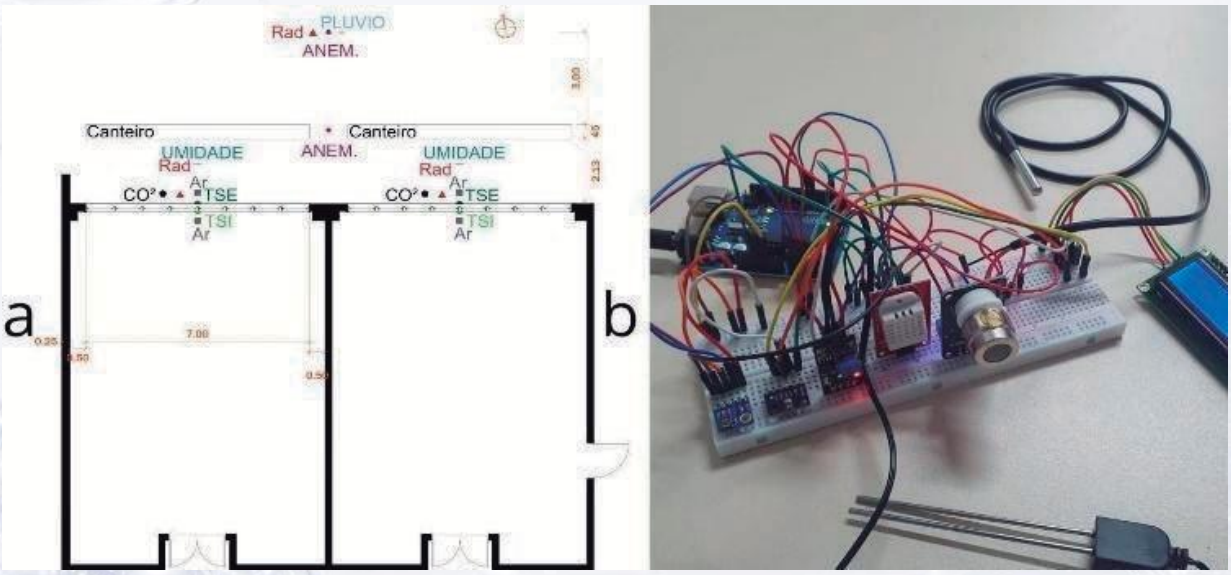


Fonte: Autores (2025).

Um sistema de monitoramento foi desenvolvido com o objetivo de acompanhar as condições térmicas e ambientais das fachadas vegetais, empregando microcontroladores Arduino para a coleta, processamento e armazenamento dos dados. O conjunto foi instalado em três salas idênticas, sendo duas diretamente influenciadas pelas fachadas e uma utilizada como referência para temperatura da superfície. Nas salas que recebem vegetação, o sistema realiza medições de temperatura do ar e da superfície interna e externa, radiação solar, umidade do solo, umidade do ar, concentração de CO_2 e pressão atmosférica. Com o intuito de caracterizar as condições ambientais do entorno das fachadas, o sistema realiza medições de velocidade do vento e pluviosidade em pontos afastados da estrutura principal. Além disso, entre as fachadas, a velocidade do vento é monitorada para fins comparativos.

Os sensores de radiação solar e de concentração de CO_2 foram instalados em caixas protetoras para assegurar sua integridade e precisão, enquanto os demais sensores receberam estruturas de suporte e fixação adequadas. As informações coletadas são registradas e exportadas em um cartão SD, no formato .CSV, possibilitando a análise detalhada das variáveis monitoradas e sua correlação com o desempenho térmico e ambiental das fachadas vegetais. O sistema opera de forma contínua e autônoma, durante a fase de testes, a frequência de dados é coletada a cada 10 s, após a instalação permanente dos sensores, essa frequência será alterada para 3-5 minutos, assegurando a confiabilidade, estabilidade e consistência dos dados obtidos,

Figura 2: a. Posicionamento e calibração dos sensores. **b.** TSI: temperatura superficial interna, TSE: temperatura superficial externa, Ar: Temperatura do ar, Rad: radiação solar, CO2: dióxido de carbono, ANEM.: anemômetro. UMIDADE: umidade do solo. **c.** Envoltória sensores. **d.** Suporte para sensores.





Fonte: Autores (2025).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos estudos, planejamento e modelagem foi possível a aplicação e construção da fachada vegetal indireta. Todos os elementos adotados foram selecionados, de modo a assegurar a qualidade das análises e o bom desempenho do projeto. As espécies *Thunbergia alata* e *Podranea ricasoliana* foram escolhidas como parte de uma estratégia de diversificação vegetal e atração de insetos polinizadores, considerando o potencial de adaptação que ambas apresentam ao clima local. O uso do software *Sketchup* 2021 para a modelagem 3D no desenvolvimento do protótipo foi fundamental para direcionar o processo de concepção, ajustes e definição da estrutura final.

À medida que o projeto evolui, torna-se necessária a realização de adaptações e o aperfeiçoamento de determinados elementos. Nesta etapa, destacam-se a inserção de fertilizantes para o desenvolvimento das espécies vegetais, o uso do software *Tinkercad* e de uma impressora 3D para a modelagem e impressão das envoltórias de proteção dos sensores compostas em Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) e a instalação de suportes para esses dispositivos. A próxima fase, voltada à coleta e análise de dados, buscará avaliar o desempenho térmico e ambiental do sistema, verificando sua contribuição para a sustentabilidade do edifício. O estudo reforça, assim, a importância da pesquisa experimental e do monitoramento tecnológico no aprimoramento de soluções arquitetônicas sustentáveis.

5. REFERÊNCIAS

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transformando nosso mundo: a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. Resolução da Assembleia Geral das Nações Unidas, 2015.

WONG N. H.; TAN A. Y. K.; SEKAR Y. C. K.; CHAN P. Y. T.; CHAN D.; CHIANG K.; WONG, N. G., Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls,Building and Environment,Volume 45, Issue 3,2010,Pages 663-672.

ZHANG Y.; YANG Y.; ZHANG L.;ZHAO C.;YAN J.; LIU M. ; ZHAO L.,**Seasonal variation in leaf area index and its impact on the shading effects of vertical green facades in subtropical areas**, Building and Environment,Volume 225, 2022.

PÉREZ G.; COMA J.; SOL S.; CABEZA L.F.,**Green facade for energy savings in buildings: The influence of leaf area index and facade orientation on the shadow effect**,Applied Energy,Volume 187,2017,Pages 424-437.

SCHERER, M. J. **Cortinas verdes na arquitetura: desempenho no controle solar e na eficiência energética das edificações**. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

7 SUSTAINER E INTEGRIDADE SONORA: ESTRATÉGIAS DE CAPTAÇÃO E PRESERVAÇÃO DO TIMBRE DO INSTRUMENTO

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a análise de um sistema sustainer aplicado à guitarra elétrica, com foco na preservação do timbre e da integridade sonora do instrumento. Foram realizadas pesquisas teóricas e testes em laboratório com um captador eletromagnético modificado, conectado a um mini amplificador XH- M181. O sistema apresentou melhor desempenho nas cordas mais grossas, com sustain perceptível e estável, enquanto as cordas mais finas demonstraram menor sensibilidade. Também foram testados sensores piezoelétricos para a captação das vibrações do corpo do instrumento, embora tenham apresentado funcionamento adequado, o baixo ganho e a dificuldade de alimentação do amplificador limitaram seu desempenho. Conclui-se que o uso de captadores eletromagnéticos, aliados a um circuito de amplificação bem ajustado, representa a estratégia mais eficiente para manter a estabilidade do sustain e preservar a sonoridade natural da guitarra.

Palavras-chave: Sustainer, guitarra elétrica, captadores eletromagnéticos, timbre, piezoelétrico, integridade sonora.

Bruna Silva Vargas[3];
Glauber Rodrigues de Quadros[1];
Deyla da Costa Moura[2];
Lucas Anversa da Silva[1];
Arthur Batista Bromirsky[1];
Jocenir Boita[1];
Angélico Loreto Teixeira[1]

1 Coordenação Acadêmica – Campus Cachoeira do Sul, Universidade Federal de Santa Maria
2 Escola Estadual de Educação Básica Borges de Medeiros
3 Colégio Estadual Diva Costa Fachin

ABSTRACT

This work presents the development and analysis of a sustainer system applied to the electric guitar, focusing on the preservation of tone and the instrument's sonic integrity. Theoretical research and laboratory tests were carried out using a modified electromagnetic pickup connected to an XH-M181 mini amplifier. The system showed better performance on the thicker strings, with perceptible and stable sustain, while the thinner strings demonstrated lower sensitivity. Piezoelectric sensors were also tested to capture the vibrations of the instrument's body. Although they functioned adequately, their low gain and the difficulty in powering the amplifier limited their performance. It is concluded that the use of electromagnetic pickups, combined with a well-adjusted amplification circuit, represents the most efficient strategy to maintain sustain stability and preserve the guitar's natural sound.



Keywords: Sustainer, electric guitar, electromagnetic pickups, tone, piezoelectric, sound integrity.

1. INTRODUÇÃO

Nesta seção, busca-se documentar e refletir sobre o desenvolvimento e análise de um sistema sustainer aplicado à guitarra elétrica, com foco na integridade sonora e nas estratégias de captação que preservam o timbre natural do instrumento.

A documentação de projetos dessa natureza desempenha um papel importante na disseminação de práticas e soluções que equilibram inovação tecnológica e preservação da expressividade musical. O sustainer (dispositivo responsável por prolongar infinitamente a vibração das cordas) representa um avanço significativo no campo da luteria e da engenharia de áudio, permitindo ao músico explorar novas possibilidades sonoras sem depender de volumes elevados ou feedback acústico natural.

O sustainer funciona a partir dos princípios de indução eletromagnética, conforme descrito por Halliday, Resnick e Walker (2016), especialmente envolvendo a Lei de Faraday e a força de Lorentz. Além disso, a relação entre a vibração das cordas e a resposta acústica do instrumento segue os fundamentos apresentados por Fletcher e Rossing (1998), que detalham a física aplicada a instrumentos musicais. Entretanto, o principal desafio desse tipo de projeto está em preservar a integridade sonora do instrumento, garantindo que a adição do sistema eletrônico não introduza ruídos, interferências ou perda de timbre.

Essa preocupação envolve tanto o desenho do circuito quanto às estratégias de captação do sinal e de controle da retroalimentação magnética realizada pelo transdutor de

cordas (componente responsável por converter o sinal elétrico amplificado em energia vibracional, que mantém as cordas em movimento contínuo).

O desempenho de um sistema sustainer depende diretamente do tipo de captação utilizado. Entre as abordagens mais comuns estão os sistemas piezoelétricos e eletromagnéticos, cada um com características próprias em relação à preservação do timbre e à eficiência na sustentação sonora.

Os sensores piezoelétricos funcionam convertendo vibrações mecânicas em sinais elétricos, sem depender de ímãs permanentes. Por esse motivo, são bastante utilizados em instrumentos acústicos e híbridos, e também podem ser aplicados experimentalmente em guitarras sólidas.

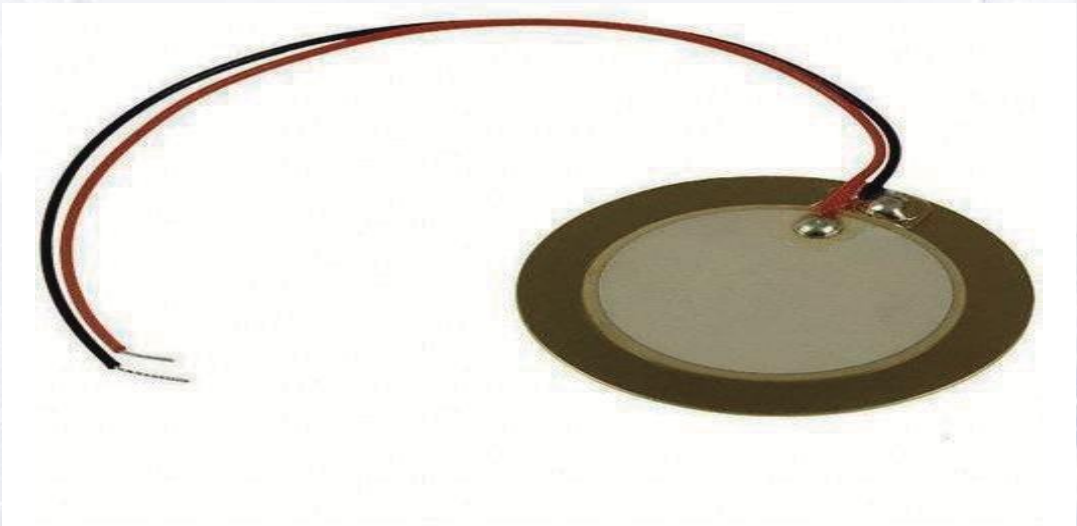
Entre suas vantagens, destacam-se a necessidade de pouca modificação estrutural no instrumento e a menor interferência no timbre original, já que captam vibrações diretamente do corpo ou da ponte. Além disso, reduzem a interferência magnética e o ruído de fundo, resultando em uma reprodução sonora mais fiel.

Entretanto, possuem desvantagens como menor ganho e a necessidade de amplificação adicional para atingir níveis adequados de sinal. Em guitarras de corpo sólido, a propagação das vibrações é limitada, o que dificulta uma resposta uniforme entre as cordas.

Há diferentes tipos de piezoelétricos aplicáveis a instrumentos musicais, como os de disco cerâmico (comuns em protótipos de baixo custo), os de filme flexível (mais leves e sensíveis) e os de barra (utilizados em pontes de violões elétricos).

Sensores piezoelétricos, muito usados em instrumentos acústicos, convertem diretamente vibração mecânica em tensão elétrica (ROHM, 2025). Já os captadores eletromagnéticos utilizam variação de fluxo magnético para detectar as cordas metálicas, como explicado pela Fender Guitars (2025).

Figura 1: Disco piezoelétrico cerâmico



Fonte: Imagem da internet

Figura 2: Piezoelétrico de filme flexível



Fonte: Imagem da internet

Figura 3: Piezoelétrico de barra



Fonte: Imagem da internet

Já a captação eletromagnética utiliza bobinas e ímãs permanentes para detectar as vibrações metálicas das cordas. Esse método é o mais tradicional em guitarras elétricas e também o mais adequado para sistemas sustainer. Entre suas vantagens, destacam-se o maior ganho, a estabilidade do sinal e a compatibilidade com circuitos de sustainer, possibilitando controlar a intensidade da vibração de forma precisa e prolongada.

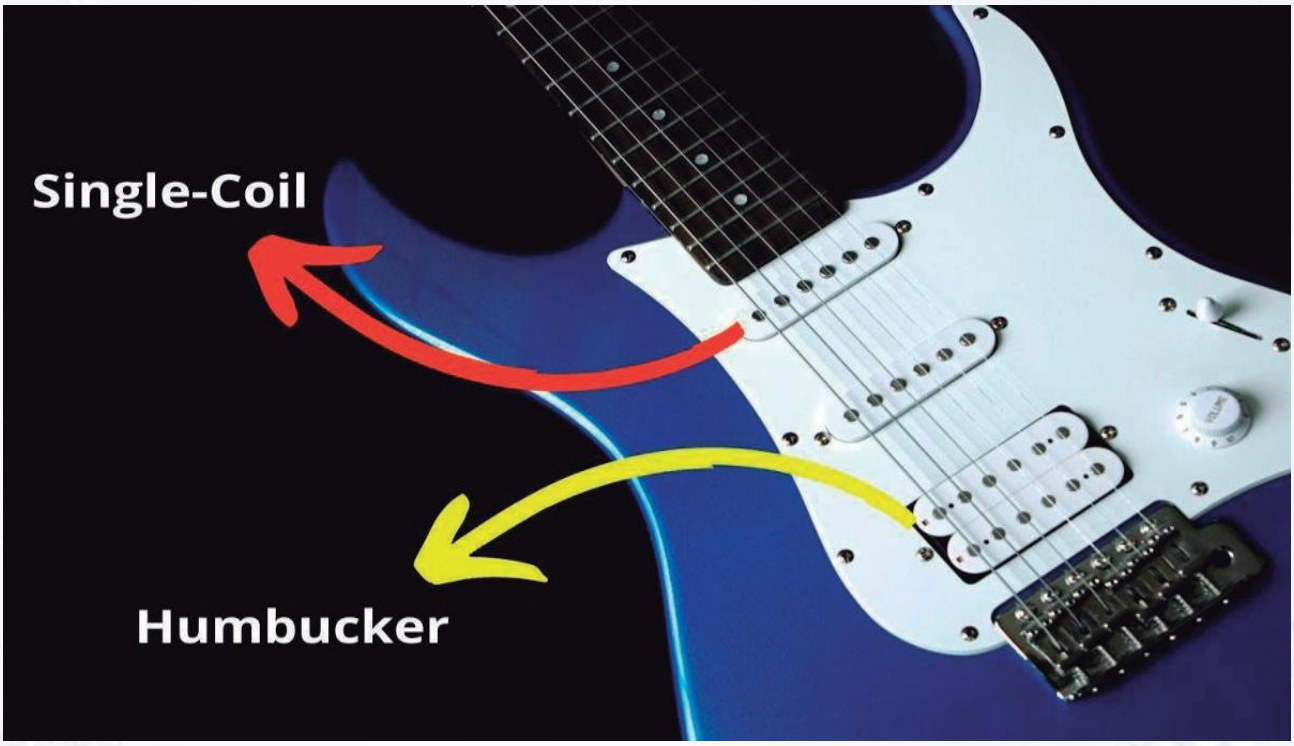
Dentro dessa categoria, destacam-se dois tipos principais de captadores: single-coil e humbucker.

O single-coil, formado por uma única bobina, produz um som mais brilhante, definido e com maior presença de agudos, sendo bastante sensível às nuances da execução. No entanto, é mais suscetível a ruídos eletromagnéticos externos.

Já o humbucker, que utiliza duas bobinas com polaridades opostas, cancela esses ruídos e gera um sinal mais limpo e encorpado, com destaque para frequências médias e graves.

Como limitações, esse tipo de captação pode introduzir pequenas alterações no timbre, decorrentes da interação do campo magnético com as cordas, além de exigir modificações no circuito elétrico do instrumento.

Figura 4: Captadores single-coil e humbucker



Fonte: Cultura da Música

Assim, este trabalho tem como objetivo discutir os princípios de funcionamento do sustainer, suas diferentes abordagens de captação e as estratégias empregadas para conservar a sonoridade natural do instrumento.

Para fundamentar os princípios físicos envolvidos no funcionamento do sustainer, foram consideradas referências clássicas nas áreas de eletromagnetismo, acústica musical e eletrônica aplicada. O comportamento das bobinas, o papel dos campos magnéticos e a interação com materiais ferromagnéticos podem ser compreendidos a partir da formulação apresentada por Halliday, Resnick e Walker (2016), que descrevem os fundamentos da Lei de Faraday, força de Lorentz e indução eletromagnética.

A relação entre vibração de cordas, propagação mecânica no corpo do instrumento e resposta acústica está alinhada com os conceitos discutidos por Fletcher e Rossing (1998), cuja obra aborda em profundidade os princípios físicos dos instrumentos musicais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Nessa etapa, foram conduzidas pesquisas teóricas e experimentais com o objetivo de compreender o funcionamento do sustainer em guitarras elétricas e avaliar estratégias que

garantam a preservação do timbre e a integridade sonora do instrumento. O funcionamento do sustainer é fundamentado nos princípios de indução eletromagnética discutidos por Halliday, Resnick e Walker (2016), enquanto a interação vibracional entre corda e transdutor segue o comportamento físico de instrumentos descrito por Fletcher e Rossing (1998).

Os materiais utilizados incluíram um captador eletromagnético de guitarra modificado, no qual foi enrolado foi de cobre esmaltado (fio de bobina), um mini amplificador de áudio modelo XH-M181, uma fonte de bancada regulável para alimentação do circuito, além de cabos, solda e conectores necessários para as ligações elétricas. Utilizou-se também uma guitarra elétrica experimental, que serviu como base para os testes de captação e sustentação sonora.

O protótipo do captador eletromagnético foi construído com aproximadamente 190 espiras de fio de cobre esmaltado AWG 27. A bobina apresentou resistência de 6 Ω, valor compatível com a impedância suportada pelo módulo amplificador XH-M181, garantindo o funcionamento adequado do circuito de realimentação.

A escolha do ímã é determinante para a intensidade do campo magnético e para o acoplamento com as cordas da guitarra. No protótipo, utilizou-se uma barra de neodímio, responsável por magnetizar os seis parafusos que funcionam como núcleos individuais das cordas, aumentando a eficiência da excitação magnética necessária ao sustainer.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre o funcionamento de sustainers, com foco nas diferentes abordagens de captação do sinal e suas implicações na preservação do timbre. Em seguida, foram realizados testes práticos, com o desenvolvimento de protótipos experimentais a fim de observar o comportamento do sistema em diferentes condições. O captador modificado foi conectado ao mini amplificador XH-M181, criando um circuito de realimentação de sinal. O conjunto foi alimentado por uma fonte de bancada, ajustando-se a tensão para garantir estabilidade no funcionamento.

Durante os experimentos, a captação eletromagnética com o captador modificado apresentou melhor desempenho nas cordas mais grossas, gerando um sustain perceptível e estável. Nas cordas mais finas, entretanto, observou-se menor sensibilidade. Essa diferença pode ser explicada pelas propriedades físicas que regem o funcionamento de captadores eletromagnéticos: cordas mais grossas possuem maior massa ferromagnética e maior permeabilidade magnética, interagindo de forma mais intensa com o campo gerado pelo driver. Isso facilita a transferência de energia e a manutenção da vibração.

Já as cordas finas, por apresentarem menor volume de material ferromagnético, produzem um fluxo magnético mais fraco e exigem um campo excitador maior para atingir o mesmo nível de sustain, o que justifica o desempenho reduzido registrado nos testes, esse comportamento está de acordo com os princípios de permeabilidade magnética e massa ferromagnética descritos

por Halliday, Resnick e Walker (2016), que explicam por que cordas com maior volume metálico interagem de maneira mais eficiente com campos magnéticos variáveis.

Também foram realizados testes com sensores piezoelétricos, cujo baixo ganho está ligado ao seu princípio de funcionamento. Diferentemente dos captadores eletromagnéticos, que dependem da variação do fluxo magnético gerado pelas cordas, os piezoelétricos convertem vibrações mecânicas do corpo do instrumento em sinal elétrico. Em guitarras de corpo sólido, a propagação das vibrações é limitada, reduzindo a amplitude mecânica na ponte e, portanto, a tensão elétrica produzida. Além disso, esses sensores possuem alta impedância interna, o que demanda pré amplificação específica. Essa combinação explica a dificuldade em alimentar o módulo XH-M181 e O baixo ganho observado nos sensores piezoelétricos também está associado à sua alta impedância interna e à limitada transferência mecânica em instrumentos de corpo sólido, discutidos na literatura de acústica musical, especialmente por Fletcher e Rossing (1998).

Os resultados obtidos a partir dos experimentos serviram de base para a análise das estratégias de captação e controle de sinal apresentadas nas seções seguintes. A partir desses testes, foi possível compreender melhor o comportamento do sustainer e sua influência sobre a sonoridade do instrumento, buscando alcançar o equilíbrio entre eficiência na sustentação das notas e preservação da sonoridade natural da guitarra.

4. CONCLUSÕES

A partir das pesquisas e dos testes feitos em laboratório, conseguimos entender melhor como o sustainer funciona e quais são os principais desafios para manter a sonoridade natural da guitarra. Percebemos que a qualidade do som e a fidelidade ao timbre original dependem muito da forma como o sinal é captado e de como o circuito de realimentação é ajustado.

Durante os experimentos, notamos que os captadores eletromagnéticos proporcionam um resultado mais equilibrado entre desempenho e preservação do timbre, mantendo a clareza e o brilho característicos do som da guitarra.

Por outro lado, o uso de sensores piezoelétricos apresentou potencial para futuras aplicações, embora ainda enfrente limitações práticas relacionadas ao ganho de sinal e à alimentação do amplificador.

Dessa forma, conclui-se que a utilização de captadores eletromagnéticos, aliados a um circuito de amplificação e controle de frequência bem ajustado, constitui a estratégia mais eficiente para preservar o timbre original e garantir a estabilidade do sustain. Os resultados obtidos servem de base para o aprimoramento de futuros protótipos, possibilitando o desenvolvimento de sustainers mais acessíveis, eficazes e que respeitem a identidade sonora do instrumento.

Os resultados obtidos confirmam princípios físicos bem estabelecidos da interação entre campos magnéticos e cordas metálicas (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016), bem como os limites mecânicos de propagação vibracional em guitarras sólidas (FLETCHER; ROSSING, 1998).

5. REFERÊNCIAS

ALEX, S. *My experience with Fernandes Sustainer guitars*. My Guitars [site pessoal]. Disponível em: https://soonalex.wixsite.com/my-guitars/post/my- experience-with-fernandes-sustainer-guitars. Acesso em: 6 out. 2025.

SUSTAINIAC. *About Sus* [página "About Sus"]. Sustainiac. Disponível em: https://www.sustainiac.com/aboutsus.htm. Acesso em: 6 out. 2025.

SUSTAINIAC. *Sustainiac Stealth PRO install* [manual técnico]. PCJ Custom Guitars, 2022. Disponível em: https://pcjcustomguitars.co.uk/wp- content/uploads/2022/12/Sustainiac-Stealth-Pro-Install.pdf. Acesso em: 7 out. 2025.

FERRETALLICA. *Sustainiac And Piezos*. ProjectGuitar [fórum]. Disponível em: https://www.project-guitar.com/forums/topic/37799-sustainiac-and-piezos/. Acesso em: 9 out. 2025.

SUSTAINIAC. *FAQ* [página de perguntas frequentes]. Sustainiac. Disponível em: https://sustainiac.com/faq.htm. Acesso em: 9 out. 2025.

ROHM CO., LTD. *Piezo | What is 'piezo'?* TechWeb. Disponível em: https://techweb.rohm.com/product/sensor/sensor-device/23771/. Acesso em: 28 out. 2025.

FENDER GUITARS. *Single-coil or Humbucker: How to Choose the Right Pickup*. Disponível em:

https://www.fender.com/articles/instruments/electric-guitar-pickup-types-how-to-choo se-your-pickup. Acesso em: 29 out. 2025.

8 DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE PARA ANÁLISE DE BARRAS PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

RESUMO

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um software voltado à análise estrutural de barras de seção variável utilizando o Método dos Elementos Finitos (MEF). O programa automatiza o cálculo de deslocamentos, tensões e deformações, considerando as condições de contorno e o peso próprio da estrutura, além de possuir uma interface gráfica intuitiva que exibe um campo para inserção de informações da barra (como propriedades do material e geometria) e outro para exibição dos resultados, os quais demonstram coerência com o comportamento físico esperado, tanto pelas tensões maiores em regiões mais críticas, quanto pelos maiores deslocamentos serem na extremidade livre. Com isto, o software se mostrou uma ferramenta eficaz para a aplicação prática e direta do MEF, combinando agilidade dos resultados com acessibilidade didática.

ABSTRACT

This paper presents the development of software for the structural analysis of varia-

Palavras-chave: Método dos Elementos Finitos; Análise Estrutural; Barra de Seção Variável; Python; Simulação Computacional.

Arthur Batista Bromirsky[1];
Marcus Paulo de Oliveira[1];
Eduardo Pasquetti[1]

1 Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul, Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, RS, Brasil

ble-cross-section beams using the Finite Element Method (FEM). The program automates the calculation of displacements, stresses, and deformations, considering the boundary conditions and the self-weight of the structure. It also features an intuitive graphical interface that displays a field for entering beam information (such as material properties and geometry) and another for displaying the results, which demonstrate consistency with the expected physical behavior, both in terms of higher stresses in more critical regions and the greater displacements at the free end. Thus, the software proved to be an effective tool for the practical and direct application of the FEM, combining speed of results with didactic accessibility.



Keywords: Finite Element Method; Structural Analysis; Variable-Section Beam; Python; Computer Simulation.

1. INTRODUÇÃO

O avanço das técnicas computacionais tem transformado profundamente a forma como engenheiros analisam e projetam estruturas mecânicas, permitindo resolver problemas que antes eram inviáveis por métodos analíticos convencionais [1, 2]. Entre essas ferramentas, destaca-se o Método dos Elementos Finitos (MEF), uma abordagem numérica usada para modelar e resolver sistemas contínuos de engenharia, com ampla aplicação em análises estruturais, térmicas e de fluidos [3, 4]. Para a aplicação desse método, existem softwares comerciais amplamente usados, no entanto, a parte matemática como a aplicação de equações, por exemplo, é de difícil acesso, desta forma acaba por se tornar não didática a sua utilização por parte de professores e afins.

Neste trabalho, apresenta-se o desenvolvimento e a aplicação de um software em Python com a mesma lógica que um acadêmico utilizaria analiticamente para a análise de uma barra vertical com seção transversal circular variável, submetida ao seu próprio peso e ainda com a possibilidade da aplicação de uma ou mais cargas concentradas em posições arbitrárias. Neste sentido, o programa foi desenvolvido com o objetivo de automatizar o processo de cálculo do MEF e de proporcionar uma ferramenta didática acessível para o ensino de análise estrutural.

A modelagem geométrica da barra é realizada por meio da interpolação polinomial de Lagrange, permitindo representar com precisão a variação do diâmetro ao longo do comprimento. A partir dessa formulação, o software determina as áreas transversais, as cargas distribuídas, as forças equivalentes nodais, a matriz de rigidez global e, por fim, os deslocamentos e tensões internas. Dessa forma, o projeto busca demonstrar, passo a passo, como o MEF pode ser implementado computacionalmente para obter resultados precisos e visualmente interpretáveis em problemas estruturais unidimensionais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O software foi desenvolvido baseado na aplicação do MEF na análise de uma barra de seção transversal circular variável submetida à ação de peso próprio, sendo que a barra possui uma extremidade engastada e outra livre. Supõe-se que a barra estará suspensa na vertical, sendo a extremidade engastada a parte superior da peça. A metodologia consiste em representar a variação geométrica da barra através de interpolação polinomial de Lagrange, para formar a geometria desconhecida por meio dos pontos conhecidos e fornecidos pelo usuário, que permite então, aproximar o diâmetro em qualquer posição ao longo do comprimento da barra.

Para definir o comportamento do diâmetro ao longo do eixo da barra, consideram-se valores de onde o diâmetro é conhecido em suas respectivas posições . O polinômio de Lagrange que aproxima o diâmetro dado por:

$$D(x) = \sum_{i=1}^{n} D_i \, L_i(x)$$

Equação 1

Os são os polinômios de base de Lagrange, definidos por [1, 2]:

$$L_i(x) = \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n} \frac{x - x_j}{x_i - x_j}$$

Equação 2

O processo de discretização adota o conceito de elementos finitos, em que a barra é dividida em um número arbitrário “n” de elementos, resultando em “n+1” nós na malha de elementos finitos.

A partir da função , determina-se a área da seção transversal ao longo do comprimento da barra:

$$A(x) = \frac{\pi[D(x)]^2}{4}$$

Equação 3

Com a área variável conhecida, calcula-se o peso próprio distribuído da barra :

$$q(x) = \rho g A(x)$$

Equação 4

Sendo a massa específica e a aceleração gravitacional.

O valor de é utilizado pelo software para determinar o vetor de forças equivalentes nodais em cada elemento finito [3]:

$$F_{eq}(i) = \frac{L}{6}\begin{Bmatrix} 2q_1 + q_2 \\ q_1 + 2q_2 \end{Bmatrix}$$

Equação 5

Em que e são os valores de carga nos nós inicial e final do elemento e é o comprimento do elemento.

A matriz de rigidez para um elemento de barra sob deformação axial é dada por:

$$[K_e] = \frac{EA}{L}\begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

Equação 6

Sendo E o módulo de elasticidade, L o comprimento do elemento, e A a área do elemento, que é considerada constante e calculada com o diâmetro médio. O diâmetro médio de cada elemento é obtido dividindo por dois a soma do diâmetro da posição inicial e final do elemento.

A montagem da matriz de rigidez global, $[K_g]$, e do vetor de forças global, $\{F_g\}$, segue o processo padrão do MEF [4], resultando num sistema linear de equações algébricas:

$$[K_g]\{d\} = \{F_g\}$$

Equação 7

Cuja a solução é o vetor de deslocamentos nodais, $\{d\}$. Esse sistema só tem solução depois da aplicação das condições de contorno do problema, pois reduzem a dimensão do sistema. Nesta análise a condição de contorno é $d_1 = 0$ que é referente ao nó situado no apoio. E então, o software resolve este sistema utilizando as bibliotecas internas do Python.

Com os deslocamentos determinados, as deformações e tensões axiais em cada elemento, são obtidas por [4]:

$$\{\varepsilon\} = [B]\{d\} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{L} & \frac{1}{L} \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} d_i \\ d_{i+1} \end{Bmatrix}$$

Equação 8

$$\{\sigma\} = [C]\{\varepsilon\} = E\frac{d_{i+1} - d_i}{L}$$

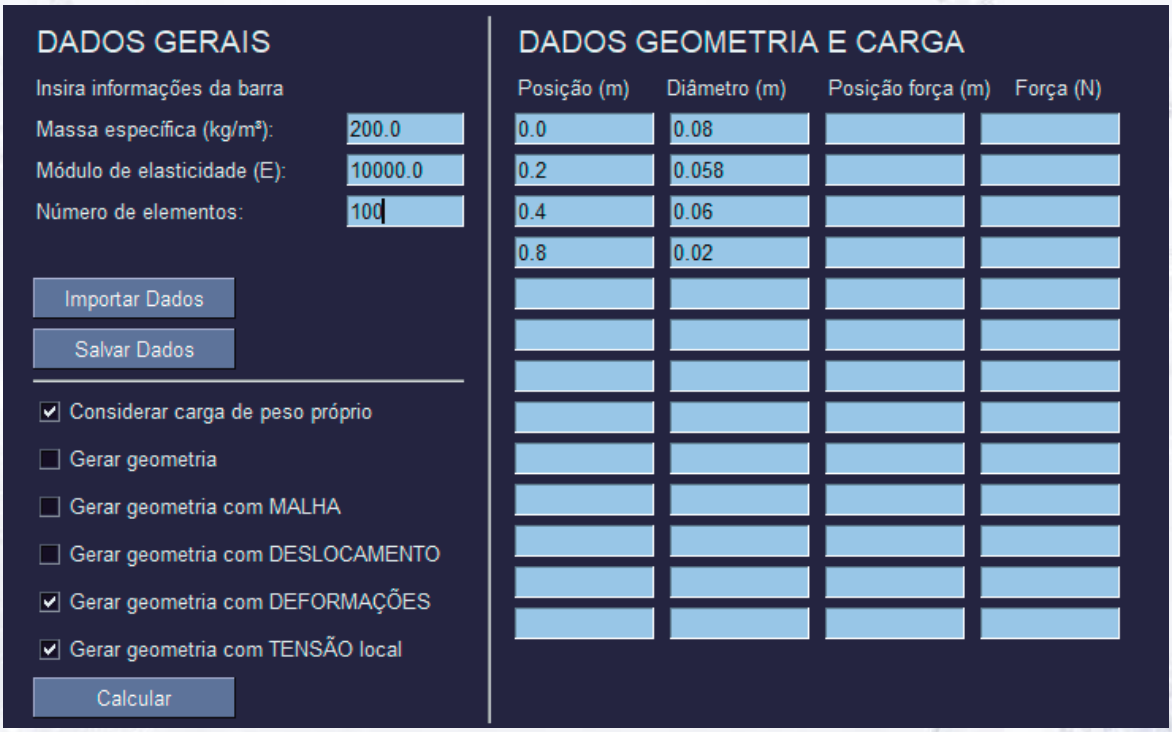
Equação 9

Esses resultados são apresentados graficamente, permitindo visualizar os campos de deslocamentos e tensões ao longo da barra.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a implementação do modelo numérico, foram realizados testes no software desenvolvido a fim de validar sua precisão e funcionalidade. O programa solicita que o usuário insira as propriedades do material e as dimensões geométricas da barra. A Figura 1 apresenta os campos de entrada de dados gerais assim como os dados geométricos adotados pelo usuário. As colunas destinadas às cargas concentradas estão vazias, pois para esta análise não foram utilizadas.

Figura 1: Dados de entrada do usuário no software.



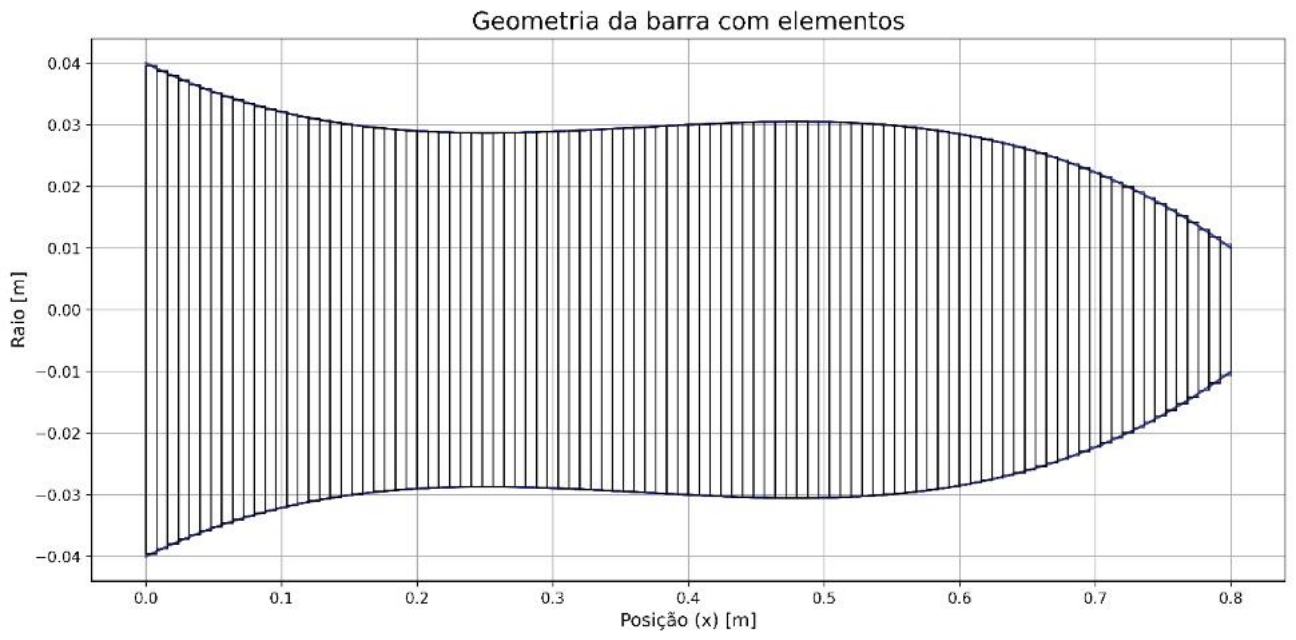
Fonte: Autor.

Com base nas respectivas posições dos diâmetros apresentados na Figura 1, o software utiliza a Equação 2 para determinar a função interpoladora para o diâmetro:

Equação 9

A Figura 2 foi gerada pelo software e nela apresenta-se a geometria formada pela Equação 9 e a discretização por elementos finitos de acordo com a quantidade de elementos fornecida pelo usuário. Pode-se visualizar que a barra possui 0.8 m de comprimento. O engaste localiza-se na extremidade esquerda.

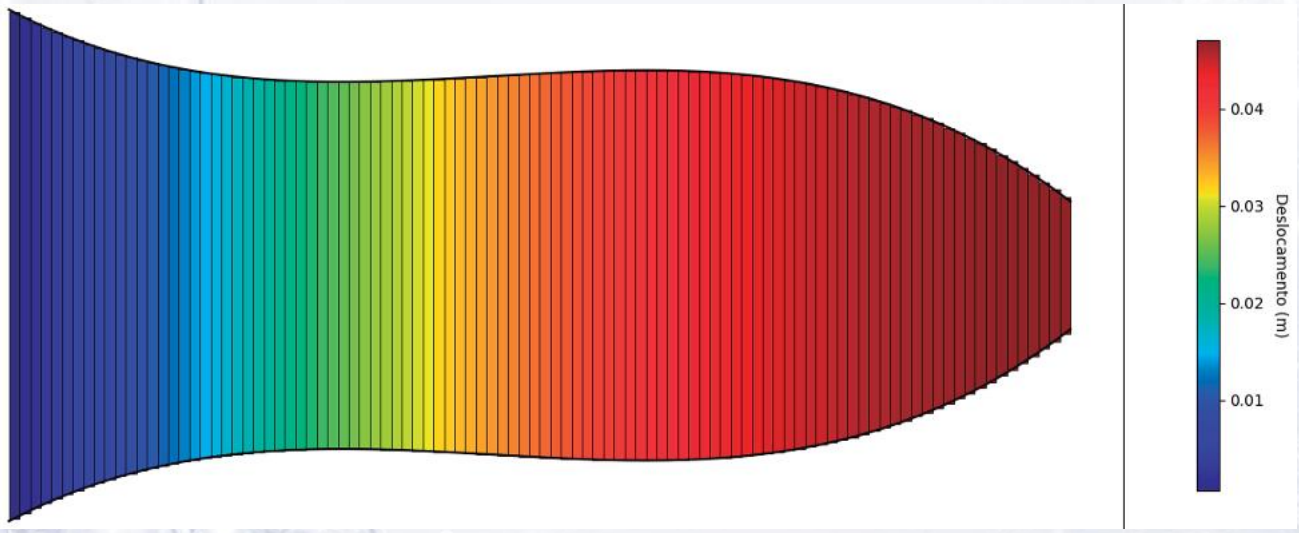
Figura 2: Geometria da barra e geometria discretizada com 100 elementos finitos.



Fonte: Autor.

A Figura 3 apresenta o campo de deslocamentos obtido numericamente ao longo da barra. As cores representam a magnitude do deslocamento axial.

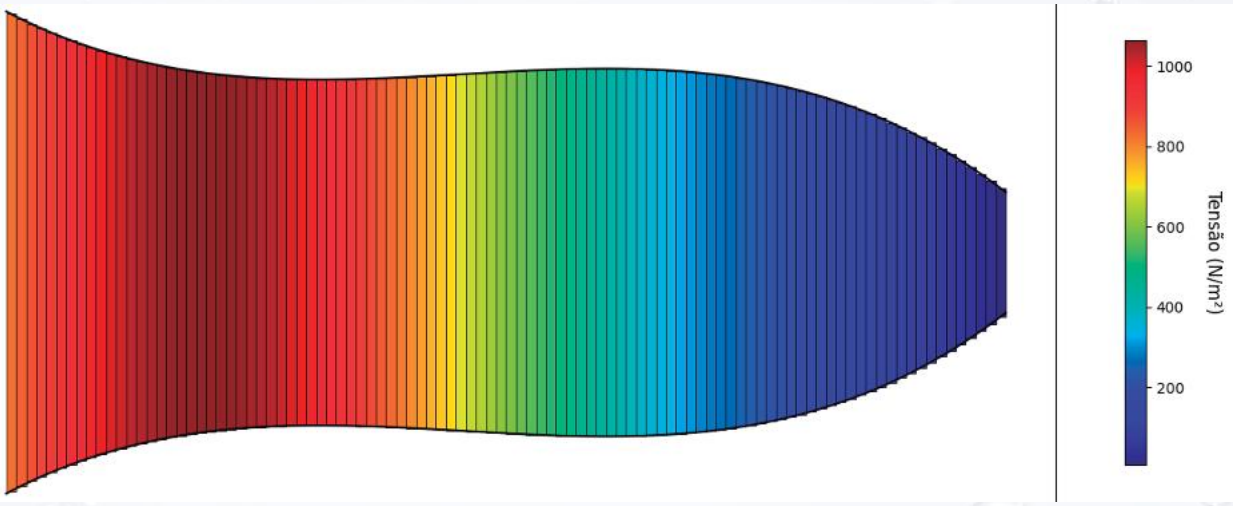
Figura 3: Barra com os resultados de deslocamento longitudinal.



Fonte: Autor.

O maior deslocamento calculado foi de aproximadamente 0,047 m, localizado na extremidade direita. O menor deslocamento foi de 0,00066 m, próximo ao engaste. O comportamento obtido é coerente com o modelo físico: deslocamentos crescentes no sentido do carregamento, partindo de valor nulo no apoio fixo. A Figura 4 mostra o campo de tensões axiais ao longo da barra.

Figura 4: Barra com os resultados das tensões aplicadas nos elementos.



Fonte: Autor.

O programa indicou uma tensão máxima de 1063,7 N/m^2 no elemento 20 e uma tensão mínima de 8,16 N/m^2 no elemento 100.

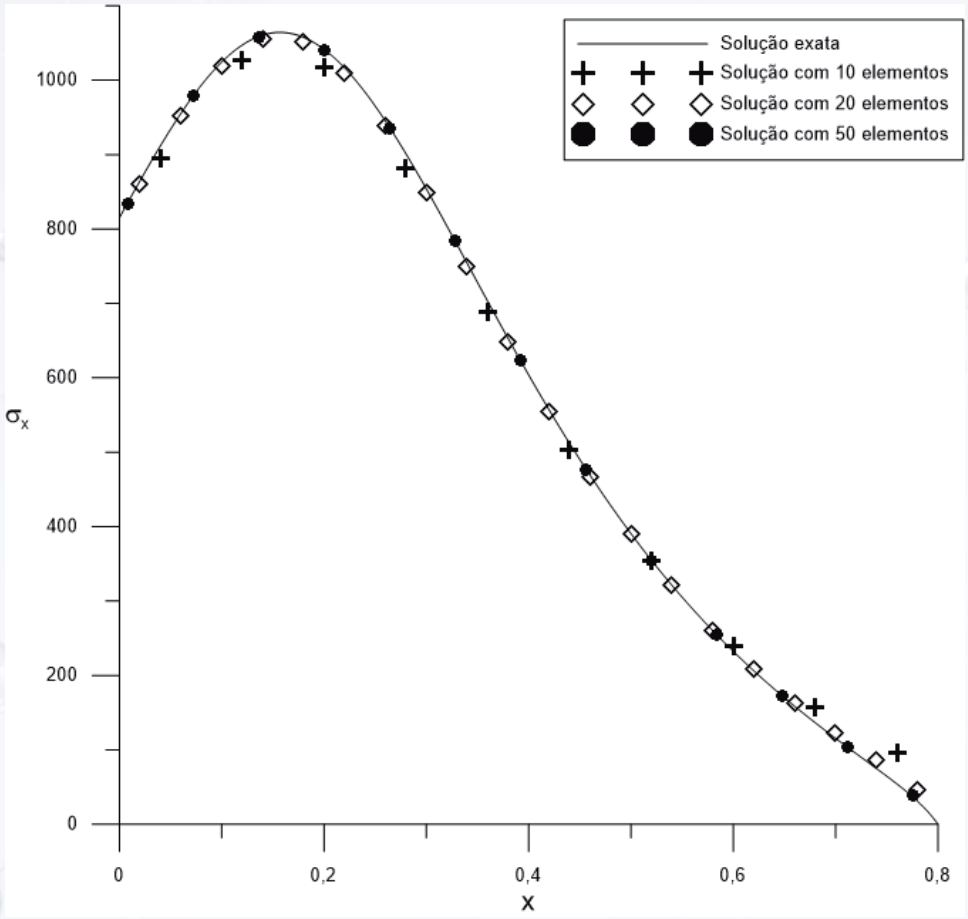
A tensão exata ao longo da barra é dada por:

Equação 10

Sendo o peso próprio da barra, , dado pela Equação 4, e , dado pela Equação 3.

A Figura 5, apresenta a tensão longitudinal em função da posição ao longo da barra, obtidas com o MEF para diferentes quantidades de elementos na discretização da barra e a tensão exata dada pela Equação 10. Pode-se perceber que as curvas providas por MEF estão satisfatoriamente próximas da curva exata, sendo que a aproximação com 50 elementos finitos, já é praticamente a solução exata. Com isto, não seria necessário o emprego de aproximações com mais elementos finitos para este problema.

Figura 5: Tensão longitudinal ao longo da barra. Solução exata versus aproximações com 10, 20 e 50 elementos finitos.



Fonte: Autor.

4. CONCLUSÕES

O desenvolvimento do software proposto demonstrou a viabilidade de aplicar o MEF à análise de barra de seção variável ou linear de forma direta e didática. A implementação em Python permitiu integrar cálculos simbólicos, numéricos e gráficos, resultando em uma ferramenta completa para o estudo do comportamento axial em barras.

A utilização da interpolação polinomial de Lagrange mostrou-se eficiente para representar a função de diferentes geometrias (conhecidas ou não), garantindo a determinação adequada da função que rege o diâmetro. Assim, portanto possibilitando a obtenção dos diâmetros ao longo da direção longitudinal e, consequentemente, áreas transversais, cargas distribuídas, tensões e deslocamentos. Os resultados obtidos foram coerentes com o comportamento analisado analiticamente. Como consequência, a comparação entre os resultados adquiridos através do software e o do cálculo analítico exato evidenciou que a implementação numérica da rotina de considerações e equações está coerente e satisfatória.

O programa desenvolvido tem potencial futuro para se adequar aos cálculos de estado plano de tensões, abrangendo ainda mais as aplicações. Dessa forma, não se limitando apenas a análises de tensões e deformações longitudinais em barras, mas, também, a transversais em outros tipos de estruturas.

5. REFERÊNCIAS

[1] LOGAN, D. L. *A First Course in the Finite Element Method*. 6th ed. Boston: Cengage Learning, 2016.

[2] COOK, R. D.; MALKUS, D. S.; PLESHA, M. E.; WITT, R. J. *Concepts and Applications of Finite Element Analysis*. 4th ed. New York: Wiley, 2002.

[3] ZIENKIEWICZ, O. C.; TAYLOR, R. L. *The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals*. 7th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2013.

[4] VAZ, Eloy K. *Introdução ao Método dos Elementos Finitos*. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

9 DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA AUXÍLIO À ESCOLHA DE COLETORES SOLARES

RESUMO

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento do DITCA - Dimensionador de Trocador de Calor, um software em linguagem Python destinado a auxiliar no dimensionamento de coletores solares térmicos de serpentina exposta. O programa utiliza fundamentos de transferência de calor por convecção e radiação, empregando a correlação de Churchill-Bernstein para o cálculo do coeficiente convectivo e o balanço de energia entre o tubo e o ambiente. A partir de parâmetros de entrada, como vazão, temperaturas, diâmetro e irradiância solar, o DITCA determina o comprimento de tubulação necessário para o aquecimento desejado. Os resultados demonstram que a ferramenta fornece estimativas consistentes e rápidas, sendo útil em análises preliminares de sistemas solares térmicos.

ABSTRACT

This study presents the development of DITCA - Heat Exchanger Dimensioning Software, a Python-based tool designed to assist in the sizing of exposed-coil solar ther-

Palavras-chave: Energia solar; Trocadores de calor; Dimensionamento; Simulação computacional.

Arthur Batista Bromirsky[1]; Nicolas Araujo Paladino do Campo[1]; Cristiano Frandalozo Maidana[1]; Charles Rech[1]; André Francisco Caldeira[1]

1 Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul, Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, RS, Brasil.

mal collectors. The program applies heat transfer principles of convection and radiation, employing the Churchill-Bernstein correlation to calculate the convective coefficient and the energy balance between the tube and the environment. Based on input parameters such as flow rate, temperatures, tube diameter, and solar irradiance, DITCA determines the tube length required for the desired heating. The results show that the tool provides consistent and fast estimations, proving useful for preliminary analyses of solar thermal systems.



Keywords: Solar energy; Heat exchangers; Design; Computational simulation.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por energia limpa tem incentivado o desenvolvimento de tecnologias térmicas capazes de aproveitar a radiação solar de forma eficiente. Os coletores solares, amplamente utilizados em aplicações residenciais, comerciais e industriais, convertem a radiação incidente em calor e transferem essa energia para o fluido circulante, geralmente água ou ar. Esses dispositivos, que podem ser planos, de tubos evacuados ou híbridos, frequentemente incorporam trocadores de calor integrados ou serpentinas expostas, desempenhando papel fundamental na eficiência global do sistema [1]. Estudos recentes têm investigado melhorias no desempenho térmico por meio da combinação de tubos evacuados com serpentinas helicoidais ou com refletores parabólicos, mostrando incrementos de eficiência devido à otimização das trocas convectivas e da captação solar [2][3].

Apesar desses avanços, o dimensionamento de coletores com serpentinas expostas ainda exige cálculos cuidadosos das trocas térmicas por radiação, convecção externa e absorção solar, o que torna o processo trabalhoso para projetistas que não dispõem de ferramentas específicas. Diante desse contexto, este trabalho apresenta o software DITCA, desenvolvido em linguagem Python, cujo objetivo é auxiliar no dimensionamento do comprimento de tubulação necessário para coletores solares de serpentina exposta, considerando parâmetros ambientais, propriedades termofísicas e condições operacionais de entrada.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O software DITCA - Dimensionador de Trocador de Calor foi desenvolvido em Python com o objetivo de estimar o comprimento de tubulação necessário em coletores solares de serpentina exposta, a partir do balanço de energia entre o fluido e o ambiente

externo. A interface gráfica permite ao usuário inserir as condições operacionais (vazão, temperaturas, diâmetro do tubo, irradiância e velocidade do vento) e visualizar tanto o comprimento calculado quanto o esquema do trocador. O programa simula um coletor solar com superfície espelhada, assumindo irradiância uniforme ao longo de toda a área projetada do tubo, o que corresponde ao uso de refletores ou superfícies altamente refletivas. Os valores de irradiância utilizados no modelo foram extraídos do Atlas Digital de Radiação Solar da Embrapa [4], que fornece irradiâncias médias mensais para cada estado brasileiro. Na ausência de dados locais, o software também permite inserir manualmente um valor de G. A formulação adotada segue os princípios de transferência de calor apresentados por Incropera et al. [5] e envolve quatro etapas principais: cálculo da potência térmica requerida, determinação do coeficiente convectivo externo, balanço energético e obtenção do comprimento final.

A potência térmica necessária ao aquecimento da água é calculada por:

$$Q_{H_2O} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T$$

O coeficiente convectivo é obtido pela correlação de Churchill-Bernstein

$$Nu = 0{,}3 + \frac{0{,}62 \cdot Re^{1/2} \cdot Pr^{1/3}}{[1 + (0{,}4/Pr)^{2/3}]^{1/4}} \cdot \left[1 + \left(\frac{Re}{282000}\right)^{5/8}\right]^{4/5}$$

que usa o número de Reynolds e o número de Prandtl

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \qquad Pr = \frac{c_p \cdot \mu}{k}$$

O fluxo solar absorvido é calculado por

$$q_{solar} = \alpha \cdot G \cdot A_p$$

onde representa a absortividade da superfície e é a área projetada por unidade de comprimento, determinada com base em valores típicos de coletores planos (0,08-0,12 m²/m). O valor adotado de é característico de superfícies pintadas com revestimento preto fosco [6]. As perdas térmicas são modeladas como:

$$q_{conv} = h \cdot P \cdot (T_{tubo} - T_{ambiente}) \qquad q_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot P \cdot \left(T_{tubo}^4 - T_{ambiente}^4\right)$$

onde é a emissividade do tubo, é a constante de Stefan-Boltzmann e é o perímetro externo do tubo. Valores de emissividade e absortividade nesta faixa são

comumente adotados em análises de trocadores de calor solares [7]. Com isso, o fluxo líquido de calor útil é obtido por:

$$q_{liq} = q_{solar} - q_{conv} - q_{rad}$$

e o comprimento necessário da serpentina é determinado por

$$L = \frac{Q_{H_2O}}{q_{liq}}$$

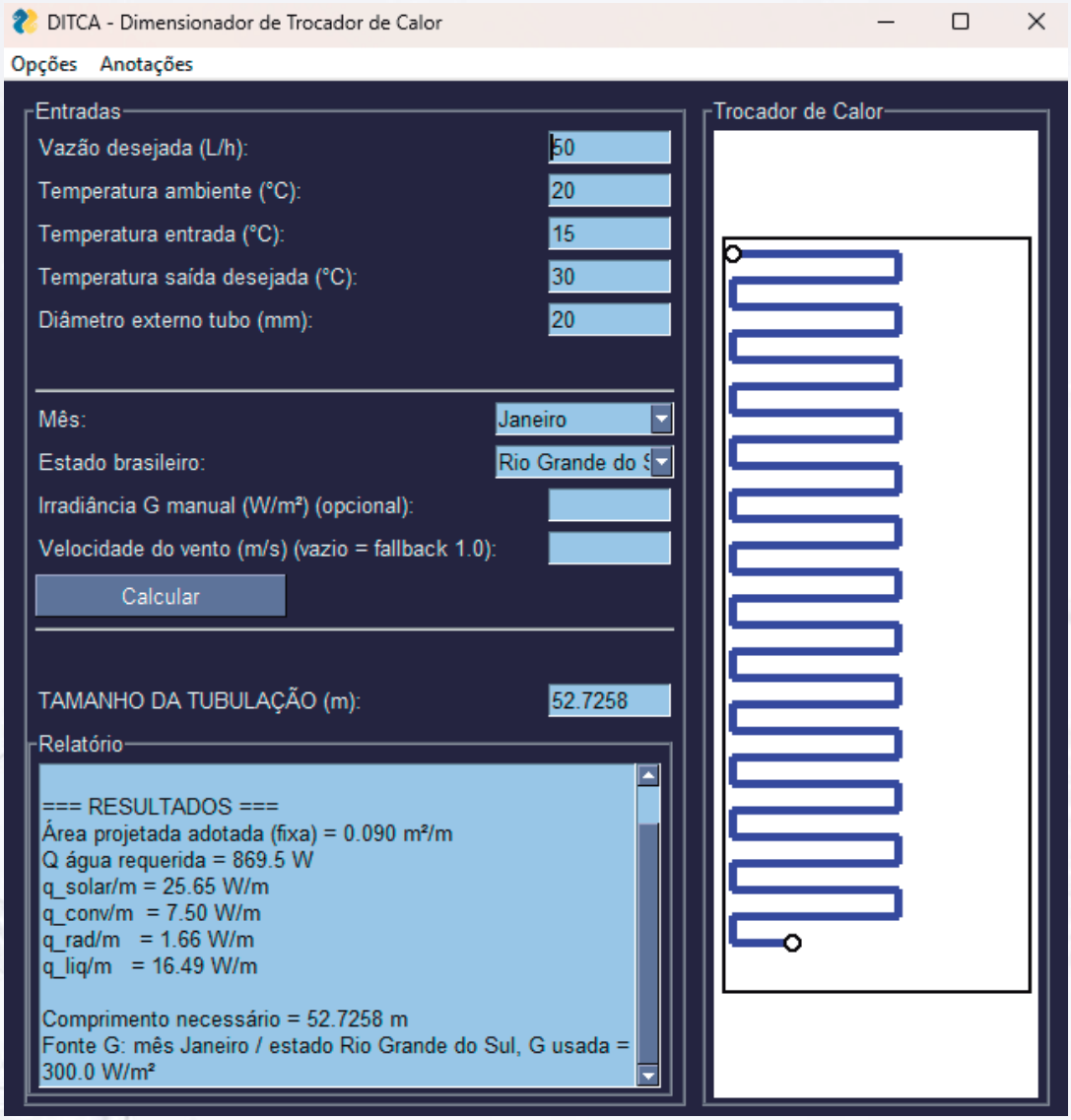
O modelo considera irradiância média mensal, regime permanente, superfície limpa e distribuição uniforme da radiação. A convecção interna é desconsiderada por ser significativamente maior que as perdas externas. As propriedades termofísicas da água foram obtidas a partir de Incropera et al. (2011).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para validar o modelo, adotaram-se valores representativos: vazão de cinquenta litros por hora, temperatura de entrada de quinze graus Celsius e de saída de trinta graus Celsius, temperatura ambiente de vinte graus Celsius, diâmetro externo de dois centímetros, irradiância de trezentos watts por metro quadrado, área projetada de nove centésimos de metro quadrado por metro, absortividade de 0,95, emissividade de 0,9 e velocidade do vento de um metro por segundo. Inseridos esses dados na interface, o software calculou automaticamente o comprimento da serpentina e exibiu o esquema do coletor.

Após a inserção desses dados na interface do programa e a ativação do botão calcular, o DITCA executa automaticamente os cálculos de transferência de calor e apresenta o comprimento de tubulação necessário, bem como o esquema gráfico da serpentina, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1. Configuração final da janela do software DITCA com os resultados calculados.



Fonte: Autor.

O comprimento obtido foi de aproximadamente 52,7 metros, resultado praticamente idêntico ao cálculo manual (52,6785 metros), sendo a diferença atribuída ao arredondamento numérico. Para as condições de janeiro no Rio Grande do Sul, o sistema é capaz de elevar a temperatura da água de quinze para trinta graus Celsius com a vazão especificada. Observou-se que cerca de trinta por cento da energia solar absorvida é perdida por convecção e cerca de seis por cento por radiação, indicando que superfícies de menor emissividade ou coberturas vítreas podem reduzir perdas e melhorar a eficiência térmica.

4. CONCLUSÃO

O DITCA mostrou-se eficaz no dimensionamento de coletores solares de serpentina exposta, estimando com precisão o comprimento de tubulação necessário a partir de

parâmetros operacionais e ambientais. A aplicação demonstrou consistência com o cálculo manual, obtendo cerca de 52,7 metros de tubo para as condições de janeiro no Rio Grande do Sul, com irradiância média de trezentos watts por metro quadrado e vazão de cinquenta litros por hora. Os resultados confirmam a utilidade do software como ferramenta de apoio e ensino, fornecendo estimativas rápidas baseadas em modelos consolidados e permitindo adaptações para diferentes regiões e cenários climáticos.

5. REFERÊNCIAS

[1] TIAN, Y.; ZHAO, C. Y. A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications. *Applied Energy*, v. 104, p. 538-553, 2013.

[2] SAID, S.; MELLOULI, S.; ALQAHTANI, T. et al. New Evacuated Tube Solar Collector with Parabolic Trough Collector and Helical Coil Heat Exchanger for Usage in Domestic Water Heating. *Sustainability (MDPI)*, v. 15, 2023.

[3] SINGH, I.; VARDHAN, S. Energy, exergy, environmental and economic (4E) analysis of evacuated tube solar collector with helical coils. *Journal of Mechanical Science and Technology*, v. 36, p. 5801-5808, 2022.

[4] EMBRAPA. Atlas Digital de Radiação Solar do Brasil. 2020.

[5] INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. *Fundamentos de Transferência de Calor e Massa*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

[6] DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. 4th ed. Hoboken: Wiley, 2013.

[7] KALOGIROU, S. A. *Solar Energy Engineering: Processes and Systems*. 2nd ed. Academic Press, 2014.

10 ANÁLISE ESTATÍSTICA DO VOLUME DE ÁGUA COLETADO DE AR CONDICIONADO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA

RESUMO

Os aparelhos de ar condicionado (AC) geram, durante o resfriamento, um volume de água condensada usualmente descartado, que, no entanto, possui potencial de reaproveitamento, contribuindo na preservação de recursos naturais. Nesse contexto, o presente estudo analisou o volume de água gerado em 5 salas de aula equipadas com ares condicionados do tipo split na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), campus Cachoeira do Sul. Equipamentos de diferentes marcas e potências (Agratto 22.000 BTU/h e Komeco 9.000 BTU/h) foram analisados por meio de 139 testes nos quais foram coletados os volumes produzidos em uma hora de funcionamento. Os resultados apontaram uma média geral de geração de água de 1.116,23 mL/h e desvio padrão de 451,66 mL. Os aparelhos Agratto (maior potência) geraram uma média de 1.256,48 mL/h e desvio padrão de 510,045 mL, enquanto o aparelho Komeco (menor potência) registrou 555,26 mL/h e desvio padrão de 218,13 mL. O estudo conclui que os aparelhos de ar condicionado geram volumes expressivos de água condensada, confirmando

Palavras-chave: Água condensada, ar condicionado, reaproveitamento de água.

Nândria Diésily do Carmo Danzmann[1];
Carolina Kuhn Novakoski[1];
Rafaela Falcão Socoloski[1];
Thaís Aquino dos Santos[1]

1 Coordenação acadêmica, Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

o potencial dessa fonte alternativa. A potência dos equipamentos demonstrou ser fator influente no volume gerado.

ABSTRACT

Air conditioning (AC) units generate a volume of condensed water during the cooling process, which is usually discarded but holds potential for reuse, contributing to the preservation of natural resources. In this context, the present study analyzed the volume of water generated in five classrooms equipped with split-type air conditioners at the Federal University of Santa Maria (UFSM), Cachoeira do Sul campus. Equipment from different brands and capacities (Agratto 22,000 BTU/h and Komeco 9,000 BTU/h) were analyzed through 139 tests, in which the volumes produced during one hour of operation were collected. The results indicated an overall average water generation of 1,116.23 mL/h, with a standard deviation of 451.66 mL. The Agratto units (higher capacity) generated an average of 1,256.48 mL/h, with a standard deviation of 510.045 mL, while the Komeco unit (lower capacity) recorded 555.26 mL/h, with a standard deviation of 218.13 mL. The study concludes that air conditioning units generate significant volumes of condensed water, confirming the potential of this alternative source. The capacity of the equipment proved to be an influential factor in the volume generated.

Keywords: condensate water, air conditioning, water reuse.

1. INTRODUÇÃO

Durante a refrigeração do ambiente, os aparelhos de ar condicionado condensam uma quantidade significativa de água que, geralmente, é drenada e descartada através do sistema de esgoto pluvial. Dentre estudos que analisaram volume de água coletado por aparelhos de ar condicionado do tipo split, pode-se citar: Cunha (2016); Ferreira e Tose (2016); Sisco et al. (2017); Okeyinka et al. (2021); Siam et al. (2019) e Yang (2021). Os autores mencionados estimaram valores médios de condensação de água entre 0,33 e 3,78 L/h dependendo da capacidade dos aparelhos e das condições climáticas do local de operação, demonstrando que, dependendo do tempo de utilização dos aparelhos, o volume de água condensado é significante e pode ser reaproveitado. Mahvi et al. (2013) e Alipour et al. (2013) mostram valores máximos e mínimos, de média e de desvio padrão, obtidos por dia por unidade de ar condicionado presente em seus estudos, sendo mínimo de 24,7 L/dia e máximo de 55,3 L/dia e desvios padrão entre 2,2 e 5,0 L/dia.

O presente trabalho tem por objetivo apresentar dados estatísticos do volume de coleta da água condensada de cinco aparelhos de ar condicionado em utilização no campus de Cachoeira do Sul da Universidade Federal de Santa Maria.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os testes realizados a fim de quantificar o volume de água produzido por aparelhos de ar condicionado em funcionamento no campus de Cachoeira do Sul da Universidade Federal de Santa Maria foram conduzidos em aparelhos de duas marcas distintas:

- **Agratto:** 4 aparelhos, com 22.000 BTUs, localizados nas salas C1-12, C1- 13, C2-11 e C2-13, todas com área de 65,66 m²;
- **Komeco:** 1 aparelho, com 9.000 BTUs, localizado na sala C1-10, com área de 16,90 m².

A coleta da água proveniente da unidade condensadora foi realizada com uma mangueira cristal conectada ao dreno de saída e a uma garrafa PET com capacidade de 3 litros (Figura 1). Em cada teste o aparelho foi colocado em funcionamento por uma hora e, após a finalização, o volume de água coletado foi medido utilizando um Becker de vidro com capacidade de 1000 mL, permitindo o registro da taxa de geração em mL/h. A análise estatística dos dados consistiu em avaliar a média, os valores máximos e mínimos e desvio padrão do volume coletado nas amostras de cada aparelho.

Figura 1: Coleta de água



Fonte: Autor

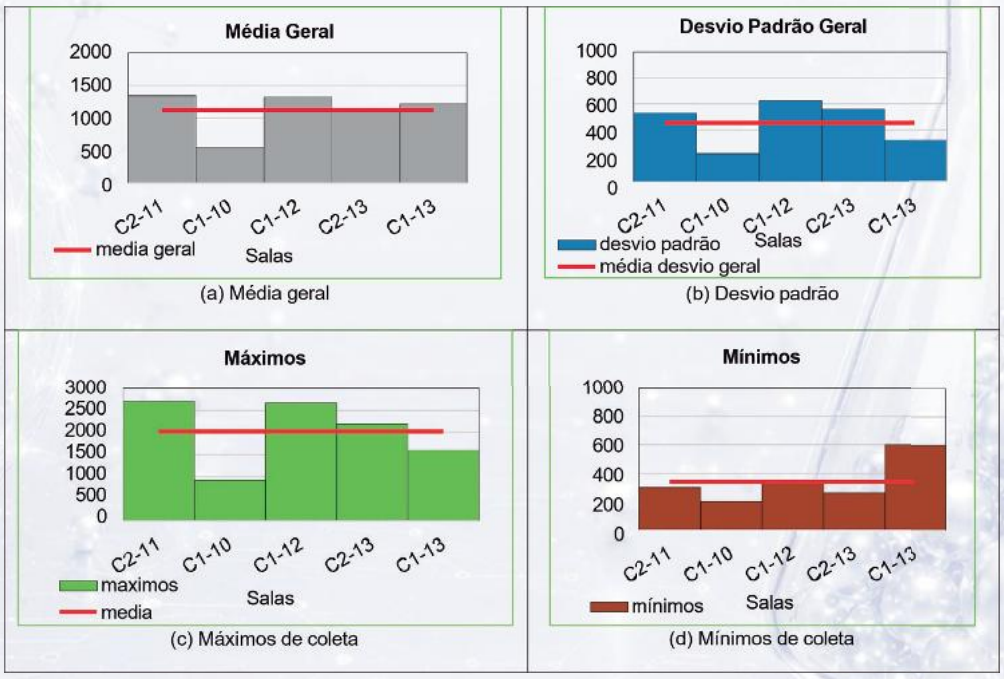
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os 139 testes realizados, distribuídos por cinco salas estão detalhados na Tabela 1, na qual percebe-se uma diferença significativa de desempenho entre os equipamentos de diferentes potências monitorados. Na Figura 2, pode-se visualizar graficamente os resultados ilustrados na Tabela 1. O equipamento de menor potência (Komeco 9.000 BTU/h, sala C1-10) apresentou a menor geração média, com 555,26 mL/h. Em contrapartida, os equipamentos de maior potência (Agratto 22.000 BTU/h) apresentaram geração significativamente maior. Os aparelhos instalados nas salas C1-12, C2-11 e C2-13 geraram, em média, mais que o dobro desse volume, registrando 1.323,10 mL/h, 1.344,86 mL/h e 1139,37mL/h, respectivamente.

Tabela 1: Valores máximos, mínimos, médios e de desvio padrão obtidos para cada aparelho de ar condicionado avaliado.

Salas	C1-10	C1-12	C1-13	C2-11	C2-13
Marcas e potências	Komeco (9.000) BTUs	Agratto (22.000) BTUs	Agratto (22.000) BTUs	Agratto (22.000) BTUs	Agratto (22.000) BTUs
Número de testes	19	29	7	68	16
Máximo	920mL	2660mL	1600mL	2700mL	2190mL
Mínimo	200mL	340mL	600mL	300mL	260mL
Média	555,26	1323,10	1218,57	1344,86	1139,37
Desvio padrão	218,13mL/h	627,44mL/h	321,78mL/h	530,25mL/h	560,71mL/h

Figura 2: Resultados estatísticos obtidos para os diferentes aparelhos localizados em cada sala: (a) média; (b) desvio padrão; (c) valores máximos e (d) valores mínimos.



O equipamento Komeco, de 9.000 BTU/h (C1-10) apresentou menor desvio padrão (218,13mL/h) se comparado com os equipamentos de 22.000 BTU/h (627,44mL/h, 530,25mL/h e 560,71mL/h), o que pode ser justificado pelas diferenças nas médias desses aparelhos e também pela diferença no tamanho da amostra, tendo esses últimos aparelhos sido utilizados em situações climáticas mais extremas, o que pode ser concluído observando os máximos e mínimos gerados. O aparelho instalado na sala C1-13 (Agratto com 22000 Btus) apresentou desvio padrão menor que os demais aparelhos de mesma marca e potência, porém, foi realizado um pequeno número de testes com esse aparelho, sendo que seria necessário um maior número de testes para maior confiabilidade dos resultados o que também proporcionaria a inclusão de condições climáticas mais extremas.

Na Figura 2 visualiza-se que os dados de coleta de volume do aparelho Komeco (9.000BTUs), instalado na sala C1-10, estão visivelmente abaixo da média, desvio padrão, máximos e mínimos, e que os aparelhos da marca Agratto (22.000 BTUs) apresentam dados mais próximos entre si, com exceção do aparelho da sala C1-13, devido ao menor número de observações.

4. CONCLUSÕES

A análise demonstrou que a potência do equipamento é um fator influente no volume gerado. De forma geral, pode se dizer que a média geral de condensação de água foi de 1.116,23mL/h, valor que está dentro do intervalo encontrado na literatura, como citado anteriormente (330mL/h a 3780mL/h) sendo a média do equipamento de menor potência (9.000 Btus) de 555,26mL/h e dos aparelhos de maior potência de 1.256,48 mL/h. O desvio padrão médio foi de 451,6mL/h, sendo a média dos aparelhos Agratto de 510.04 mL/h e do Komeco de 218,13mL/h. Vale salientar que, com o aparelho da sala C1-13, foi realizado um número pequeno de testes, o que pode ter impactado nesse resultado. Na continuidade do trabalho serão analisadas também as variáveis climáticas, além de um maior número de testes.

5. REFERÊNCIAS

CUNHA, J. C. A. et al. **Avaliação do aproveitamento de água de condensado de aparelhos de ar condicionado em edifícios públicos.** Revista DAE, v. 64, n. 205, p. 46–55, 2016.

SISCO, K. L.; MONROE, M. C.; HALLETT, K. B. **Evaluating air conditioner condensate as an alternative water resource in humid climates.** Resources, Conservation and Recycling, v. 122, p. 107–115, 2017.

SIAM, A. M.; EL-SHAARAWI, M. A.; EL-SETOUHI, M. A. **Experimental investigation on the enhancement of air conditioner condensate water recovery.** Water Practice and Technology, v. 14, n. 4, p. 883–894, 2019.

OKEYINKA, A. A.; OMIDIORA, S. O.; ALHASSAN, G. A. **Reclaimed Air Conditioner Condensate as Alternative Source of Water in Hot Humid Region.** IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, v. 18, n. 6, p. 25-30, 202

11 INTEGRAÇÃO DO MICROSSIMULADOR SUMO COM O UNITY PARA REQUALIFICAÇÃO URBANA

RESUMO

A pesquisa aborda a requalificação do trecho de uma via no bairro Centro de Cachoeira do Sul, utilizando a integração do microssimulador SUMO com a plataforma de criação de ambientes virtuais Unity. Diante dos desafios gerados pelo crescimento desordenado das cidades brasileiras e pela priorização do transporte motorizado, surge a necessidade de propor alternativas para reprojetar o ambiente urbano para as demandas atuais. O estudo utilizou pesquisa bibliográfica e coleta de dados sobre geometria da via, edificações e topografia, utilizando esses dados para integrar o microssimulador SUMO ao ambiente Unity, criando modelos tridimensionais mais realistas e interativos. Os testes mostraram potencial significativo de controle individual dos agentes de tráfego e de apresentação visual, que facilita o entendimento das intervenções propostas. Essa integração permite simular modificações na infraestrutura, testar melhorias e fortalecer a comunicação entre técnicos e população.

Palavras-chave: Unity, Reprojetar, Mobilidade Urbana.

Maria Manoela Cardoso dos Santos[1];
Letícia Steyding Mazuim[1];
Felipe Caleffi[1]

1 Núcleo de Veículos Autônomos, Universidade Federal de Santa Maria - Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

ABSTRACT

The research addresses the redevelopment of a road segment in the Centro district of Cachoeira do Sul by integrating the SUMO traffic microsimulator with the Unity virtual environment platform. In light of the challenges posed by unplanned urban growth in Brazilian cities and the prioritization of motorized transportation, a growing need exists to propose alternatives that redesign the urban environment to meet current demands. This study employed a literature review and collected data on road geometry, buildings, and topography, using these data points to integrate the SUMO microsimulator with Unity and create more realistic and interactive three-dimensional models. The tests demonstrated significant potential for individually controlling traffic agents and for presenting visualizations that facilitate understanding of proposed interventions. This integration enables the simulation of infrastructure modifications, the testing of improvements, and the strengthening of communication between professionals and the general public.

Keywords: Unity, Redesign , urban mobility.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o Estatuto das Cidades, instituído pela Lei nº 10.257/2001, deu início à discussão acerca do planejamento e da gestão das cidades em face do crescimento desordenado e dos problemas de deslocamentos urbanos, impulsionados pelo êxodo rural e pela rápida urbanização[1]. Através desse estatuto, surgiu a obrigatoriedade da elaboração de planos diretores em cidades com mais de vinte mil habitantes. Posteriormente, em 2012, foi base para a criação das diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU), que define mobilidade urbana como a condição em que se realizam os deslocamentos de pessoas e cargas no espaço urbano[2].

A PNMU é uma legislação que visa a integração entre os diferentes modais de transportes para cargas e passageiros. Tendo em vista a consolidação dos núcleos urbanos e as diretrizes da PNMU, novas formas de configuração do espaço urbano são propostas, com o objetivo de equilibrar as necessidades dos diferentes modos de transportes e, com isso, melhorar a qualidade de vida da população, beneficiando pessoas de todas as idades[3]. No entanto, implementar intervenções urbanas, como a criação de uma ciclofaixa e a ampliação da faixa de circulação de pedestres, ainda que sejam de baixa complexidade construtiva, pode gerar resistência aos usuários. Isso se dá pois, historicamente, o Brasil possui uma matriz de transportes que privilegia o uso dos veículos motorizados e restringe cada vez mais os espaços para as pessoas com as cidades projetadas para os veículos[4].

Com o avanço tecnológico dos microssimuladores de tráfego e o aumento da sobrecarga nas redes viárias urbanas, torna-se cada vez mais importante utilizar o conhecimento científico para melhorar a mobilidade de veículos e pedestres nas cidades. Nesse contexto, a integração de simulações de tráfego com ambientes de realidade virtual surge como uma solução inovadora, permitindo testar, de forma segura e realista, diferentes modificações viárias antes de sua implementação na prática.

Apesar dos avanços, ainda existem desafios, como a necessidade de padronizar modelos e integrar diferentes sistemas de simulação para melhor representar o tráfego real[5]. Por isso, investigou-se o uso de tecnologias digitais interativas para a visualização tridimensional de simulações urbanas utilizando o software Unity, integrado ao simulador de tráfego SUMO (Simulation of Urban Mobility) por meio da ferramenta SUMO2Unity. Essa integração permite importar cenários urbanos simulados em 2D para um ambiente 3D imersivo, no qual veículos, semáforos e fluxos de tráfego podem ser observados em tempo real. A proposta do trabalho aborda a requalificação do trecho de uma via do bairro Centro de Cachoeira do Sul utilizando a integração do microssimulador SUMO com a plataforma de criação de ambientes virtuais Unity, tornando as simulações mais compreensíveis para a comunidade em geral e para pesquisadores.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O principal objetivo deste trabalho é elaborar a requalificação do trecho de uma via no bairro Centro de Cachoeira do Sul, utilizando a integração do microssimulador SUMO com a plataforma de criação de ambientes virtuais Unity. Para isso, o desenvolvimento do trabalho teve início a partir da pesquisa bibliográfica, buscando artigos que apresentem e descrevam o uso de simuladores de tráfego em conjunto com ambientes de desenvolvimento de jogos, em especial o software SUMO, pois este é de código aberto e possui integração com o Unity. Após a elaboração do referencial teórico, foi realizada a coleta de dados acerca da geometria da via, das edificações construídas e da topografia local; esses dados fundamentam o estudo de caso a ser simulado. Posteriormente, foi criada a modelagem digital das vias no software SUMO, é nele que as informações acerca da via são inseridas, tais como, largura da via, velocidade máxima permitida e as regras de preferência de cada interseção. Além disso, também é neste *software* que o volume do tráfego e origens e destinos são informados, no entanto, o volume correspondente ao trecho é retirado de base de dados já existente. Por fim, utilizou-se o software SUMO2Unity para converter a malha viária para 3D e sincronizar a simulação com o ambiente tridimensional no Unity, garantindo a atualização dos deslocamentos de veículos e da lógica semafórica em intervalos de tempo reduzidos em conjunto com a visualização do ambiente construído no entorno. No Unity, foram adicionados os elementos visuais que compreendem as edificações, o mobiliário urbano e feitos os ajustes gerais necessários, como de escala para maior realismo, configurações de códigos para melhor funciona-

mento, câmeras de visualização e ferramentas de interação. A Figura 1 representa cada uma das etapas realizadas no desenvolvimento desta pesquisa.

Figura 1: Fluxograma de etapas da elaboração do trabalho.



Fonte: Elaborados pelos autores, 2026.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

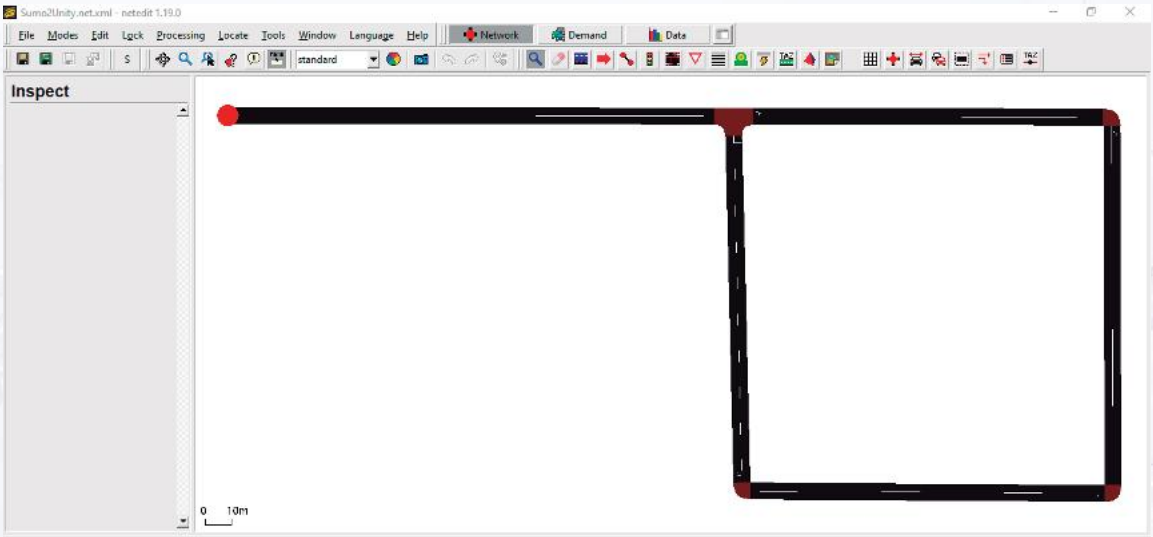
A visualização de dados urbanos em 3D evidencia, de forma clara e objetiva, as decisões relacionadas à mobilidade, segurança viária e desenho urbano. Tendo em vista o crescente debate sobre tráfego, poluição e qualidade de vida nos centros urbanos, são necessárias ferramentas que possibilitem a otimização dos projetos de intervenção. Por isso, através da integração, é possível controlar individualmente agentes de tráfego no Unity usando dados precisos do SUMO, ampliando a fidelidade da simulação. Sendo assim, o uso da simulação apresenta, de forma intuitiva e simplificada, os efeitos de mudanças na infraestrutura ou no comportamento dos usuários.

No âmbito econômico, essa abordagem também poderá trazer benefícios, já que será possível simular o ambiente e as situações de conflito vivenciadas, propor intervenções e testar essas possíveis melhorias. Além disso, os recursos fortalecem a comunicação entre técnicos e população, permitindo que propostas de intervenção sejam apresentadas de forma acessível e facilitada.

4. CONCLUSÕES

Este ainda é um trabalho em fase inicial de desenvolvimento, porém, os testes de integração realizados até o presente momento revelaram um amplo potencial de usabilidade das ferramentas estudadas. A Figura 2 apresenta o a tela inicial do software sumo com o desenho de uma via, este é o desenho do trecho para teste.

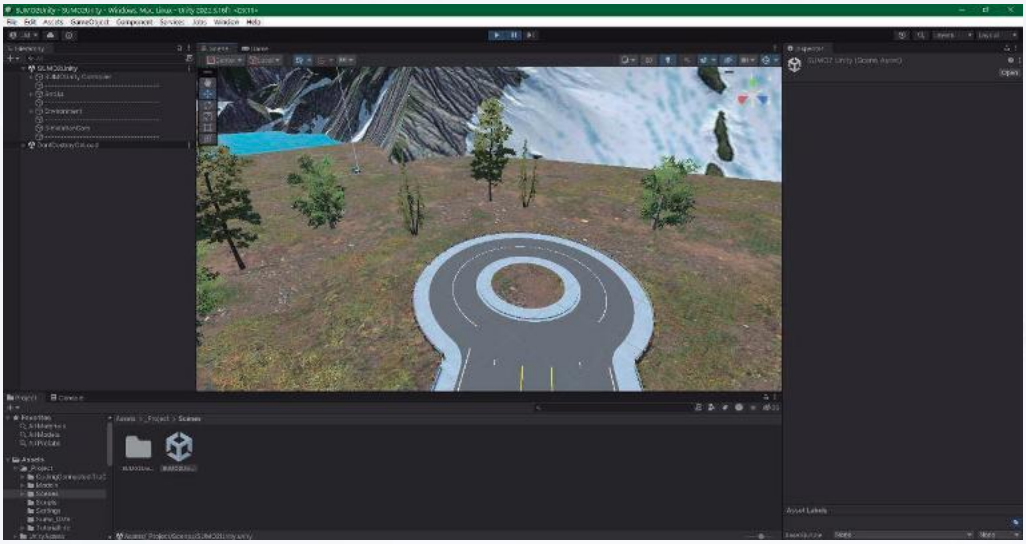
Figura 2: Desenho de um trecho no *software* SUMO



Fonte: Elaborados pelos autores, 2026.

Após salvar o arquivo no SUMO, a próxima etapa utiliza o plug in Sumo2Unity no software Unity, sendo assim, a Figura 3 apresenta a interface do Unity com o desenho viário inserido no ambiente. Nesta imagem é possivel visualizar a forma como é representada a rua, o entorno apresentado neste exemplo composto por gramado e árvores é inserido através das próprias funcionalidades do Unity, no entanto, é possível inserir arquivos externos no formado 3D para a composição do cenário.

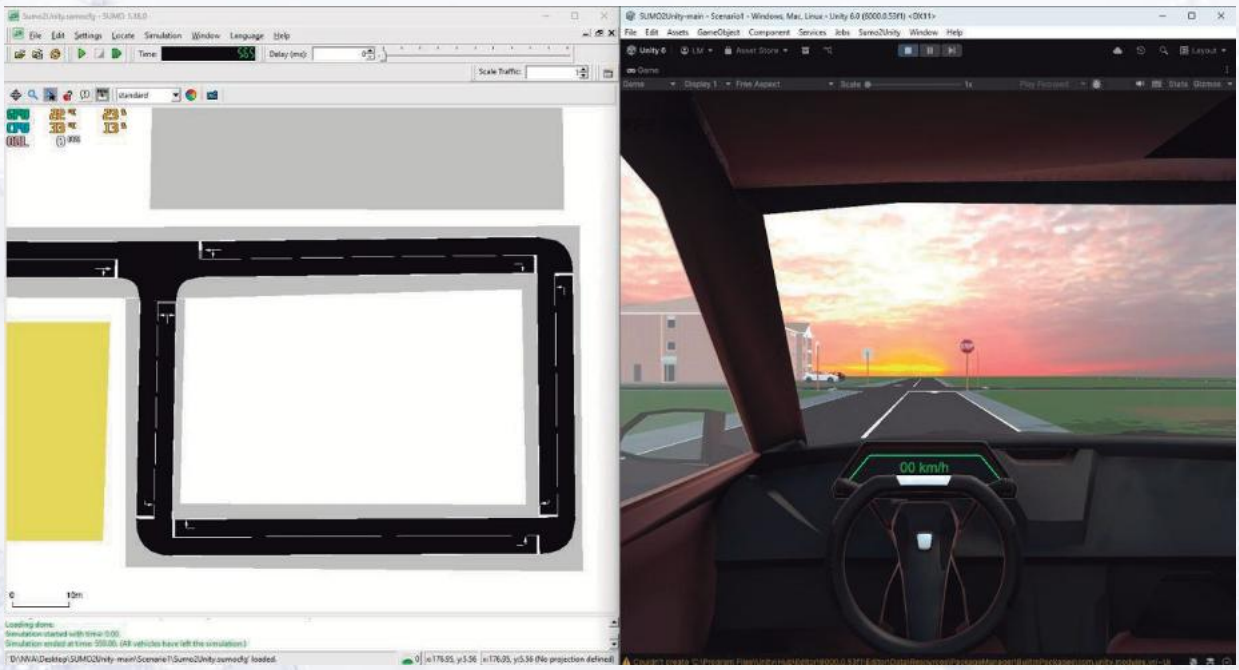
Figura 3: Uso do SUMO2Unity para converter a malha viária para 3D



Fonte: Elaborados pelos autores, 2026.

Por fim, a Figura 4 apresenta duas interfaces, à esquerda o SUMO com a simulação em andamento, a direita o Unity na perspectiva de motorista de um veículo inserido dentro do ambiente construído. O SUMO produz os resultados das simulações em relação aos aspectos de tráfego, já o Unity possui o enfoque na experiência do motorista dentro do ambiente simulado, é ele que permite a imersão na simulação.

Figura 4: Execução simultânea do Sumo com o Unity integrados



Fonte: Elaborados pelos autores, 2026.

Na próxima etapa, a área geográfica do estudo será ampliada, e o ambiente construído será detalhado em 3D, visando alcançar maior fidelidade em relação ao espaço real. Após a etapa de integração, serão elaboradas as propostas de intervenção, e o projeto de requa-

lificação da via será fundamentado nas diretrizes de Ruas Completas. Essas diretrizes estão em consonância com a PNMU, no que tange principalmente à priorização do pedestre. Por fim, as propostas de intervenção serão incorporadas ao ambiente de realidade virtual, podendo ser testadas por voluntários, que poderão dirigir dentro do ambiente simulado, sendo motoristas e caminhar com o uso dos óculos de realidade virtual, vivenciando a experiência de ser pedestre dentro da simulação.

5. REFERÊNCIAS

BATISTA, E. FELIZARDO; BATISTA, R. COSTA. **Os impactos na mobilidade urbana decorrentes do crescimento populacional**. Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão (ISSN: 2525-4782), [s. l.], vol. 5, no 3, 2020.

BRASIL. **Política Nacional de Mobilidade Urbana**. Diário Oficial: Brasil, Lei nº 12.587, 3 jan. 2012.

COELHO, A. C. LEITE. **Ruas completas aplicadas no brasil: uma revisão integrativa de literatura**. 2023. 1–38 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2023.

INSTITUTO DE POLÍTICAS DE TRANSPORTES E DESENVOLVIMENTO. **Gestão da Mobilidade: conjunto de estratégias para tornar as cidades mais inclusivas para as pessoas**. [S. l.], 2021.

RAJU, NARAYANA; FARAH, HANEEN. **Evolution of Traffic Microsimulation and Its Use for Modeling Connected and Automated Vehicles**. Journal of Advanced Transportation, [s. l.], vol. 2021, p. 1–29, 2021.

12 ÁLGEBRA LINEAR: A LINGUAGEM DAS REDES NEURAIS

RESUMO

Este trabalho explora a fundamental relação entre a Álgebra Linear e o funcionamento das Redes Neurais Artificiais, demonstrando como conceitos matemáticos tais como vetores, matrizes e transformações lineares são essenciais para a operação desses sistemas de inteligência artificial. Através de uma demonstração prática com implementação em Python, mostramos como uma rede neural simples aprende o padrão do problema XOR, validando a importância da Álgebra Linear como linguagem básica da IA.

ABSTRACT

This work explores the fundamental relationship between Linear Algebra and the functioning of Artificial Neural Networks, demonstrating how mathematical concepts such as vectors, matrices, and linear transformations are essential for the operation of these artificial intelligence systems. Through a practical demonstration with Python implementation, we show how a simple neural network learns the XOR problem pattern, validating the importance of Linear Algebra as the basic language of AI.

Palavras-chave: Álgebra linear, redes neurais, inteligência artificial, aprendizado de máquina.

Willian Marques da Silva[1];
Pedro Barbosa Flores[1];
Robson Giambastiani[1];
Lucas Tavares Cardoso[2]

1 Estudante do Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria - Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

2 Laboratório de Estudos em Ciências Teóricas (LECT), Coordenação acadêmica, Universidade Federal de Santa Maria - Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

Keywords: Linear algebra, neural networks, artificial intelligence, machine learning.

1. INTRODUÇÃO

As Redes Neurais Artificiais (RNAs) são frequentemente vistas como sistemas complexos e opacos, mas sua estrutura é fundamentada em princípios sólidos da Álgebra Linear. Cada operação, da entrada de dados ao aprendizado, envolve vetores, matrizes e transformações lineares que definem o comportamento da rede. A representação de informações na forma de vetores e a atualização de matrizes de pesos permitem converter problemas complexos em operações matriciais eficientes, executadas de forma paralela em GPUs. Neste trabalho, exploramos como a Álgebra Linear constitui a linguagem das redes neurais, demonstrando sua aplicação prática por meio da implementação de uma rede que aprende a função lógica XOR, exemplo clássico de relação não linear[2].

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A demonstração prática dos conceitos foi realizada por meio da implementação de uma rede neural feedforward (com propagação direta) a partir do zero. A ferramenta central para este fim foi a linguagem de programação Python (versão 3.13.5), aproveitando seu ecossistema robusto para computação científica. A biblioteca NumPy foi utilizada para realizar todas as operações de Álgebra Linear de forma eficiente, como multiplicação de matrizes, cálculo de transpostas e solução de problemas de otimização via descida do gradiente. NumPy fornece a estrutura de dados de array multidimensional e as funções especializadas que são o alicerce para a implementação de redes neurais em Python[3]. Para a visualização dos resultados e do processo de aprendizado, empregou-se a biblioteca Matplotlib (versão 3.10).

O objeto de estudo escolhido foi o problema XOR (OU Exclusivo), um tipo de operador lógico que resulta em 1 se e somente se as entradas (e) tiverem valores diferentes, do contrário, resulta em 0. O conjunto de dados de treinamento consistiu nas quatro combinações possíveis de entradas binárias e suas respectivas saídas esperadas, sendo as entradas $[X_1, X_2]$:

$$X = [0,0], [0,1], [1,0], [1,1]$$

tendo as respectivas saídas:

$$Y = [0], [1], [1], [0]$$

A arquitetura da rede neural implementada seguiu a configuração 2-3-1:

- **Camada de Entrada:** 2 neurônios, correspondendo às duas características de entrada.
- **Camada Oculta:** 4 neurônios, utilizando a função de ativação ReLU (*Rectified Linear Unit*), definida como

$$f(z) = \max(0, z)$$

para introduzir não-linearidade[4].

Camada de Saída: 1 neurônio, utilizando a função de ativação Sigmoid, definida como

$$\sigma(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

para produzir uma saída contínua no intervalo $(0,1)$, permitindo que a rede aprenda a se aproximar dos valores-alvo 0 e 1, interpretável como uma probabilidade[2].

O treinamento foi conduzido pelo algoritmo de retropropagação (*backpropagation*), que calcula os gradientes da função de perda em relação a todos os pesos da rede[2]. O método de otimização aplicado foi a descida do gradiente, com uma taxa de aprendizado (*learning rate*) de 0,5. O processo iterativo foi executado por 10.000 épocas, permitindo que a rede ajustasse seus pesos (w_1, w_2) e vieses (b_1, b_2) para minimizar o erro entre suas previsões e os valores reais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A rede neural implementada demonstrou sucesso significativo na tarefa de aprender o mapeamento não-linear do problema XOR. O processo de treinamento apresentou convergência eficiente, com o erro médio absoluto decaindo de 0,500 na época inicial para aproximadamente 0,019 na época 2176, quando o critério de convergência foi atingido[5].

Os resultados numéricos finais evidenciam a capacidade da rede em aproximar-se precisamente dos valores esperados:

- Para a entrada [0, 0], a saída foi 0,019 (valor esperado: 0).
- Para a entrada [0, 1], a saída foi 0,981 (valor esperado: 1).
- Para a entrada [1, 0], a saída foi 0,981 (valor esperado: 1).
- Para a entrada [1, 1], a saída foi 0,023 (valor esperado: 0).

Estes valores demonstram que a rede neural alcançou acurácia de 100% considerando um limiar de decisão de 0,5, com todas as previsões situando-se corretamente nos intervalos esperados: próximos de 0 para as entradas [0,0] e [1,1], e próximos de 1 para as entradas [0,1] e [1,0].

A análise da curva de aprendizagem revela um comportamento típico de redes neurais, com rápida redução do erro nas primeiras 500 épocas (de 0,500 para 0,489), seguida por uma fase de refinamento mais gradual até a convergência final. Este padrão condiz com o esperado para o algoritmo de retropropagação aplicado ao problema XOR[2].

Estes resultados validam a hipótese central de que uma sequência de transformações lineares, intercaladas por funções de ativação não-lineares, é suficiente para modelar relações complexas nos dados[4]. A operação central de cada camada,

$$Z = W \cdot X + b$$

é puramente algébrica. A matriz de pesos atua como uma transformação linear, rotacionando e escalando o vetor de entrada no espaço de características, enquanto o vetor de viés desloca essa transformação, conceitos estes fundamentais em Álgebra Linear[1]. A composição dessas operações,

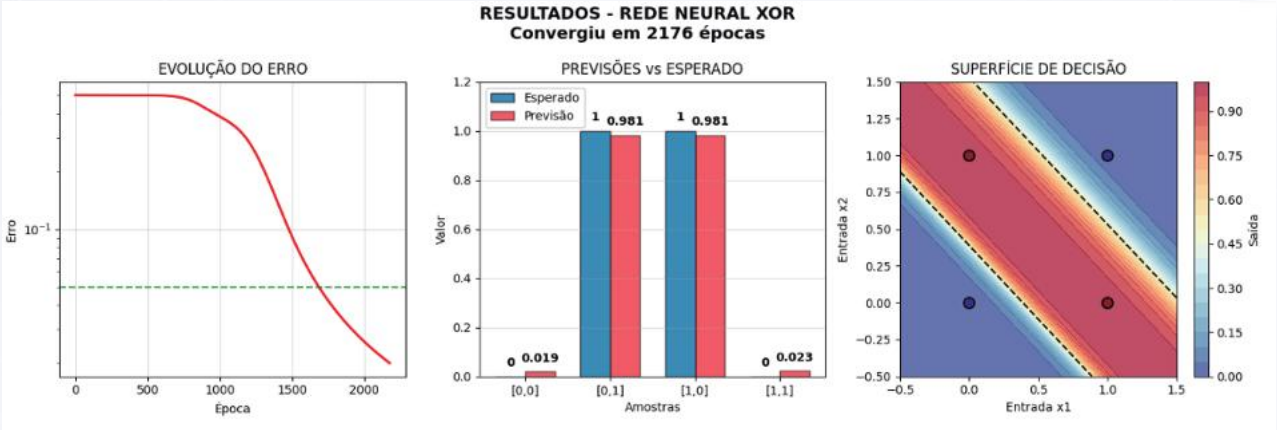
$$a = f(W_2\, f(W_1 X + b_1) + b_2)$$

permite que a rede represente funções hierárquicas e altamente não-lineares[5].

Como parte dos resultados obtidos, temos os gráficos gerados abaixo, que representam:

- **Evolução do erro:** mostra como o erro da rede diminui durante o treinamento; a linha vermelha caindo representa a rede aprendendo corretamente.
- **Previsões vs esperado:** compara valores previstos (vermelho) com os valores corretos (azul). Quanto mais próximas as barras, melhor a rede acertou cada ponto.
- **Superfície de decisão:** mostra como a rede classifica qualquer combinação de e: vermelho é a saída 1, ocorre quando e são diferentes. Azul é a saída 0, ocorre quando e são iguais. A linha preta é a fronteira de decisão (0,5), separando as regiões 0 e 1.

Figura1: Gráfico de resultados



Fonte: Resultado do código (matplotlib) em Python.[5]

4. CONCLUSÕES

Este trabalho demonstrou que a Álgebra Linear é o núcleo conceitual e computacional das Redes Neurais Artificiais. Todos os processos que ocorrem em uma rede, desde a propagação de sinais até o ajuste dos parâmetros, podem ser descritos como operações algébricas envolvendo vetores, matrizes e transformações lineares. Essas operações permitem representar grandes quantidades de dados de forma estruturada, realizar cálculos paralelos com eficiência e definir as transformações que compõem o aprendizado da rede.

A multiplicação de matrizes traduz a interação entre neurônios e camadas, enquanto os vetores de viés realizam deslocamentos no espaço vetorial, ajustando a posição das fronteiras de decisão.

A composição de transformações lineares combinada com funções de ativação não-lineares é o que confere às redes neurais sua capacidade de modelar relações complexas e não-lineares.

A resolução bem-sucedida do problema XOR evidenciou esses princípios: uma sequência de transformações lineares adequadamente ajustadas, intercaladas por ativações não-lineares, foi suficiente para resolver um problema que não pode ser separado por fronteiras lineares. Essa aplicação reforça o papel da Álgebra Linear não apenas como ferramenta matemática, mas como a linguagem na qual as redes neurais são escritas e compreendidas.

Em suma, ela permite que pesquisadores e engenheiros entendam profundamente os mecanismos internos das redes, projetem arquiteturas mais eficientes e desenvolvam novos métodos de aprendizado. Assim, a Álgebra Linear não é apenas um componente do estudo da Inteligência Artificial, mas a base sobre a qual o raciocínio computacional das máquinas é construído.

5. REFERÊNCIAS

BOLDRINI, J. L. et al. *Álgebra Linear*. 3. ed. São Paulo: Harbra, 1986.

NIELSEN, M. A. *Neural Networks and Deep Learning*. Determination Press, 2015.

OpenAlex: Uma base de dados massiva e aberta de trabalhos acadêmicos. Disponível em: https://docs.openalex.org/. Acesso em: 27 set. 2025.

Nature. Harvard Library. Disponível em: https://library.harvard.edu/services-tools/nature. Acesso em: 27 set. 2025.

Código utilizado na demonstração do trabalho. Disponível em: https://github.com/WillianMSilv/AlgebraLinearRedesNeuraisXOR/blob/master/AlgebraLinearRedesNeurais.py. Acesso em: 10 dez. 2025.

13 ESCOLA LIXO ZERO COMO EXEMPLO À COMUNIDADE – POSSIBILIDADES DE TRANSFORMAR O QUE SERIA "LIXO" EM FONTES DE ENERGIA, ECONOMIA E LUCRO

RESUMO

A crescente geração de resíduos sólidos urbanos é um dos principais desafios ambientais enfrentados pelas cidades brasileiras. Conforme Tinoco e Kraemer (2011), o crescimento populacional criou uma demanda de recursos sem precedente, submetendo o meio ambiente a uma agressão que está provocando o declínio de sua capacidade de sustentar a vida.

Os resíduos de alimentos gerados pelo refeitório - que podem ser reaproveitados como insumos para a horta - assim como descartes de embalagens utilizadas no dia a dia da escola (embalagens plásticas de limpeza, suco, material de higiene), podem ser separadas e vendidas (como os alunos o fizeram para registrar durante a pesquisa como "amostragem" da realidade da cidade e do país.

Palavras-chave: Resíduos sólidos urbanos; Educação ambiental; Reaproveitamento de resíduos; Sustentabilidade; Coleta seletiva.

João Eduardo da Silva Cheiram[1]; Adriane Aparecida Madrid da Silva[1]; Érick Alexei Coelho de Melo[1]; Geovana Monteiro da Silva[1]; Marília Luiza da Silveira Alves[1]; Pedro Henrique Cassol da Silva[1]; Victor Costa Bonini[1]; Raquel Cristina Estrasulas de Vargas[1]; Rezoni de Fátima Batista Teixeira[1]

1 Colégio Estadual Diva Costa Fachin

ABSTRACT

The increasing generation of urban solid waste represents one of the main environmental challenges faced by Brazilian cities. Population growth and the expansion of consumption have intensified the demand for natural resources, contributing to environmental degradation and reducing the capacity of ecosystems to sustain life. In this context, the present work aims to discuss the importance of waste separation and reuse within the school environment, using as examples food waste generated by the school cafeteria and packaging discarded during daily activities, such as plastic containers from cleaning products, juice, and hygiene materials. Food residues can be reused as inputs for the school garden, while recyclable packaging can be separated and sold, promoting selective collection and environmental awareness among students. The activity also allowed students to record and analyze a sample of the local reality, relating the school context to broader waste management challenges faced by cities and the country. Therefore, the study highlights the relevance of environmental education as a strategy to encourage sustainable practices, responsible consumption, and the proper management of solid waste.

Keywords: Urban solid waste; Environmental education; Waste reuse; Sustainability; Selective collection.

1. INTRODUÇÃO

Tinoco e Kramer dizem que as empresas têm o dever de identificar custos na destinação final do descarte que produz, tal ato não deveria deixar o nicho da educação de fora. Para eles a gestão de sustentabilidade envolve setor público, sociedade e empresas privadas e o resíduo o ponto principal desta gestão tripla. Defendem a transparência e evidenciação por meio de publicações de dados em relação a geração e mitigação, permitindo que a comunidade e governo acompanhem as ações.

O desafio se dá a medida que a crescente geração de resíduos exige uma resposta das organizaçãoes/escola que precisam, além de seguir produzindo bens/educando/ oferecendo serviços, incorporar responsabilidades social e ambiental para garantir a continuidade do bem-estar.

De acordo com dados da COMLURB[1], cada brasileiro produz cerca de 1,5 kg de lixo por dia, e apenas 8,3% dos resíduos urbanos são reciclados. Em Cachoeira do Sul, conforme dados disponíveis no *site* da Prefeitura Municipal, a coleta seletiva foi retomada em

1 COMLURB - Companhia Municipal de Limpeza Urbana - é a maior organização de limpeza pública na América Latina.

2025, com a instalação de 35 contêineres laranjas em pontos estratégicos, e duas cooperativas que atuam na comercialização dos recicláveis.

Conforme Nunes (2023), considerando esta realidade, a escola se apresenta como espaço privilegiado para a formação de cidadãos conscientes e atuantes, visto que, além de ser um local de reflexão e construção de conhecimento, propicia a disseminação do saber. Sendo assim, o desenvolvimento deste projeto, teve a intenção, a qual foi alcançada, de conscientização dos estudantes no âmbito da Escola Estadual Diva Costa Fachin, no período de abril a novembro com os alunos da turma 202 do ensino médio. Os estudantes reunidos durante as aulas de Língua Portuguesa e de Redação, buscou satisfazer ainda o objetivo de compreender o ciclo de descarte de resíduos, as possibilidades de reaproveitamento destes resíduos e as possibilidades de aplicação dos "5 R's" da sustentabilidade no ambiente escolar.

Desejava-se ainda que os estudantes realmente adotassem o hábito de separar corretamente os descartes e que se tornassem multiplicadores dessa prática, tanto na escola, quanto em casa e na comunidade.

Para tanto, num primeiro momento, foi feita pesquisa bibliográfica em *sites* oficiais como IBGE, Ministério do Meio Ambiente e Prefeitura Municipal, e, em seguida, foi feita observação e registro de como são feitos os descartes, os impactos causados por descartes erroneamente feitos, na vida aquática, no solo e na atmosfera.

Os dados obtidos confirmaram , guardando as proporções, os dados levantados em âmbito nacional, apenas um pequeno percentual do que é descartado realmente é reclicado. O baixo índice (de 4 a 8%) deve-se a falta de conhecimento da forma correta de separação, falta de coleta seletiva efetiva e aqui falta um planejamento do poder público, pois apenas uma empresa privada aceitou efetuar a coleta e a compra do material armazenado, pelos alunos. O volume acumulado , mesmo que em curtos períodos, conforme imagens em anexo, assustava visualmente.

Os alunos propuseram alternativas para o reaproveitamento dos resíduos do refeitório escolar (produção de adubo para hortas escolares, domésticas e comunitárias). Realizaram a coleta, a separação e a venda de materiais recicláveis (pets, papéis e latinhas), em 3 etapas, transformando o que era um problema, em impacto social positivo pois lucraram em torno de RS 120,00.

Por ser um projeto interdisciplinar, os alunos construíram uma maquete representativa da escola que desejam para o futuro: uma escola lixo zero, com coleta e armazenamento da água da chuva, energia gerada por painéis fotovoltaicos, horta, pomar e jardim adubados a partir de composteira abastecida pelos estudantes com resíduos gerados na própria escola.

Por fim, o projeto também estimulou a produção textual, pois os alunos precisaram elaborar objetivos, justificativas e conclusões alinhadas às suas observações e vivências durante o desenvolvimento das atividades.

A divulgação dessa experiência visa sensibilizar outras turmas e escolas, inspirando ações que nos aproximem de uma realidade mais sustentável e integrada à comunidade.

2. REFERÊNCIAS

NUNES, L. C. Educação Ambiental para Sustentabilidade: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável nas Escolas. **Revista Científica FESA**, *[S. l.]*, v. 3, n. 12, p. 91–103, 2023. DOI: 10.56069/2676-0428.2023.355. Disponível em: https://revistafesa.com/index.php/fesa/article/view/355. Acesso em: 4 dez. 2025.

TINOCO, João Eduardo Prudêncio e KRAEMER, Maria Elisabeth Pereira. **Contabilidade e Gestão Ambiental**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

3. ANEXOS

















14 ESTAÇÃO FERROVIÁRIA CONTROLADA E MONITORADA COM ESP32 E APLICATIVO MÓVEL

RESUMO

Este projeto apresenta o desenvolvimento de um sistema de automação aplicado a uma estação ferroviária de pequena escala, com o objetivo de explorar e implementar tecnologias da automação em sistemas de transporte. A estação ferroviária conta com uma locomotiva movida através de um motor de corrente contínua, desvios controlados por bobinas em corrente alternada, sensores infravermelhos distribuídos ao longo da linha ferroviária e pontos de iluminação. O sistema de automação é gerenciado por um microcontrolador ESP-WROOM-32 (ESP32) que possibilita a comunicação via bluetooth com um aplicativo de celular desenvolvido no MIT app inventor. O sistema desenvolvido permite o controle remoto da velocidade e direção da locomotiva, modificação da rota do trem por meio da energização dos desvios, monitoramento em tempo real do deslocamento do trem, bem como, o gerenciamento da iluminação da maquete.

Palavras-chave: Sistema de Automação, Transporte Ferroviário, Mobilidade Inteligente, IoT.

Willian Marques da Silva[1];
Pedro Barbosa Flores[1];
Robson Giambastiani[1];
Celso Becker Tischer[2]

1 Estudante do Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria - Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

2 Coordenadoria acadêmica, Universidade Federal de Santa Maria - Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

ABSTRACT

This project presents the development of an automation system applied to a small-scale railway station, with the objective of exploring and implementing automation technologies in transportation systems. The railway station features a locomotive powered by a direct current motor, switches controlled by alternating current coils, infrared sensors distributed along the railway line, and lighting points. The automation system is managed by an ESP-WROOM-32 (ESP32) microcontroller, which enables Bluetooth communication with a mobile application developed in MIT App Inventor. The developed system allows remote control of the locomotive's speed and direction, modification of the train's route through the activation of the switches, real-time monitoring of the train's movement, as well as management of the model's lighting.

Keywords: Automation System, Railway Transport, Smart Mobility, IoT.

1. INTRODUÇÃO

O transporte via malha ferroviária apresenta um conjunto de características vantajosas na sua utilização, como a capacidade de transportar grandes volumes de carga e o baixo consumo de combustível por tonelada transportada. Porém, por conta do baixo investimento ao longo dos anos, sua logística e gestão acabaram se tornando ultrapassadas (ALVES, E. G., 2020). Todavia, sua estrutura física e operacional viabiliza o estudo e desenvolvimento de projetos na área de automação, abrangendo análise, controle e supervisão de rotas. Além disso, a ferrovia oferece um ambiente para a aplicação de sistemas de monitoramento remoto, automação de tráfego e gerenciamento energético, que podem ser explorados em pesquisas acadêmicas e industriais (FUTURECOM DIGITAL, 2022).

Uma forma de explorar e aplicar conceitos de automação é utilizar sistemas de pequena escala, como o Ferrorama fabricado pela empresa Frateschi (FRATESCHI, 2025). Este sistema é composto por uma locomotiva, vagões, trilhos, desvios e um controlador de direção e velocidade. O controlador dispõe de duas saídas: a primeira é destinada à alimentação do motor de corrente contínua localizado no interior da locomotiva, com tensão ajustável de 0 a 12 Vcc; já a segunda saída fornece uma tensão fixa de 15 Vca, utilizada nos desvios dos trilhos para alteração da rota da locomotiva. Os comandos de direção, velocidade e mudança de desvio são realizados de forma local, o que impossibilita o controle remoto e a integração com sistemas de supervisão, características fundamentais em aplicações industriais e ferroviárias modernas.

Assim, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo ferroviário baseado na modernização do Ferrorama, permitindo o controle remoto da velocidade e da direção da locomotiva, bem como a definição de rotas de deslocamento e o monitoramento em tempo real da movimentação dos vagões. Além disso, o protótipo conta com pontos de iluminação e uma estação ferroviária produzida por meio de impressão 3D.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho foi conduzido a partir de requisitos técnicos previamente estabelecidos, de forma a garantir a modernização funcional do sistema ferroviário em escala reduzida. Inicialmente, verificou-se a necessidade de projetar uma fonte de alimentação capaz de fornecer diferentes tensões para os módulos do sistema, contemplando saídas de 15 Vca para acionamento dos desvios, 12 Vcc para alimentação do motor da locomotiva e do sistema de iluminação, além de 5 Vcc destinados ao microcontrolador responsável pelo processamento e gerenciamento das funções operacionais.

Após, procedeu-se à programação do microcontrolador, que passou a atuar diretamente no controle da velocidade e da direção da locomotiva, na comutação dos desvios da linha ferroviária, na gestão da iluminação e no monitoramento do movimento do trem ao longo do percurso.

Por fim, foi desenvolvido um aplicativo para smartphone (app) com o objetivo de centralizar e facilitar a operação do protótipo. A app permite acessar todas as funcionalidades implementadas, incluindo o controle do deslocamento da locomotiva, a seleção de rotas, o acionamento da iluminação e o acompanhamento em tempo real do movimento dos vagões.

Os materiais e ferramentas utilizadas para construção do protótipo foram:

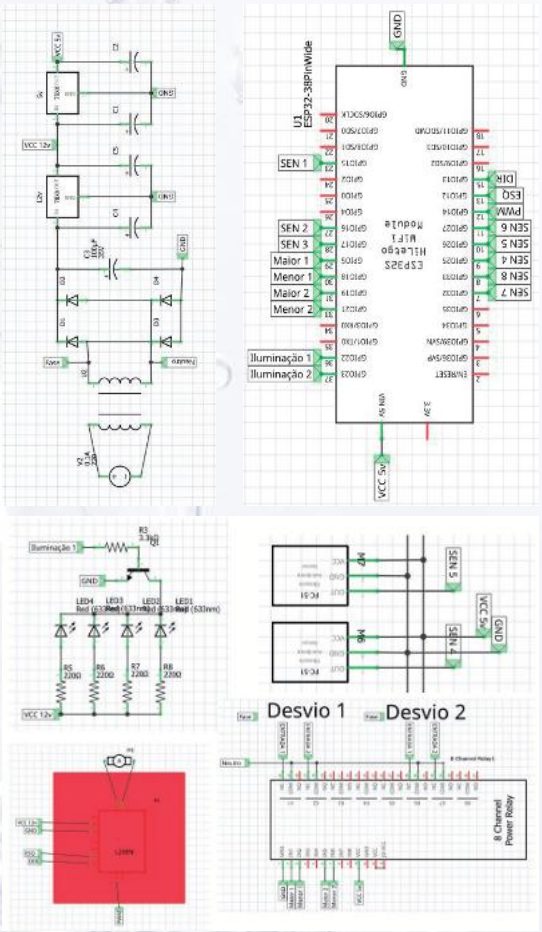
- Maquete de estação ferroviária em pequena escala;
- Transformador rebaixador para 15 Vca
- Reguladores de tensão para 12 Vcc e 5 Vcc
- Microcontrolador ESP-WROOM-32
- Ponte H para acionamento do motor de corrente contínua (controle de velocidade e direção);
- Relés de interfaces para ativação dos desvios (bobinas em corrente alternada).
- Sistema de iluminação da maquete com oito pontos de luz;
- Aplicativo para smartphone desenvolvido em MIT App Inventor, com interface de controle de velocidade, direção, rota (desvios) e iluminação, além de visualização de dados.
- Banco de dados para registro de detecções de sensores infravermelhos, tempos, velocidades estimadas e rotas.

O microcontrolador ESP-32 centraliza a automação onde recebe comandos via Bluetooth do aplicativo e aciona o motor da locomotiva (velocidade e direção), os relés dos desvios (bobinas) e os pontos de iluminação. Paralelamente, o ESP-32 monitora os sensores infravermelhos espalhados pela linha ferroviária registrando em banco de dados os instantes de passagem da locomotiva.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

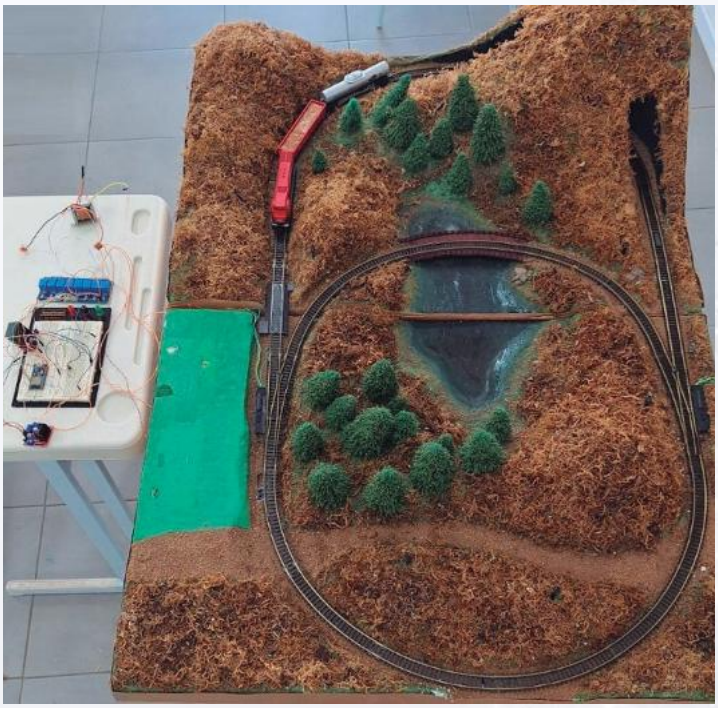
Os resultados obtidos com o desenvolvimento do sistema elétrico foram satisfatórios. A Figura 1 apresenta o esquemático elétrico do sistema e a Figura 2 apresenta o protótipo completo ferroviário. A integração entre sensores, comunicação, controle e interface de usuário alinha-se aos conceitos de Indústria 4.0, IoT e automação em transportes. A maquete representa uma plataforma de prototipagem de baixo custo que pode ser expandida para cenários mais complexos.

Figura 1: Esquemático elétrico



Fonte: Autores

Figura 2: Maquete do sistema ferroviário.



Fonte: Autores

4. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um sistema de automação para uma estação ferroviária de pequena escala, integrando controle remoto da locomotiva, acionamento de desvios, monitoramento de posição/velocidade via sensores infravermelhos, comunicação via ESP-32/ Bluetooth com aplicativo no MIT App Inventor, armazenamento de dados e controle de iluminação. Os objetivos de estudo foram alcançados com a implementação de tecnologias de automação, IoT e monitoramento em tempo real, servindo como plataforma experimental para formação e pesquisa. Para trabalhos futuros destacam-se: escalonamento para múltiplas locomotivas e tráfego concorrente; introdução de sensores adicionais; uso de protocolos de comunicação industrial ou rede sem fio de alta confiabilidade; integração de algoritmos de inteligência artificial para manutenção preditiva ou otimização de rotas; incorporação de camadas de segurança cibernética e conformidade com normas aplicáveis.

5. REFERÊNCIAS

ALVES, E. G. de C.; RAMOS, R. B. da S.; SILVA, C. R. Transporte ferroviário no Brasil: desafios e oportunidades. Revista Conecta, FATEC Rubens Lara, 2020.

FUTURECOM DIGITAL. "Inovações que transformam o negócio de ferrovias". Disponível em: https://digital.futurecom.com.br/artigos/inovacoes-que-transformam-o-negocio-de-ferrovias/ Acesso em 2025.

FRATESCHI. *Trem Elétrico – Frateschi*. Disponível em: https://www.frateschi.com.br/site/trem-eletrico-frateschi/. Acesso em: 28 out. 2025.

ESPRESSIF SYSTEMS. *ESP-WROOM-32*. Disponívelem: https://www.espressif.com/en/products/modules/esp-wroom-32. Acesso em: 28 out. 2025.

NILSSON, J. W.; RIEDEL, S. A. Circuitos Elétricos. ed. 6, LTC.

15 JOGOS MATEMÁTICOS E AVALIAÇÃO EXTERNA: PERCEPÇÃO DOCENTES E POTENCIALIDADES PEDAGÓGICAS

RESUMO

O estudo analisa as percepções de professores da rede municipal de Cachoeira do Sul sobre o uso de jogos matemáticos como estratégia pedagógica no Ensino Fundamental Anos Finais, com foco em seu potencial para desenvolver competências avaliadas pelo Sistema de Avaliação da Educação Básica (SAEB). De abordagem quantitativa, a pesquisa baseou-se na oficina "Jogos Matemáticos para o SAEB: Práticas Lúdicas no Ensino da Matemática", promovida pela Universidade Federal de Santa Maria - Campus Cachoeira do Sul em parceria com a Secretaria Municipal de Educação. Dos 30 docentes participantes, 21 responderam ao questionário aplicado após a formação. Os resultados indicam percepções positivas sobre a relevância e aplicabilidade dos jogos, ressaltando seu papel no engajamento dos alunos, no raciocínio lógico e na aprendizagem significativa. Apesar de limitações como falta de tempo e recursos, os professores mostraram-se dispostos a adotar essas metodologias, evidenciando que, aliadas à formação continuada, são eficazes para aprimorar o ensino e melhorar o desempenho em avaliações externas.

Palavras-chave: Jogos matemáticos; ensino da matemática; SAEB; formação continuada; ensino fundamental.

Geovanne Carlos Teles da Silveira[1];
Lucinéia Fabris[2];
Ana Luisa Soubhia[3];
Deise Maria Cirolini Milbradt[3];
Mariana Vieira Coronas[3]

1 Acadêmico do Curso de Engenharia de Transportes e Logística da Universidade Federal de Santa Maria - Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.
2 Orientadora, Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.
3 Co-autora, Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

ABSTRACT

The study analyzes the perceptions of municipal school teachers from Cachoeira do Sul regarding the use of mathematical games as a pedagogical strategy in lower secondary education, focusing on their potential to develop competencies assessed by the Basic Education Evaluation System (SAEB). With a quantitative approach, the research was based on the workshop "Mathematical Games for SAEB: Playful Practices in Mathematics Teaching," promoted by the Federal University of Santa Maria - Cachoeira do Sul Campus in partnership with the Municipal Department of Education. Of the 30 participating teachers, 21 answered the post-training questionnaire. The results indicate positive perceptions of the relevance and applicability of games, emphasizing their role in student engagement, logical reasoning, and meaningful learning. Despite limitations such as lack of time and resources, teachers expressed willingness to adopt these methodologies, showing that, combined with continuing education, they effectively enhance teaching and improve performance in external assessments.

Keywords: Mathematical games; mathematics teaching; SAEB; continuing education; elementary education.

1. INTRODUÇÃO

A busca por estratégias pedagógicas que articulem o ensino da matemática às competências avaliadas em sistemas como o Sistema de Avaliação da Educação Básica (SAEB) e o SAERS, Sistema de Avaliação do Rendimento Escolar do Rio Grande do Sul, tem impulsionado iniciativas de formação continuada voltadas à inovação docente. Nesse contexto, o uso de jogos matemáticos surge como uma abordagem promissora, capaz de tornar o aprendizado mais significativo, engajador e alinhado às demandas curriculares. Este trabalho tem como objetivo analisar as percepções de professores da rede municipal de ensino de Cachoeira do Sul sobre o uso de jogos matemáticos como estratégia pedagógica no Ensino Fundamental Anos Finais, com ênfase em sua aplicabilidade para o desenvolvimento das competências avaliadas no SAEB. Para tanto, apresentam-se os resultados de uma oficina formativa realizada com docentes da rede, cujo propósito foi discutir e experimentar práticas lúdicas voltadas ao ensino de conteúdos matemáticos. A partir da análise das percepções dos participantes, busca-se compreender o potencial dessas estratégias para a melhoria das práticas pedagógicas e dos indicadores educacionais locais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A formação continuada de professores é um processo essencial para o fortalecimento e o aprimoramento das práticas pedagógicas, permitindo ao docente refletir sobre sua atuação e incorporar novas metodologias. Para Silva (2024), investir nessa formação é uma forma de promover o desenvolvimento profissional e contribuir para a melhoria da qualidade da educação, assumindo um papel estratégico na consolidação de um ensino de qualidade.

Nesse sentido, a utilização de jogos no ensino da Matemática tem se mostrado uma ferramenta eficaz para promover a aprendizagem de forma lúdica e significativa. O planejamento cuidadoso da aplicação de jogos, considerando os objetivos da turma, é fundamental para que a interação aluno-professor favoreça a aprendizagem (Gomes et al., 2022). A formação continuada torna-se, assim, indispensável para capacitar o professor a planejar tais atividades com precisão. De acordo com Silva et al. (2022), ao propor jogos, o professor deve ter propósitos bem definidos, compreendendo suas conexões com os conceitos abstratos da disciplina. Bezerra et al. (2022) acrescentam que os jogos permitem que o educando interaja com o conhecimento e compare suas respostas com as dos colegas, favorecendo o pensamento lógico-matemático.

A relação entre essa prática e os sistemas de avaliação é evidente. O Sistema de Avaliação da Educação Básica (SAEB), realizado pelo Inep, é aplicado a cada dois anos e permite um diagnóstico da educação básica brasileira, subsidiando políticas educacionais. Em âmbito estadual, o Sistema de Avaliação do Rendimento Escolar do Rio Grande do Sul (SAERS) avalia anualmente o desempenho em Língua Portuguesa e Matemática. A utilização de metodologias lúdicas, como os jogos, pode contribuir para o desenvolvimento das competências avaliadas por esses sistemas, especialmente em Matemática, refletindo em avanços nos resultados educacionais.

3. METODOLOGIA

Este estudo adota uma abordagem predominantemente quantitativa, com o objetivo de analisar as percepções de professores da rede municipal de ensino de Cachoeira do Sul sobre o uso de jogos matemáticos no Ensino Fundamental Anos Finais, e contou com a participação de 30 professores, nem todos da área de matemática. Os dados foram coletados por meio de um questionário aplicado após a realização da oficina "Jogos Matemáticos para o SAEB: Práticas Lúdicas no Ensino da Matemática", promovida pela Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, em parceria com a Secretaria Municipal de Educação (SMED). O evento ocorreu em 12 de setembro de 2025, das 08h15 às 11h45, nas dependências do campus da UFSM em Cachoeira do Sul. A oficina teve como objetivo apresentar e discutir estratégias lúdicas e sustentáveis

para o ensino da matemática, com foco em conteúdos e competências avaliados pelo Sistema de Avaliação da Educação Básica (SAEB), tais como operações, frações, geometria e resolução de problemas. A atividade integrou teoria e prática por meio de jogos pedagógicos, visando estimular o raciocínio lógico e a melhoria do desempenho em avaliações externas. A iniciativa está vinculada aos seguintes projetos de extensão da UFSM: Jogos Matemáticos Sustentáveis: Inovação com Impressão 3D e Materiais Alternativos no Ensino de Matemática; Educação Sustentável Integrada: Semear Conhecimento para Transformar Realidades; Ações e Práticas Sustentáveis na Educação Ambiental; e Da Ideia à Apresentação: Suporte Técnico e Pedagógico para a Feira de Ciências, Tecnologia e Inovação.

A coleta de dados ocorreu a partir de um questionário online, disponibilizado por meio da plataforma Google Forms. O questionário foi composto majoritariamente por perguntas fechadas, voltadas à avaliação da experiência formativa vivenciada na oficina, foi obtido uma taxa de resposta de 70%.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados coletados após a oficina de formação indicam percepções amplamente positivas dos 21 professores participantes da rede municipal de Cachoeira do Sul. A maioria possui ampla experiência docente: 18 atuam há mais de dez anos e 17 há mais de uma década na rede. Predomina a formação em Matemática (13), mas também participaram professores de Pedagogia (6), Letras (2), Ciências Biológicas (1) e Educação do Campo (1), sendo 19 deles pós-graduados lato sensu.

Quanto à oficina, 19 docentes consideraram os conteúdos “muito claros, relevantes e úteis”, e a grande maioria ampliou seu repertório de estratégias com jogos. A dimensão prática foi valorizada: 17 avaliaram a oficina como “muito” interativa. Todos se sentiram capazes, em grau “muito” ou “moderadamente”, de utilizar jogos nas aulas, e 19 acreditam que essas práticas aumentam fortemente o engajamento e motivação dos alunos.

Apesar de a maioria já usar jogos ocasionalmente (12) ou com frequência (9), barreiras estruturais foram apontadas: falta de tempo (9), escassez de materiais (8), turmas numerosas, resistência de alunos e falta de apoio da gestão, sugerindo que as limitações são organizacionais, não conceituais.

Quanto ao impacto nas avaliações externas, 15 professores acreditam que os jogos podem melhorar os resultados do SAEB/SAERS, sendo dez enfáticos. Apenas dois se mostraram incertos. Por fim, houve forte interesse em continuidade formativa, com demanda por elaboração de jogos adaptados, intervenções para alunos com dificuldades e gestão de sala com atividades lúdicas, indicando busca por aprofundamento prático e suporte institucional.

Em síntese, a oficina foi percebida como significativa, fortalecendo a confiança docente, alinhando práticas pedagógicas às demandas curriculares e de avaliação, e promovendo transformações concretas no ensino da matemática no fundamental II.

5. CONCLUSÕES

Os resultados desta pesquisa evidenciam que a oficina "Jogos Matemáticos para o SAEB: Práticas Lúdicas no Ensino da Matemática" foi amplamente valorizada pelos professores participantes, tanto em seus aspectos teóricos quanto práticos. Ao analisar as percepções dos docentes da rede municipal de Cachoeira do Sul sobre o uso de jogos matemáticos como estratégia pedagógica nos Ensino Fundamental Anos Finais — com ênfase em sua aplicabilidade ao desenvolvimento das competências avaliadas no SAEB —, constatou-se que a formação fortaleceu a convicção de que esses recursos, quando utilizados com intencionalidade pedagógica, são eficazes para o ensino da Matemática, o engajamento dos estudantes e a preparação para avaliações externas. Apesar das barreiras estruturais identificadas — como falta de tempo e de materiais —, os docentes demonstraram disposição para incorporar essas práticas em suas aulas e expressaram demanda por formação continuada nessa área. Assim, reforça-se a importância de políticas educacionais que articulem universidade, secretarias de educação e escolas na promoção de formações contínuas, contextualizadas e sustentáveis, capazes de transformar positivamente o ensino da Matemática na educação básica.

6. REFERÊNCIAS

SILVA, Luciano Ferreira. A formação continuada de professores da educação básica no brasil: realidades e necessidades. **Revista OWL (OWL Journal) - Revista Interdisciplinar de Ensino e Educação**, Campina Grande, Vol. 2, n. 1, p. 221-233, Jan. 2024. Disponível em: https://www.revistaowl.com.br/index.php/owl/article/view/142. Acesso em: 15 out. 2025.

GOMES, Maria Clara Dari et al. Jogos matemáticos como ferramenta de aprendizagem. **Extensão em Foco**, *[S. l.]*, n. 27, 2022. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/extensao/article/view/80668 . Acesso em: 16 out. 2025.

DOS SANTOS SILVA, Bruno Henrique Macêdo; SILVA, Arthur Lucas da; DE OLIVEIRA, Elinelson Gomes; LIRA, Lidianne Leite e; PONTES, Edel Alexandre Silva. Jogos Matemáticos como Ferramenta Educacional Lúdica no Processo de Ensino e Aprendizagem da Matemática na Educação Básica. **Rebena - Revista Brasileira de Ensino e Aprendizagem**, *[S. l.]*, v. 4, p. 246–254, 2022. Disponível em: https://rebena.emnuvens.com.br/revista/article/view/59. Acesso em: 16 out. 2025.

BEZERRA, Débora de Jesus et al. Jogos matemáticos e materiais manipuláveis: contribuições significativas no desenvolvimento dos blocos de conteúdos de matemática no ensino fundamental II. *In*: SIEBERT, Paloma Rodrigues et al. (Orgs.). **Educação e ensino de ciências e matemática: pesquisa,**

aplicação e novas tendências. Guarujá: Editora Científica Digital, 2022. p. 193–203. Disponível em: https://www.editoracientifica.com.br/books/chapter/jogos-matematicos-e-materiais-m anipulaveis--contribuicoes-significativas-no-desenvolvimento-dos-blocos-de-conteudo s-de-matematica-no-ensino--fundamental-ii. Acesso em: 16 out. 2025.

BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). SAEB — Sistema de Avaliação da Educação Básica. Disponível em: https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de--atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/sa eb. Acesso em: 14 out. 2025.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Educação. SAERS — Sistema de Avaliação do Rendimento Escolar do Rio Grande do Sul. Disponível em: https://educacao.rs.gov.br/saers-sistema-de-avaliacao-do--rendimento-escolar-do-rio-grande-do-sul. Acesso em: 14 out. 2025.

16 CRESCIMENTO DA FROTA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL E PERSPECTIVAS FUTURAS PARA A GESTÃO DE BATERIAS DE ÍON-LÍTIO

RESUMO

O crescimento acelerado da frota de veículos elétricos no Brasil, impulsionado pela busca por soluções sustentáveis e pela redução de emissões, traz consigo novos desafios relacionados à gestão das baterias ao final de sua vida útil. Este artigo analisa o cenário atual da frota nacional com base em dados do Ministério dos Transportes e de outras fontes oficiais, destacando os principais tipos de veículos e tecnologias predominantes, especialmente as baterias de íon-lítio. A partir desses dados, são apresentadas projeções sobre o volume potencial de baterias que poderão ser descartadas nos próximos anos, considerando a vida útil média do componente. O estudo discute ainda as oportunidades e desafios para o país no desenvolvimento de políticas públicas, infraestrutura de reciclagem e estratégias de reutilização energética.

Palavras-chave: Veículos elétricos; Baterias de íon-lítio; Reciclagem; Sustentabilidade; Mobilidade elétrica.

Eduarda Nunes Adolpho[1];
Vanessa Teresinha Alves[2];
Paula Donaduzzi Rigo[2]

1 Curso de Engenharia de Transportes e Logística, Universidade Federal de Santa Maria, Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil

2 Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil

ABSTRACT

The rapid growth of the electric vehicle fleet in Brazil, driven by the pursuit of sustainable solutions and emissions reduction, brings new challenges related to battery management at the end of their life cycle. This article analyzes the current national fleet scenario, based on data from the Ministry of Transport and other official sources, highlighting the main types of vehicles and predominant technologies, especially lithium-ion batteries. Based on these data, projections are presented on the potential volume of batteries that may be discarded in the coming years, considering the average lifespan of this component. The study also discusses the opportunities and challenges for the country in developing public policies, recycling infrastructure, and energy reuse strategies.



Keywords: Electric vehicles; Lithium-ion batteries; Recycling; Sustainability; Electric mobility.

1. INTRODUÇÃO

O setor de transportes é um dos principais responsáveis pelas emissões globais de dióxido de carbono (CO_2), respondendo por cerca de 22% das emissões relacionadas à energia, especialmente nos modais rodoviários.[1] Nesse contexto, a mobilidade elétrica surge como alternativa essencial para reduzir impactos ambientais e promover maior eficiência energética. Os avanços tecnológicos nas baterias de íon-lítio e a queda dos custos de produção têm impulsionado a expansão dos veículos elétricos (VEs) no mundo. Em 2024, eles representaram aproximadamente 20% das vendas globais de automóveis, embora ainda componham apenas 4% da frota mundial.[2]

A logística reversa pode ser definida como o conjunto de processos responsáveis pelo planejamento, operação e controle do fluxo de produtos, materiais e informações no sentido pós-consumo ou pós-venda, partindo do usuário final até o retorno ao ciclo produtivo ou à destinação ambientalmente adequada.[3] Tal abordagem busca recuperar valor econômico, reduzir impactos ambientais e atender a requisitos legais associados à gestão de resíduos.

No contexto das baterias de veículos elétricos, a logística reversa assume papel estratégico, uma vez que tais sistemas apresentam elevado valor agregado, contêm materiais críticos e possuem potencial de reaproveitamento ao final da vida útil automotiva.[4] A aplicação da logística reversa nesse cenário envolve atividades como coleta, transporte, diagnóstico de estado de saúde, reuso em aplicações estacionárias, remanufatura e reciclagem, contribuindo para a economia circular e para a mitigação de impactos ambientais associados ao descarte inadequado.[5]

O investimento global em transporte eletrificado alcançou 466 bilhões de dólares em 2022, refletindo a consolidação dessa transição.[6] No Brasil, entretanto, a adoção ocorre de forma mais lenta, devido à infraestrutura limitada e à ausência de políticas específicas.[7] Diante desse cenário, este artigo busca analisar o crescimento da frota elétrica nacional e estimar o volume futuro de baterias que chegarão ao fim da vida útil, destacando a importância da logística reversa e da economia circular em uma transição energética sustentável.

2. METODOLOGIA

A metodologia deste estudo apresenta abordagem quantitativa e objetivo exploratório, com o objetivo de analisar a evolução e a distribuição geográfica dos veículos elétricos no Brasil entre 2024 e 2025. O caráter quantitativo permitiu examinar dados numéricos e identificar tendências, enquanto o enfoque exploratório foi adotado pela natureza recente e dinâmica da mobilidade elétrica no país. Os dados foram obtidos de fontes secundárias oficiais, como o Ministério dos Transportes, a Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE)[8] e a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL),[2] abrangendo o número de veículos elétricos e híbridos emplacados por estado. Após a coleta, as informações foram organizadas em planilhas eletrônicas por unidade federativa e tipo de veículo, priorizando automóveis e utilitários leves. Essa estruturação possibilitou a criação de gráficos comparativos que evidenciam a distribuição da frota nas principais regiões do país, com destaque para São Paulo, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul e Distrito Federal.

3. PANORAMA ATUAL DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL

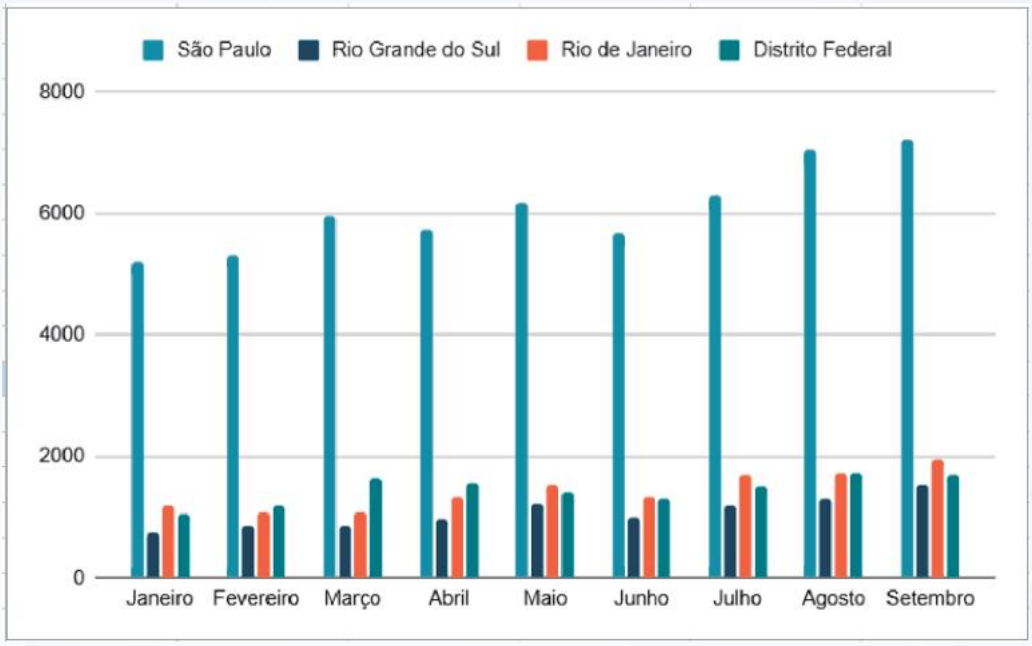
A eletromobilidade tem se consolidado como um dos principais eixos da transição energética no setor de transportes brasileiro. Embora a frota nacional ainda dependa majoritariamente de combustíveis fósseis, o número de VEs e híbridos cresce de forma acelerada.[7] Segundo dados de 2022 da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), o país já ultrapassou 200 mil veículos eletrificados em circulação, acompanhando a tendência global impulsionada por metas de descarbonização e incentivos à mobilidade sustentável.[1]

De acordo com a ABVE,[8] o crescimento da frota elétrica superou 60% em relação a 2023, impulsionado pela ampliação da oferta de modelos, maior conscientização ambiental e políticas estaduais de incentivo. Também se destaca o interesse crescente de frotas corporativas e aplicativos de transporte na substituição de veículos a combustão, buscando reduzir custos e emissões.[1]

Apesar do avanço, a distribuição ainda é concentrada em poucos estados, como São Paulo, Rio de Janeiro, Distrito Federal e Rio Grande do Sul, que se destacam pela infraestrutura de recarga e incentivos fiscais. A Figura 1 apresenta a evolução do número de VEs

emplacados em 2025 nessas regiões, com base em dados do Ministério dos Transportes (2025), evidenciando a tendência de crescimento contínuo da mobilidade elétrica no país.

Figura 1 - Quantidade de veículos elétricos emplacados em 2025



Fonte: Ministério dos Transportes.[9] Elaborado pelos autores.

A análise da Figura 1 evidencia que o estado de São Paulo lidera o número de emplacamentos de VEs, ultrapassando seis mil unidades em 2025, seguido pelo Distrito Federal, que também apresenta crescimento expressivo. Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul registram volumes menores, mas com tendência de alta, sinalizando que a eletrificação começa a alcançar outras regiões do país, como ocorre em diversas economias em desenvolvimento.[9]

O Brasil encontra-se em um estágio intermediário da transição para uma frota mais limpa, ainda com predominância de veículos híbridos leves e *plug-in*, mas com aumento gradual dos modelos totalmente elétricos. As baterias de íon-lítio dominam o mercado nacional, devido à elevada densidade energética e à redução dos custos, embora tragam preocupações quanto ao futuro descarte e reaproveitamento, considerando a vida útil média entre oito e dez anos.[10]

A expansão da frota elétrica impõe desafios à infraestrutura de recarga, que permanece concentrada nas capitais do Sudeste e do Sul. A falta de padronização e os altos custos de instalação dificultam a ampliação da rede, o que pode limitar o ritmo de adoção nacional. Diante disso, torna-se essencial o avanço de políticas públicas voltadas à logística reversa e à reciclagem, já que o país enfrentará um aumento expressivo de baterias em fim de vida na próxima década.[10] Compreender o panorama atual da mobilidade elétrica, portanto, é indispensável para planejar o futuro da gestão de resíduos tecnológicos e fortalecer a transição para um sistema de transporte ambientalmente sustentável.

4. CONCLUSÕES

A expansão da mobilidade elétrica no Brasil representa um avanço importante na busca por um transporte mais limpo, porém traz desafios significativos quanto ao destino das baterias ao final de sua vida útil. As baterias de íon-lítio, amplamente utilizadas, demandam processos específicos de coleta, transporte e reciclagem para evitar impactos ambientais e riscos de contaminação. Nesse contexto, a logística reversa surge como elemento essencial da economia circular, pois possibilita o retorno de materiais valiosos à cadeia produtiva e reduz a extração de novos recursos. Apesar de avanços pontuais, o Brasil ainda carece de infraestrutura adequada e de políticas públicas mais robustas para lidar com o aumento previsto de baterias inativas nas próximas décadas, o que exige planejamento estratégico e cooperação entre governo, setor privado e instituições de pesquisa.

Além de mitigar impactos ambientais, a logística reversa apresenta potencial econômico e tecnológico ao incentivar o reaproveitamento de componentes e a reciclagem de metais de alto valor, fomentando novas cadeias produtivas e oportunidades de inovação. A integração desse processo à mobilidade elétrica requer soluções logísticas especializadas, com transporte seguro, centros regionais de coleta e mecanismos de rastreabilidade eficientes. Assim, a sustentabilidade da mobilidade elétrica depende de uma abordagem sistêmica que une engenharia, políticas públicas e gestão de resíduos. O fortalecimento da infraestrutura e o incentivo à economia circular serão determinantes para que o avanço tecnológico se traduza em um modelo de transporte verdadeiramente sustentável e alinhado às metas ambientais globais.

5. REFERÊNCIAS

1. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Global EV outlook 2024*. Paris: IEA, 2024. Disponível em: https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024. Acesso em: 20 out. 2025.

2. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Panorama da eletromobilidade no Brasil*. Brasília: ANEEL, 2024.

3. LEITE, P. R. *Logística reversa: meio ambiente e competitividade*. São Paulo: Pearson Education, 2003.

4. ROGERS, D. S.; TIBBEN-LEMBKE, R. S. *Going backwards: reverse logistics trends and practices*. Pittsburgh: Reverse Logistics Executive Council, 1999.

5. GAINES, L. The future of automotive lithium-ion battery recycling: charting a sustainable course. *Sustainable Materials and Technologies*, Amsterdam, v. 1–2, p. 2–7, 2014.

6. BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE. *Electrified transport spending soars as transition rolls on*. New York: BloombergNEF, 2023. Disponível em: https://about.bnef.com/insights/clean-transport/electrified-transport-spending-soars-transition-rolls-on/. Acesso em: 30 out. 2025.

7. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. *Anuário da indústria automobilística brasileira*. São Paulo: ANFAVEA, 2022.

8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO. *Eletrificados superam previsões, passam de 170 mil e batem todos os recordes em 2024*. Disponível em: https://abve.org.br/eletrificados-superam-previsoes-passam-de-170-mil-e-batem-todos-os-recordes-em-2024/. Acesso em: 18 out. 2025.

9. BRASIL. Ministério dos Transportes. *Dados de veículos emplacados no Brasil*. Disponível em: https://www.gov.br/transportes/. Acesso em: 28 nov. 2025.

10. MARTINS, D.; FERREIRA, C. Infraestrutura de recarga para veículos elétricos no Brasil: desafios técnicos e regulatórios. *Revista Energia e Mobilidade*, v. 4, n. 1, p. 23–40, 2022.

17 EXPLORANDO A OTIMIZAÇÃO ESTOCÁSTICA: CADEIAS DE MARKOV, ENTROPIA E O ALGORITMO DE METROPOLIS-SIMULATED ANNEALING

RESUMO

Este trabalho investiga o papel das cadeias de Markov em algoritmos de otimização estocástica, com destaque para o algoritmo de Metropolis e o método de *Simulated Annealing*. Esses algoritmos utilizam princípios probabilísticos para escapar de mínimos locais e explorar eficientemente espaços de busca complexos. A abordagem é analisada sob a perspectiva da Teoria da Informação, destacando como o conceito de entropia de Shannon fundamenta a escolha da distribuição de Boltzmann e o Princípio da Máxima Entropia. Ao conectar fundamentos estatísticos, físicos e informacionais, o estudo evidencia a relevância dessas técnicas na busca de soluções globais em problemas de otimização.

Palavras-chave: Teoria da Informação, cadeias de Markov, algoritmo de *Metropolis, Simulated Annealing*.

Vanessa Neumann[1];
Maria Eliza Castro[1];
Rodrigo Marinho[2];
Lucas Sartor[1]

1 Curso de Bacharelado em Estatística, Universidade Federal de Santa Maria, Campus Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

2 Departamento de Estatística, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Campus Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

ABSTRACT

This study investigates the role of Markov chains in stochastic optimization algorithms, focusing on the Metropolis algorithm and the Simulated Annealing method. These algorithms leverage probabilistic principles to escape local minima and efficiently explore complex search spaces. The approach is analyzed through the lens of Information Theory, emphasizing how Shannon entropy underpins the Boltzmann distribution and the Maximum Entropy Principle. By connecting statistical, physical, and informational foundations, this work highlights the relevance of these techniques in finding global solutions to optimization problems.



Keywords: Information Theory, Markov Chains, Metropolis algorithm, Simulated Annealing.

Agradecimentos: V. Neumann agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica, bolsa 159905/2025-7. M. Castro, R. Marinho e L. Sartor agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul pelo apoio financeiro através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e através da bolsa 25/2551-0000934-0 (ARC).

1. INTRODUÇÃO

Em muitos problemas nas áreas de física estatística, machine learning e otimização combinatória, pode ser necessário gerar amostras que sigam uma dada distribuição de probabilidade sobre um conjunto de estados . Geralmente, é definida sobre um espaço imenso, tornando inviável somar sobre todos os estados.

O desafio é gerar amostras que sigam . Se for possível construir uma cadeia de Markov irredutível e aperiódica com distribuição estacionária , então, para grande, as amostras de se comportam como se viessem de . O método de Monte Carlo para cadeias de Markov (MCMC) transforma a amostragem em um processo dinâmico de transições guiado por uma distribuição-alvo. Assim, não é necessário explorar todas as configurações, apenas gerar amostras representativas. A seguir, explicaremos os algoritmos de *Metropolis* e *Simulated Annealing.*

2. ALGORITMO DE METROPOLIS

Considere um espaço de estados χ e uma distribuição alvo π sobre χ. O algoritmo de Metropolis constrói uma cadeia de Markov cuja matriz de transição utiliza dois compo-

nentes: um mecanismo de proposta irredutível $\Psi(x,y)$, que sugere uma transição $x \to y$, e uma probabilidade de aceitação $\alpha(x,y)$ para quaisquer $x,y \in \chi$. Para $x \neq y$, a probabilidade de transição é dada por

$$P(x,y)=\Psi(x,y)\,\alpha(x,y).$$

O objetivo é garantir que π seja a distribuição estacionária da cadeia. Para isso, impõe-se a condição de reversibilidade dada pela equação de balanço detalhado

$$\pi(x)P(x,y)=\pi(y)P(y,x), \qquad \forall\, x \neq y,$$

de modo que, no equilíbrio, o fluxo de probabilidade de x para y seja igual ao fluxo de y para x. Para satisfazer a equação acima, podemos, por exemplo, tomar a probabilidade de aceitação canônica

$$\alpha(x, y) = min\left\{1, \frac{\pi(y)\,\Psi(y,x)}{\pi(x)\,\Psi(x,y)}\right\}$$

Note que se Ψ for simétrica, fica claro que α favorece os estados em que π atribui maior massa.

Agora considere localizar os mínimos globais de uma função f definida em um domínio X. Uma opção é mover-se de um estado x para um vizinho y sempre que $f(y)<f(x)$. Entretanto, tal estratégia é suscetível a ficar presa em mínimos locais, incapaz de explorar regiões do espaço onde valores inferiores possam existir.

Uma forma de mitigar esse problema é permitir que, com alguma probabilidade, o algoritmo aceite movimentos para estados com valores maiores de f. Essa ideia pode ser formalizada por meio do algoritmo de Metropolis.

Suponha que X é o domínio da função f. Fixando $\lambda \geq 1$, define–se a distribuição

$$\pi_\lambda(x) = \frac{\lambda^{-f(x)}}{Z(\lambda)},$$

onde Z é a constante de normalização que garante que π_λ seja uma medida de probabilidade.

Seja $f^* = \min_{y \in \chi} \{f(y)\}$. Consideremos o seguinte algoritmo: se $f(y) \leq f(x)$ então a cadeia de Metropolis sempre aceita a transição $x \to y$; se $f(y)>f(x)$, então a cadeia de Metropolis aceita a transição $x \to y$ com probabilidade $_\lambda(f(x)\text{-}f(y))$. Definamos

$$\chi^* = \{x \in \chi\,;\, f(x) = f^*\}.$$

Então,

$$\pi_\lambda(x) = \frac{\lambda^{-f(x)}}{\sum_{z \in \chi} \lambda^{-f(z)}} = \frac{\lambda^{-(f(x)-f^*)}}{\sum_{z \in \chi} \lambda^{-(f(z)-f^*)}} = \frac{\lambda^{-(f(x)-f^*)}}{\sum_{z \in \chi^*} \lambda^{-(f(z)-f^*)} + \sum_{z \in \chi \setminus \chi^*} \lambda^{-(f(z)-f^*)}}$$
$$= \frac{\lambda^{-(f(x)-f^*)}}{\sum_{z \in \chi^*} 1 + \sum_{z \in \chi \setminus \chi^*} \lambda^{-(f(z)-f^*)}} = \frac{\lambda^{-(f(x)-f^*)}}{|\chi^*| + \sum_{z \in \chi \setminus \chi^*} \lambda^{-(f(z)-f^*)}}.$$

Logo,

$$\lim_{\lambda\to\infty} \pi_\lambda(x) = \frac{1_{\{x\in\chi^*\}}}{|\chi^*|}.$$

Isto é, à medida que $\lambda\to\infty$, a distribuição estacionária π_λ desta cadeia de Metropolis converge para a distribuição uniforme sobre os mínimos globais de f.

A distribuição π_λ é conhecida como distribuição de Boltzmann, mas é normalmente definida tomando $\lambda=e^{1/T}$ com $T>0$ (ou $\lambda=e^{\beta}$ com $\beta>0$). O parâmetro T (respectivamente β) costuma ser associado à temperatura (respectivamente ao inverso da temperatura). Por essa razão, denotaremos a distribuição de Boltzmann por π_{f_T}.

Utilizaremos entropia de Shannon para justificar a escolha da distribuição de Boltzmann. Este conceito foi introduzido por Ludwig Boltzmann na termodinâmica, mostrando que a entropia pode apenas aumentar à medida que o sistema evolui ao longo do tempo. Mais tarde, em 1948, Claude Shannon introduziu a entropia no mundo da Teoria da Informação, onde é considerada uma medida da "quantidade de incerteza" inerente a uma distribuição de probabilidade. Ela quantifica o quão incertos estamos sobre o valor de uma variável aleatória ou, de forma equivalente, a quantidade de informação que ganhamos ao observar esse valor. A entropia de Shannon de uma variável aleatória discreta com distribuição de probabilidade é definida por

$$H(X) = -\sum_{x\in\chi} \mu(x)\log\mu(x).$$

É comum associar a entropia de Shannon à distribuição μ ao invés da variável aleatória X, definindo-a por $H(\mu)=H(X)$.

Consideremos um conjunto de distribuições de probabilidade que concentrem massa nos pontos de mínimos globais da função f que queremos minimizar. Como a entropia de Shannon quantifica a incerteza inerente a uma distribuição de probabilidade, escolhemos a distribuição que possua a maior entropia, pois essa evita introduzir qualquer suposição adicional além da informação disponível (Princípio da Máxima Entropia). Como pode-se ver no resultado a seguir, a distribuição de Boltzmann é escolha ideal.

Teorema: Seja $f:\chi\to\mathbb{R}$ uma função real não nula. Seja $M\in\mathbb{R}$. Seja Θ_f o conjunto das distribuições de probabilidade μ em χ de variáveis aleatórias X_μ com distribuição μ e com $f(X_\mu)$ tendo valor esperado igual a M, isto é, $\sum_{x\in\chi}\mu(x)f(x)=M$. Dentre as distribuições de probabilidade em Θ_f, aquela que maximiza a entropia de Shannon é a distribuição de Boltzmann.

Ao utilizarmos o algoritmo de *Metropolis* para a distribuição de Boltzmann, o algoritmo explora livremente o espaço de estados para maiores temperaturas; à medida a tempera-

tura diminui, tende a concentrar-se nos pontos que minimizam *f*. Essa ideia serve de base para abordagem do *Simulated Annealing*.

3. SIMULATED ANNEALING

Em problemas de otimização, cada configuração possível do sistema pode ser associada a uma *função de custo ou energia*, que quantifica a qualidade da configuração. Por exemplo, quanto menor o valor de , melhor é a solução. A forma exata de depende do problema considerado.

Quando o problema envolve a minimização desta função , a distribuição estacionária desejada é a distribuição de Boltzmann, definida por . O *Simulated Annealing* começa construindo uma cadeia de Metropolis e em seguida fixa uma sequência decrescente de temperaturas , com quando , justificando o termo resfriamento ou *annealing*, e uma sequência de números inteiros positivos Partindo de um estado inicial arbitrário, executamos a cadeia à temperatura por unidades de tempo, depois à temperatura por unidades de tempo, e assim por diante. Se esse esquema for construído com cuidado, então a probabilidade de se estar em um estado que minimiza no instante tende a quando.

4. CONCLUSÃO

Concluímos que esse encadeamento sugerido no *Simulated Annealing* forma uma estrutura hierárquica: o MCMC fornece a base, o algoritmo de Metropolis define as transições e o *Simulated Annealing* adiciona uma adaptação temporal via temperatura, conectando-se naturalmente a princípios da Teoria da Informação.

5. REFERÊNCIAS

1. COVER, T. M.; THOMAS, J. A. **Elements of Information Theory**. Wiley-Interscience. 2006.

2. FLEISCHER, Mark; JACOBSON, Sheldon H. **Information theory and the finite-time behavior of the simulated annealing algorithm: Experimental results**. INFORMS Journal on Computing, v. 11, n. 1, p. 35-43, 1999.

3. HÄGGSTRÖM, Olle. **Finite Markov chains and algorithmic applications**. Cambridge University Press, 2002.

4. HITCHCOCK, Rohan. **Entropy and the Boltzmann Distribution**. 2023.

5. LEVIN, David A.; PERES, Yuval. **Markov chains and mixing times**. American Mathematical Soc., 2017.

18 DIAGNÓSTICO E MAPEAMENTO GEORREFERENCIADO DO TRANSPORTE COLETIVO URBANO POR MEIO DE REGISTROS DE GPS NA CIDADE DE CACHOEIRA DO SUL/RS

RESUMO

A ausência de dados atualizados sobre o transporte coletivo urbano compromete o planejamento da mobilidade, a transparência e a acessibilidade em municípios de pequeno e médio porte. Em Cachoeira do Sul (RS), a inexistência de informações oficiais sobre as linhas e pontos de ônibus motivou a realização deste estudo, que teve como objetivo mapear e avaliar a rede real de transporte coletivo. Adotou-se um método empírico de coleta em campo, com apoio do Núcleo de Veículos Autônomos da UFSM/CS, utilizando o aplicativo GPS Tracks para registrar os trajetos em formato GPX. Os dados foram organizados e confrontados com o Plano Diretor Municipal, revelando discrepâncias e lacunas na documentação das rotas ativas. Além do diagnóstico técnico, a pesquisa buscou evidenciar benefícios sociais decorrentes da atualização das informações, como a ampliação da acessibilidade

Palavras-chave: Transporte coletivo urbano, georreferenciamento, mobilidade urbana.

Julia Brettas da Silva[1];
Ítalo Brum Raguzzoni[1];
Felipe Caleffi[1]

1 Núcleo de Veículos Autônomos, Universidade Federal de Santa Maria - Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

de, o fortalecimento da transparência pública e o suporte ao planejamento urbano baseado em evidências. A metodologia demonstrou potencial de replicação em outros contextos urbanos com carência de dados georreferenciados, podendo subsidiar a criação de soluções tecnológicas que ampliem a confiabilidade e a eficiência do sistema de transporte coletivo. Recomenda-se, como continuidade, o mapeamento de pontos de parada e horários de operação, bem como a integração dos dados em plataformas públicas de mobilidade.

ABSTRACT

The lack of updated data on urban public transportation compromises mobility planning, transparency, and accessibility in small and medium-sized municipalities. In Cachoeira do Sul (RS), the absence of official information regarding bus lines and stops motivated this study, which aimed to map and evaluate the actual public transportation network. An empirical field-based methodology was adopted, supported by the Autonomous Vehicles Research Group (Núcleo de Veículos Autônomos – UFSM/CS), using the GPS Tracks application to record routes in GPX format. The collected data were organized and compared with the Municipal Master Plan, revealing discrepancies and gaps in the documentation of active routes. Beyond the technical diagnosis, the research sought to highlight social benefits resulting from updated information, such as enhanced accessibility, strengthened public transparency, and support for evidence-based urban planning. The proposed methodology demonstrated potential for replication in other urban contexts lacking georeferenced data and may support the development of technological solutions to improve the reliability and efficiency of public transportation systems. As a recommendation for future work, the mapping of bus stops and operation schedules, as well as the integration of these datasets into public mobility platforms, is suggested.

Keywords: Urban public transport, georeferencing, urban mobility.

1. INTRODUÇÃO

O transporte coletivo urbano constitui elemento essencial para a mobilidade e a inclusão social, além de representar um pilar para o desenvolvimento sustentável das cidades. Em municípios de pequeno e médio porte, como Cachoeira do Sul (RS), parcela significativa da população depende fortemente da frota pública, uma vez que alternativas como ciclovias estruturadas, transporte sob demanda ou modais ferroviários são inexistentes ou pouco expressivas. Nesse contexto, a disponibilidade de informações atualizadas e transparentes sobre as linhas em operação é indispensável para assegurar acessibilidade, eficiência e planejamento urbano adequado.

No município de Cachoeira do Sul, verifica-se a ausência de registros atualizados das rotas operadas pela concessionária Transportes Nossa Senhora das Graças (TNSG), responsável pelo transporte público local. A falta de transparência e a ausência de dados acessíveis comprometem o planejamento e dificultam o monitoramento de políticas públicas voltadas à mobilidade urbana. Essa lacuna informacional impacta diretamente o cotidiano dos usuários, em especial trabalhadores, estudantes e idosos, que enfrentam incertezas nos deslocamentos e aumento de custos decorrentes da ineficiência do sistema (VASCONCELLOS, 2000).

Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo elaborar um diagnóstico empírico e qualitativo da rede de transporte coletivo urbano em Cachoeira do Sul, com base no mapeamento manual das rotas em operação nos dias úteis, a partir de registros obtidos por GPS durante o acompanhamento direto das linhas. A pesquisa busca não apenas preencher uma lacuna técnica, mas também democratizar o acesso à informação, contribuindo para o fortalecimento da transparência pública, da equidade urbana e da qualidade de vida dos cidadãos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

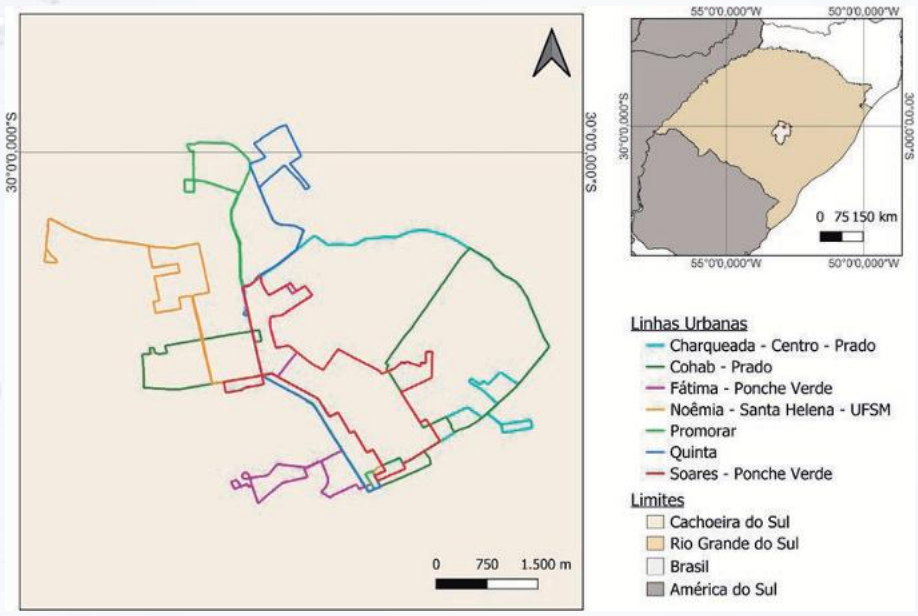
A mobilidade urbana é um elemento essencial do desenvolvimento das cidades, influenciando a equidade social, o direito à cidade e a sustentabilidade dos sistemas de transporte (VASCONCELLOS, 2000). A gestão eficiente do transporte coletivo enfrenta desafios decorrentes de limitações institucionais, financeiras e da escassez de dados confiáveis (GOMIDE; PIRES, 2014), o que compromete o planejamento e amplia desigualdades no acesso aos serviços públicos de mobilidade. Informações atualizadas sobre linhas, itinerários e horários são fundamentais para subsidiar políticas urbanas mais transparentes e eficazes (FERREIRA; BARROS, 2017). Nesse contexto, o uso de tecnologias móveis e ferramentas de georreferenciamento via GPS apresenta-se como alternativa viável e de baixo custo para o mapeamento e análise do transporte público, especialmente em cidades sem sistemas oficiais de monitoramento.

A pesquisa desenvolvida em Cachoeira do Sul (RS) caracterizou-se como exploratória e descritiva, com abordagem qualitativa e empírica, voltada à coleta e análise de dados geoespaciais sobre o transporte coletivo urbano. A coleta foi realizada em campo no mês de novembro de 2024, contemplando dias úteis e diferentes turnos, com o objetivo de captar variações operacionais. O mapeamento das rotas ativas foi efetuado por meio do aplicativo GPS Tracks, responsável pelo registro dos trajetos e coordenadas em formato GPX. As rotas foram integralmente percorridas com o apoio técnico e logístico do Núcleo de Veículos Autônomos (NVA) da UFSM – Campus Cachoeira do Sul, assegurando precisão e abrangência ao levantamento.

De acordo com dados da concessionária Transportes Nossa Senhora das Graças, existem 20 linhas em operação, das quais 9 funcionam em dias úteis. Destas, duas são inter-

distritais, de modo que a análise abrangeu 7 linhas urbanas efetivamente operantes no perímetro urbano. Os registros foram processados no software QGIS, permitindo a elaboração de mapas comparativos entre as rotas observadas em campo e aquelas previstas no Plano Diretor Municipal. Essa análise possibilitou avaliar a aderência entre o sistema real e o planejado, identificando inconsistências e lacunas na documentação oficial.

Figura 1: Mapa das linhas de transporte coletivo urbano em dias úteis em Cachoeira do Sul (RS)



Fonte: Elaborado pelos autores (2025), a partir de registros obtidos via GPS Tracks e processados no QGIS.

O estudo privilegiou uma perspectiva qualitativa, enfatizando os impactos sociais e operacionais decorrentes da disponibilização pública de informações atualizadas. Por fim, os resultados foram sistematizados em mapas digitais comparativos, que poderão subsidiar o desenvolvimento de aplicativos baseados em GPS voltados ao acompanhamento em tempo real dos veículos, ampliando a precisão e a confiabilidade do sistema de transporte coletivo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os registros coletados subsidiarão a elaboração de mapas digitais no software QGIS, permitindo comparar as rotas observadas em campo com aquelas previstas no Plano Diretor Municipal. Essa análise visa identificar lacunas na cobertura do transporte urbano e inconsistências na documentação oficial, além de apontar possibilidades de aprimoramento operacional das linhas.

Espera-se que os resultados contribuam para a atualização das informações públicas e para o fortalecimento do planejamento urbano orientado por dados. Também se prevê o

incentivo ao desenvolvimento de ferramentas tecnológicas baseadas em GPS, capazes de fornecer informações em tempo real aos usuários e aumentar a confiabilidade do sistema. Recomenda-se, em continuidade, a ampliação do mapeamento para incluir linhas inter-distritais, rotas de finais de semana e pontos de parada, de modo a consolidar uma base pública integrada de dados de mobilidade urbana.

4. CONCLUSÃO

O estudo permitiu diagnosticar o sistema de transporte coletivo urbano de Cachoeira do Sul (RS), evidenciando discrepâncias entre as rotas oficiais e aquelas efetivamente operadas. A utilização de registros obtidos via GPS Tracks e o processamento dos dados no QGIS demonstraram a eficiência de métodos empíricos e de baixo custo para a atualização de informações georreferenciadas.

Os resultados ressaltam a relevância da transparência e do acesso público a dados de mobilidade como instrumentos de inclusão social e apoio ao planejamento urbano baseado em evidências.

5. REFERÊNCIAS

CACHOEIRA DO SUL. Plano Diretor Municipal de Cachoeira do Sul. Cachoeira do Sul: Prefeitura Municipal, 2021. Disponível em: https://www.cachoeiradosul.rs.gov.br/.

FERREIRA, H.; BARROS, A. C. Tecnologias móveis e georreferenciamento: usos e potencialidades para o planejamento urbano. Revista Brasileira de Planejamento Urbano, v. 4, n. 2, p. 23–38, 2017.

GOMIDE, A.; PIRES, R. R. C. Capacidades estatais e democracia: políticas públicas como mediadoras entre Estado e sociedade. Sociologia & Antropologia, v. 4, n. 1, p. 67–102, 2014.

GPS TRACKER. GPS Tracker: aplicativo de rastreamento em tempo real. Disponível em: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.gpstracker.

TNSG – TRANSPORTES NOSSA SENHORA DAS GRAÇAS. Linhas e horários

do transporte coletivo urbano de Cachoeira do Sul. Disponível em: https://tnsg.com.br/.

VASCONCELLOS, E. A. Transporte urbano nos países em desenvolvimento: equidade, eficiência e sustentabilidade. São Paulo: Annablume, 2000.

19 A ILUSÃO DO CONE DUPLO: QUANDO O CENTRO DE MASSA DESCE E O OBJETO PARECE SUBIR

RESUMO

Este capítulo discute a chamada "ilusão" do cone duplo, na qual o objeto parece subir uma rampa inclinada enquanto, na realidade, o seu centro de massa desce. O experimento foi construído com trilhos em formato de "V" e um cone duplo de madeira, permitindo explorar de forma qualitativa e quantitativa conceitos de gravidade, centro de massa e cinemática. Foram realizadas cinco medidas do tempo de percurso do cone ao longo de um trilho de 1,20 m de comprimento, obtendo-se um tempo médio de 5,08 s. A partir desses dados e das dimensões geométricas do sistema, determinaram-se a inclinação da rampa, a aceleração efetiva ao longo do trilho, a velocidade média e a velocidade final do cone, utilizando as equações diferenciais básicas da cinemática. Os resultados mostram que, apesar da impressão visual de que o cone "sobe" a rampa, o centro de massa desloca-se para baixo, em plena concordância com a lei da gravitação universal. Assim, o experimento do cone duplo revela-se uma ferramenta didática acessível e eficaz para discutir conceitos de física frequentemente percebidos como abstratos pelos estudantes.

Palavras-chave: Cone duplo; ilusão óptica; gravidade; centro de massa; cinemática; ensino de física.

Sofia Veiga Oliveira[1];
Jocenir Boita[2]

1 Acadêmica do Curso de Engenharia de Transportes e Logística da Universidade Federal de Santa Maria - Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.
2 Orientador, Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

ABSTRACT

This chapter discusses the so-called double-cone "illusion", in which the object appears to roll uphill on an inclined ramp while its center of mass actually moves downward. The experiment was built using V-shaped rails and a wooden double cone, allowing a qualitative and quantitative exploration of gravity, center of mass, and kinematics. Five measurements of the cone's travel time were taken along a 1.20 m track, yielding an average time of 5.08 s. From these data and from the geometric dimensions of the system, the ramp inclination, the effective acceleration along the track, the average velocity, and the final velocity of the cone were determined using basic differential kinematics equations. The results show that, despite the visual impression that the cone "climbs" the ramp, its center of mass moves downward, in full agreement with the law of universal gravitation. Therefore, the double-cone experiment proves to be an accessible and effective didactic tool for discussing physics concepts that are often perceived as abstract by students.

Keywords: Double cone; optical illusion; gravity; center of mass; kinematics; physics teaching.

1. INTRODUÇÃO

O chamado "paradoxo" do cone duplo é um experimento clássico de mecânica que há décadas aparece em livros, museus de ciência e laboratórios didáticos. Nesse arranjo, um par de cones unidos pela base é colocado sobre trilhos em formato de "V", inclinados em relação à horizontal, e passa a rolar na direção que, à primeira vista, corresponde a uma subida. A impressão de que o objeto "desafia a gravidade" torna o dispositivo particularmente atraente como recurso didático e abre espaço para discussões conceituais sobre força gravitacional, energia potencial e centro de massa (MEDEIROS; MEDEIROS, 2003; CANALLE; MOURA, 1998).

No contexto do ensino de Física, diversos autores têm explorado o cone duplo como uma situação contraintuitiva capaz de confrontar concepções espontâneas dos estudantes e promover uma compreensão mais profunda do papel do centro de massa no movimento. Medeiros e Medeiros (2003) enfatizam a importância pedagógica de "desvendar o mistério" da subida aparente, mostrando que, embora os pontos de contato do cone com os trilhos se desloquem para regiões mais altas, o centro de massa efetivamente desce ao longo do movimento. Canalle e Moura (1998) destacam ainda o caráter multifuncional do dispositivo, que, além de ilustrar o fenômeno do cone duplo, pode ser adaptado para outras demonstrações, ampliando seu potencial em atividades de laboratório escolar.

Trabalhos mais recentes reforçam o interesse em analisar o movimento do cone duplo de forma qualitativa e quantitativa. Pascoal, Prado e Castro (2014) utilizaram o princípio da conservação da energia mecânica para estudar o movimento do duplo cone sobre uma pista em "V" com diferentes condições geométricas, fornecendo um tratamento teórico acessível para atividades de ensino. Luz-Burgoa e Nogales (2024) retomam o problema e discutem os princípios fundamentais que regem o movimento do "misterioso" duplo cone, destacando a relação entre a geometria do sistema e a aparente violação da gravidade.

Em termos estritamente educacionais, estudos como o de Silva (2018) investigam o uso do experimento do cone duplo no ensino médio, analisando limites e potencialidades do dispositivo como recurso didático em situações reais de sala de aula. Os resultados indicam que o experimento contribui para problematizar a ideia de "subir contra a gravidade" e favorece a construção do conceito de centro de massa pelos estudantes, sobretudo quando acompanhado de discussão orientada e de registros gráficos e matemáticos (SILVA; SHIGUNOV NETO, 2018). Em paralelo, Gandhi e Efthimiou (2005) mostram, em um contexto internacional, que o duplo cone é um demonstrativo recorrente em cursos introdutórios de Física para ilustrar o conceito de centro de massa em trilhos em "V".

Do ponto de vista conceitual, o ponto central do "paradoxo" reside no fato de que o movimento natural de um corpo em um campo gravitacional é determinado pelo comportamento do seu centro de massa e não pela trajetória dos pontos de contato com a superfície. À medida que o cone duplo avança sobre trilhos divergentes, a distância entre os trilhos aumenta e o eixo do cone se aproxima da superfície de referência, fazendo com que o centro de massa desça, apesar de o objeto como um todo parecer subir. Essa diferença entre o que os olhos percebem e o que de fato ocorre com o centro de massa torna o experimento um terreno fértil para discutir modelos físicos, representações geométricas e argumentos matemáticos em sala de aula (MEDEIROS; MEDEIROS, 2003; LUZ-BURGOA; NOGALES, 2024).

Além da análise qualitativa, o cone duplo oferece um cenário propício para investigações quantitativas por meio da medição de comprimentos, diferenças de altura e tempos de percurso, seguida do cálculo da inclinação da rampa, da aceleração efetiva ao longo dos trilhos e das velocidades média e final. A utilização de equações diferenciais simples de cinemática, como $\mathrm{v} = \frac{\mathrm{ds}}{\mathrm{dt}}$ e $\mathrm{a} = \frac{\mathrm{dv}}{\mathrm{dt}}$, em um contexto experimental concreto, aproxima o formalismo matemático da experiência dos estudantes e favorece a articulação entre descrição fenomenológica e modelagem (PASCOAL; PRADO; CASTRO, 2014; GANDHI; EFTHIMIOU, 2005).

Neste capítulo, retomamos a tradição de uso do cone duplo no ensino de Física e propomos uma abordagem que combina a interpretação qualitativa da "ilusão" com uma análise quantitativa acessível, baseada em medidas simples de tempo e distância. A partir da construção de um arranjo experimental de baixo custo, discutimos o movimento do cone sob a perspectiva do centro de massa e apresentamos um conjunto de resultados que podem ser

explorados em atividades didáticas no ensino médio e na formação inicial de professores. Nosso objetivo é mostrar que a ilusão do cone duplo — quando o centro de massa desce e o objeto parece subir — constitui um contexto privilegiado para trabalhar, de forma integrada, os conceitos de gravidade, centro de massa e cinemática no ensino de Física.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção são descritos a construção do aparato experimental e o procedimento adotado para a coleta e análise dos dados. A proposta segue a tradição de trabalhos que utilizam o cone duplo como recurso didático em mecânica (CANALLE; MOURA, 1998; MEDEIROS; MEDEIROS, 2003; PASCOAL; PRADO; CASTRO, 2014), adaptando o arranjo para uma versão de baixo custo, adequada ao contexto escolar. O experimento foi montado com dois cabos de vassoura de madeira dispostos como trilhos em formato de "V", apoiados em blocos de madeira de alturas diferentes, de modo que a extremidade esquerda ficasse ligeiramente mais baixa que a direita. Sobre esses trilhos posicionou-se um cone duplo de madeira torneada, capaz de rolar livremente ao longo da rampa. A montagem final do aparato experimental pode ser vista na Figura 1.

Figura 1 – Arranjo experimental do cone duplo sobre trilhos em "V", construído com cabos de vassoura de madeira e apoios de alturas diferentes.



Fonte: autores

2.1 Materiais

O experimento foi construído com materiais simples, de fácil acesso em escolas e laboratórios didáticos:

- **Trilhos em "V":** dois cabos de vassoura de madeira, retos, com comprimento aproximado de 1,20 m, fixados de modo a formar um ângulo de abertura crescente ao longo da rampa.
- **Apoios da rampa:** blocos de madeira ou suportes equivalentes, posicionados de forma que a extremidade inicial do trilho ficasse mais baixa e a extremidade final, mais elevada, produzindo uma diferença de altura de aproximadamente 3 cm entre os apoios.
- **Cone duplo:** peça de madeira torneada, constituída por dois cones iguais unidos pela base, com eixo retilíneo e superfície suficientemente lisa para rolar sobre os trilhos.
- **Instrumentos de medida:** régua milimetrada ou trena para medir comprimentos e alturas; transferidor ou aplicações de trigonometria simples para determinar ângulos de inclinação e de abertura; cronômetro digital (ou aplicativo de cronômetro em telefone celular) para medir os tempos de percurso do cone ao longo da rampa.

A escolha por um aparato em madeira, semelhante ao descrito em Medeiros e Medeiros (2003) e em Canalle e Moura (1998), permite uma construção robusta e reutilizável, ao mesmo tempo em que mantém o custo relativamente baixo e viabiliza modificações geométricas no arranjo.

2.2 Procedimento experimental

O procedimento experimental foi organizado em três etapas principais: montagem da rampa, determinação de grandezas geométricas e medidas de tempo.

2.3 Montagem da rampa em "V"

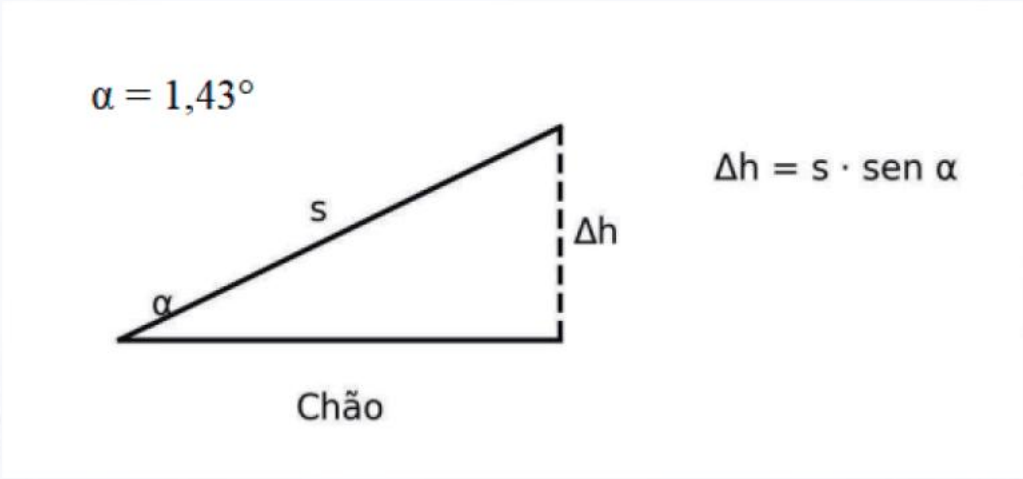
Os dois cabos de vassoura foram fixados sobre os apoios de modo a formar trilhos divergentes. A região de contato entre os trilhos foi ajustada para que o eixo do cone duplo ficasse aproximadamente horizontal quando em repouso em uma posição intermediária. A diferença de altura entre o apoio inicial e o apoio final foi ajustada para cerca de 3 cm, resultando em uma rampa suavemente inclinada em relação à horizontal.

2.4 Medidas geométricas

Com o uso de régua ou trena, foi medido o comprimento horizontal do trilho entre os apoios ($s \approx 1{,}20$ m) e a diferença de altura entre as extremidades ($\Delta h \approx 0{,}03$ m). A par-

tir desses valores, calculou-se a inclinação da rampa em porcentagem, $i = \frac{\Delta h}{s} \times 100\ \%$, e o ângulo de inclinação α, por meio de relações trigonométricas simples. A relação entre essas grandezas e o ângulo de inclinação α está esquematizada na Figura 2. Quando necessário, a abertura dos trilhos (ângulo β) foi estimada a partir da distância entre eles em diferentes posições ao longo da rampa, procedimento semelhante ao adotado em análises geométricas do cone duplo na literatura (PASCOAL; PRADO; CASTRO, 2014).

Figura 2 – Esquema da rampa inclinada, mostrando o comprimento da rampa *s*, a elevação Δh em relação ao chão e o ângulo de inclinação α, relacionados pela expressão $\Delta h = s^* \text{sen}\alpha$.



2.5 Medidas de tempo de percurso

Para o estudo do movimento, o cone duplo foi colocado próximo à extremidade "mais alta" da rampa (do ponto de vista dos trilhos) e solto sem impulso adicional, permitindo que rolasse livremente sobre os trilhos até atingir a extremidade oposta.

Foram realizadas cinco medidas do tempo de percurso, usando um cronômetro digital, sempre para o mesmo intervalo de rampa.

Em cada lançamento, um observador acionava o cronômetro no instante em que o cone era solto e o interrompia quando o cone atingia o final do trilho.

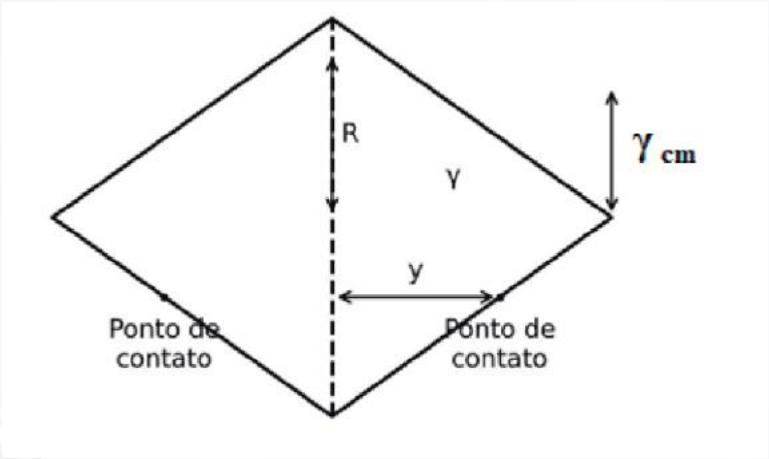
Os valores de tempo foram registrados em uma tabela de dados e, em seguida, calculou-se o tempo médio de percurso $\overline{T}$ por meio da média aritmética dos cinco registros, procedimento compatível com propostas experimentais em ensino de Física (SILVA; SHIGUNOV NETO, 2018).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interpretação do movimento do cone duplo depende também da sua geometria e da forma como ele toca os trilhos. A Figura 3 apresenta um esquema da seção transversal do cone duplo, destacando o raio máximo *R*, o semiângulo de abertura γ,

a distância y entre o eixo e os pontos de contato com os trilhos e a altura do centro de massa y_{cm} em relação a uma referência. Esses parâmetros geométricos ajudam a entender por que o cone parece subir enquanto, na realidade, o seu centro de massa se desloca para baixo.

Figura 3 – Esquema da seção transversal do cone duplo: R é a distância do eixo aos vértices (raio máximo), γ é o semiângulo de abertura do cone, γ é a distância entre o eixo e o ponto de contato com o trilho, e z_{cm} indica, de forma esquemática, a altura do centro de massa em relação a uma referência.



O tratamento dos dados teve como objetivo relacionar as grandezas geométricas do arranjo com o movimento observado, utilizando as equações diferenciais básicas da cinemática. A partir dos valores do comprimento da rampa s e do tempo médio de percurso $\overline{T}$, e assumindo que o movimento do cone ao longo do trilho é retilíneo uniformemente acelerado, partindo do repouso, a posição em função do tempo foi modelada por

$$s(t) = \frac{1}{2}at^2. \quad (1)$$

onde a é a aceleração efetiva ao longo da rampa. Avaliando a Eq. (1) no instante $t = \overline{T}$, obtém-se

$$a = \frac{2s}{\overline{T}^2}. \quad (2)$$

A velocidade média no percurso foi calculada a partir da definição clássica:

$$v_{méd} = \frac{s}{\overline{T}}. \quad (3)$$

Para descrever a variação instantânea da posição e da velocidade, foram utilizadas as definições diferenciais de velocidade e aceleração:

$$v(t) = \frac{ds}{dt}. \quad (4)$$

$$a(t) = \frac{dv}{dt}. \quad (5)$$

Admitindo aceleração constante ao longo do trilho, isto é, $a(t) = a$, a Eq. (5) pode ser escrita como

$$\frac{dv}{dt} = a \quad (6),$$

cuja integração resulta em $v(t) = at$ (7), considerando que a velocidade inicial é nula ($v(0) = 0$).

Por outro lado, usando a relação de cadeia entre derivadas,

$$\frac{dv}{dt}=\frac{dv}{ds}\frac{ds}{dt}=v\frac{dv}{ds}(8)$$

Pode-se escrever a forma diferencial

$$a = v\frac{ds}{dt}. (9)$$

Separando variáveis e integrando, obtém-se a dependência entre a velocidade e a posição ao longo do trilho:

$$\int vdv=\int ads\Rightarrow\frac{1}{2}v^2=as\ (10),$$

ou de forma mais usual,

$$v^2=2as. (11)$$

Lembrando que $s = x =$ distância.

Com os dados medidos para o comprimento da rampa ($s = 1{,}20$ m) e para o tempo médio de percurso ($\overline{T} = 5{,}08$ s), e utilizando as Eqs. (2), (3) e (10), obtiveram-se os valores de aceleração efetiva, velocidade média e velocidade final do cone ao longo do trilho. Esses resultados estão reunidos na Tabela 1, que resume as principais grandezas cinemáticas calculadas a partir do experimento.

Tabela 1 – Resultados cinemáticos obtidos a partir das medições de tempo.

Grandeza	Símbolo	Valor	Unidade	Observação
Tempo médio de descida	$\overline{T}$	5,08	s	Média de 5 medições de tempo
Deslocamento ao longo da rampa	s	1,20	m	Comprimento útil do trilho
Aceleração ao longo da rampa	a	0,093	m/s²	Calculada por
Velocidade média no percurso	$v_{méd}$	0,236	m/s	Calculada por
Velocidade final estimada	v_f	0,473	m/s	Obtida de

Como se observa na Tabela 1, o tempo médio de descida do cone duplo ao longo da rampa foi de $\overline{T} = 5{,}08$ s para um deslocamento de $s = 1{,}20$ m. A partir desses valores, a aceleração efetiva ao longo dos trilhos resultou em aproximadamente $a = 0{,}093$ m/s², valor significativamente menor do que a aceleração da gravidade g. Esse resultado é coerente

com o fato de que apenas uma componente de atua ao longo da rampa e de que a inclinação utilizada é pequena.

Ainda na Tabela 2, nota-se que a velocidade média do cone no percurso é da ordem de $v_{méd} \approx 0{,}236$ m/s, enquanto a velocidade final estimada é $v_f \approx 0{,}473$ m/s. Esses valores mostram que o movimento é relativamente lento, o que favorece sua observação em sala de aula e permite que os estudantes acompanhem, com clareza, a "subida" aparente do cone duplo ao longo dos trilhos.

Do ponto de vista conceitual, os resultados numéricos reforçam que não há qualquer violação da gravidade no experimento: embora o cone se desloque visualmente para uma região mais alta dos trilhos, o centro de massa do sistema move-se para baixo. Assim, a análise quantitativa sintetizada na Tabela 1 complementa a discussão qualitativa sobre o papel do centro de massa, oferecendo um exemplo concreto em que medidas simples de tempo e distância, combinadas com um tratamento básico da cinemática, ajudam a "desvendar" a ilusão do cone duplo.

4. CONCLUSÕES

O experimento do cone duplo, apresentado neste capítulo, mostrou-se um recurso didático simples, de baixo custo e ao mesmo tempo conceitualmente rico para o ensino de Física. A chamada "ilusão" de que o objeto sobe uma rampa inclinada, quando na verdade seu centro de massa desce, permitiu problematizar a ideia intuitiva de "subir contra a gravidade" e discutir, de forma integrada, conceitos de gravidade, centro de massa, equilíbrio e movimento em superfícies inclinadas.

Do ponto de vista qualitativo, a análise da geometria dos trilhos em "V" e da forma do cone duplo evidenciou que o comportamento do sistema é determinado pela trajetória do centro de massa, e não pela altura dos pontos de contato com os trilhos. À medida que o cone avança para a região aparentemente mais alta, os trilhos se afastam e o eixo do cone se aproxima da superfície de referência, fazendo com que o centro de massa se desloque para baixo. Assim, o experimento reforça a importância de distinguir entre aquilo que é visto no arranjo macroscópico e o que de fato acontece com as grandezas físicas relevantes.

Do ponto de vista quantitativo, as medidas de comprimento da rampa e de tempo de percurso permitiram estimar a inclinação do trilho, a aceleração efetiva, a velocidade média e a velocidade final do cone. Os valores obtidos, sintetizados na Tabela 1, são compatíveis com um movimento em rampa de pequena inclinação, no qual apenas uma fração da aceleração da gravidade atua ao longo dos trilhos. A utilização de equações diferenciais básicas da cinemática, como $v = ds/dt$ e $a = dv/dt$, em um contexto experimental concreto, contribuiu para aproximar o formalismo matemático da experiência dos estudantes, mostrando que tais ferramentas podem ser introduzidas e exploradas em situações acessíveis de laboratório didático.

Em termos educacionais, o arranjo proposto favorece a participação ativa dos estudantes na construção do experimento, na coleta e no registro de dados, na elaboração de hipóteses explicativas e na confrontação entre previsões teóricas e resultados medidos. Essa abordagem está em consonância com propostas de ensino de Física baseadas na experimentação, na problematização e na modelagem, nas quais o aluno é incentivado a argumentar, representar e calcular, em vez de apenas observar uma "mágica" pronta.

Como perspectivas futuras, o aparato pode ser adaptado para explorar diferentes configurações geométricas (variação da abertura dos trilhos, alteração da inclinação, uso de cones com dimensões distintas), bem como para investigar a influência do atrito e de pequenas imperfeições na superfície. Além disso, o experimento pode ser articulado a atividades de simulação computacional e à construção de gráficos $s(t)$, $v(t)$ e $v^2(s)$, ampliando as possibilidades de uso do cone duplo em disciplinas de mecânica no ensino médio e na formação inicial de professores.

Em síntese, a ilusão do cone duplo — quando o centro de massa desce e o objeto parece subir — oferece um contexto privilegiado para discutir, em um mesmo cenário, conceitos fundamentais de gravidade, centro de massa e cinemática, articulando visão qualitativa e tratamento quantitativo de maneira significativa para o ensino de Física.

REFERÊNCIAS

CANALLE, J. B. G.; MOURA, R. Demonstre em aula: duplo cone, quádrupla finalidade. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 15, n. 3, p. 323–327, 1998.

GANDHI, S. C.; EFTHIMIOU, C. J. The ascending double cone: a closer look at a familiar demonstration. European Journal of Physics, Bristol, v. 26, n. 5, p. 681–694, 2005.

LUZ-BURGOA, K.; NOGALES, J. A. C. Princípios fundamentais que regem o movimento do misterioso duplo cone. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 46, e20240011, 2024.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. Desvendando o mistério do duplo cone. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 333–339, 2003.

PASCOAL, F.; PRADO, S. J.; CASTRO, E. A. Y. Estudo do movimento de um duplo cone sobre uma pista em V. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 36, n. 3, art. 3304, p. 1–8, 2014.

SILVA, W. R.; SHIGUNOV NETO, A. O experimento do cone duplo no ensino médio: uma pesquisa exploratória. Experiências em Ensino de Ciências, Cuiabá, v. 13, n. 4, p. 181–191, 2018.

20 UMA INTRODUÇÃO AO PROCESSO DE POISSON

RESUMO

O processo de Poisson desempenha um papel central na teoria de probabilidade devido à sua simples construção e às suas relevantes propriedades matemáticas. Será apresentado a definição clássica do processo de Poisson homogêneo com taxa $\lambda>0$, que satisfaz três condições principais: começa em zero, possui incrementos independentes e estacionários e segue uma distribuição de Poisson com média proporcional ao intervalo de tempo. Embora essa seja a definição formal, ela nem sempre é intuitiva. Em seguida, foi introduzida uma construção motivada por chegadas em uma cabine telefônica e, utilizando equações diferenciais, é possível mostrar que ela satisfaz as condições de definição do processo de Poisson.

ABSTRACT

The Poisson process plays a central role in probability theory due to its simple construction and relevant mathematical properties. The classical definition of the homogeneous Poisson process with rate $\lambda>0$ is presented, which satisfies three key conditions: it starts at zero, has independent and stationary increments, and its increments follow a Poisson distribution with mean proportional to the time interval. Although this is the formal defi-

Palavras-chave: Processo de Poisson, processos estocásticos, equações diferenciais.

Sofia Gattermann[1];
Rodrigo Marinho[2];
Adriana Neumann[3]

1 Curso de Bacharelado em Estatística, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Campus do Vale, Rio Grande do Sul, Brasil.

2 Departamento de Estatística, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Campus Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

3 Instituto de Matemática e Estatística, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Campus do Vale, Rio Grande do Sul, Brasil.

nition, it is not always intuitive. Then, a construction motivated by arrivals at a telephone booth is introduced, and, using differential equations, it is possible to show it satisfies the defining conditions of the Poisson Process.

Keywords: Poisson process, stochastic processes, differential equations.

1. INTRODUÇÃO

O processo de Poisson se destaca, além de ter sido um ponto de partida da teoria de processos estocásticos, por sua capacidade de modelar eventos que acontecem de forma aleatória e independente. Ele é amplamente utilizado em diferentes contextos teóricos e práticos, como na análise de chegadas em sistemas de atendimento [4], no estudo de falhas na produção industrial [3], na modelagem de mutações [7], no registro de pedidos em plataformas de comércio eletrônico [6] e no acompanhamento de casos de doenças raras em uma população [5].

É apresentada uma construção intuitiva do processo de Poisson baseada no exemplo clássico das chegadas em uma cabine telefônica, que permite visualizar como as hipóteses fundamentais (início em zero, incrementos independentes e distribuição de Poisson com média proporcional ao tempo) levam naturalmente à formulação do modelo. O objetivo é criar um texto autocontido que permita discutir a estrutura conceitual do processo e suas propriedades essenciais

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A elaboração do modelo segue a formulação clássica apresentada por Barry R. James [1]. Imagine uma cabine telefônica pública onde pessoas chegam aleatoriamente ao longo do tempo para usar o telefone. Seja $N(t)$ o número de pessoas que chegaram à cabine até o tempo t. Cada realização do processo $\{N(t);t\geq 0\}$ descreve como o número de chegadas muda ao longo do tempo. Denotemos por

$$P_k\ (t):=P(N(t)=k),k=0,1,2,...$$

as probabilidades associadas aos possíveis valores de $N(t)$. Cada salto representa uma nova chegada: a primeira em t_1, a segunda em t_2, e assim por diante.

O processo $N(t)$ aumenta em uma unidade a cada chegada. Formalmente, ele pode ser descrito como pertencente ao seguinte conjunto de funções em degraus:

$$X:=\left\{N:[0,\infty)\to 0,1,2,\ldots;t\mapsto N(t)=\sum_{i=0}^{\infty} i1_{[t_{i-1},t_i)}(t),0=t_0<t_1<t_2<\cdots\right\}$$

Cada realização de $N(t)$ é, portanto, uma função que permanece constante entre dois tempos de chegada sucessivos t_i e sofre saltos unitários nesses pontos.

Um conceito central neste modelo é o de incrementos, que indicam quantos eventos ocorreram entre dois instantes distintos, como entre u e v. Imaginando pessoas que chegam de forma independente e aleatória ao longo do tempo, é natural assumir as seguintes hipóteses: $(i)\ N(0)=0$ com probabilidade 1 , ou seja, o número de pessoas que chegam no tempo zero é igual a zero; (ii) os incrementos são independentes, ou seja, o número de pessoas que chegam em intervalos de tempo disjuntos é independente - Formalmente, os eventos $[N(s+t)-N(s)=k]e[N(u+v)-N(u)=j]$ são independentes para quaisquer k e j, desde que os intervalos $(s,s+t]$ e $(u,u+v]$ não se sobreponham; (iii) os incrementos são estacionários, ou seja, a probabilidade de que k pessoas cheguem no intervalo $(s,s+t]$ depende apenas do tamanho do intervalo t, e não do instante inicial. Formalmente, $P(N(s+t)-N(s)=k)=P(N(t)-N(0)=k)$. Como $N(0)=0$, essas probabilidades são iguais a $P(N(t)=k)$, a probabilidade de k chegadas até o tempo t, para $k=0,1,2,...$

Agora definamos Pk (t):=P(N(t)=k). Temos então que: Pk (0)=1 se k=0, e Pk (0)=0 se k≥1. Além disso, para cada t fixo, as probabilidades P_k (t) formam uma distribuição, ou seja, a soma em todo k é igual a 1: $\sum_{k=0}^{\infty} P_k(t) = 1$, e também vale que, para todo $l \geq 0, P(N(t) \geq l) = 1 - \sum_{k=0}^{l-1} P_k(t)$.

Também é necessário assumir a seguinte hipótese ao modelo: (iv) a probabilidade de nenhuma chegada até o tempo t=1 não é 0 nem 1 , isto é Também é necessário assumir a seguinte hipótese ao modelo: (iv) a probabilidade de nenhuma chegada até o tempo t=1 não é 0 nem 1 , isto é, $0<P_0(1)<1$. Usando as hipóteses (i) a (iv), para todo t≥0, pode-se ver que a probabilidade de nenhuma chegada até o tempo t é dada por P0 (t)=(P0 (1)t. Consequentemente, se for definida $\lambda=-\log(P_0(1))$, obtemos $P_0(t)=e^{-\lambda t}$., $0<P_0(1)<1$. Usando as hipóteses (i) a (iv), para todo t≥0, pode-se ver que a probabilidade de nenhuma chegada até o tempo t é dada por $P_0(t)=(P_0(1))^t$. Consequentemente, se for definida $\lambda=-\log(P_0(1))$, obtemos $P_0(t)=e^{-\lambda t}$.

De fato, pela propriedade de incrementos independentes e estacionários do processo de Poisson, surge o resultado: $P_0(t+s)=P_0(t)\cdot P_0(s)$, pois o evento "não ocorrer nenhuma chegada no intervalo temporal (0,t+s]" é equivalente à ausência de chegadas em (0,t] e em (t,t+s]. Logo, $P_0(t)=(P_0(1))^t$ para todo t≥0. Portanto, a probabilidade de não haver nenhuma chegada até o tempo t decai exponencialmente com parâmetro λ.

A quinta e última hipótese que será adicionada ao modelo, chamada "aproximações em pequenos intervalos", é descrita como: (v) a probabilidade condicional de ocorrerem duas ou mais chegadas no intervalo (0,t], dado que ocorre pelo menos uma, tende a zero quando t→0. Em outras palavras, $P[N(t)\geq 2|N(t)\geq 1]\rightarrow 0$ quando t→0 ou, equivalentemente,

$$\frac{P_1(t)}{1-P_0(t)} = 1 .$$

Uma das características centrais desse processo é que a variável aleatória N(t), que representa o número de eventos observados até o tempo t, segue uma distribuição de Poisson com parâmetro λt, em que λ>0 representa a taxa média de ocorrência.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Lema: Para cada t>0, suponha que N(t) denote o número de pessoas que chegaram à cabine até o tempo t e que as hipóteses (i) - (v) sejam verdadeiras. Então N(t) tem distribuição de Poisson com parâmetro λt, onde λ=-log⁡(P_0 (1))=-log⁡(P(N(1)=0)).

Demonstração: Queremos provar que N(t)~Poisson(λt), isto é,

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}$$

O caso k=0 já foi mostrado: $P_0(t) = e^{-\lambda t}$. Para k≥1, derivamos uma equação diferencial que $Pk(t)$ satisfaz. Com base nas hipóteses de incrementos independentes e estacionários e aplicando o limite quando t→0, é possível obter a equação de Kolmogorov direta

$$P_k'(t) = \lambda\big(P_{k-1}(t) - P_k(t)\big) \quad .$$

A partir desse sistema diferencial, pode-se determinar explicitamente as funções Pk(t). De fato, para k=1 temos $P_1'(t) = \lambda\big(P_0(t) - P_1(t)\big)$. Como $P_0(t) = e^{-\lambda t}$, é obtida a equação diferencial ordinária linear de primeira ordem

$$P_1'(t) = -\lambda P_1(t) + \lambda e^{-\lambda t}.$$

Portanto, $P_1(t) = \lambda t e^{-\lambda t}$.

Prosseguindo de forma recursiva, chega-se à expressão geral

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t} \; k = 0,1,2, \ldots$$

que corresponde exatamente à distribuição de Poisson com parâmetro λt, confirmando que N(t) segue uma distribuição de Poisson com parâmetro λt.

4. CONCLUSÕES

Foi mostrado que o processo {N(t),t≥0}, definido pelas hipóteses (i) - (v), é um processo de Poisson. De forma similar, pode-se também mostrar que sob as condições esta-

belecidas, o número de chegadas em um intervalo de tempo segue uma distribuição de Poisson com parâmetro proporcional à duração do intervalo.

Agradecimentos: S. Gattermann e R. Marinho agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul pelo apoio financeiro através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e através da bolsa 25/2551-0000934-0 (ARC). A. Neumann agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro através das Bolsas de Produtividade números: 313916/2021-7 e 307606/2025-2.

5. REFERÊNCIAS

JAMES, B. R. Probabilidade: um curso em nível intermediário. Rio de Janeiro, IMPA, 2023.

ROSS, S. M. Introduction to Probability Models. ed. Academic Press, 2019.

KHEYRI, A., & TAGHIPOUR, S. (2025). Integrated optimisation of production scheduling, maintenance, and quality control under non-homogeneous poisson
process failures with multiple assignable causes. International Journal of Production Research, 1-32. https://doi.org/10.1080/00207543.2025.2543492

EDWARD; CHANG, S.-L. Modeling Time-Dependent Arrivals to Service Systems: A Case in Using a Piecewise-Polynomial Rate Function in a Nonhomogeneous Poisson Process. Management Science, v. 34, n. 11, p. 1367-1379, 1 nov. 1988. 5. FORBES, F. et al. SPATIAL RISK MAPPING FOR RARE DISEASE WITH HIDDEN MARKOV FIELDS AND VARIATIONAL EM. The Annals of Applied Statistics, v. 7, n. 2, p. 1192-1216, 2013.

MARTIN A. LARIVIERE, JAN A. VAN MIEGHEM, (2004) Strategically Seeking Service: How Competition Can Generate Poisson Arrivals. Manufacturing & Service Operations Management 6(1):23-40.

MIAO, HENGYUAN, ERCAN, ENGIN KURUOĞLU, AND TAO XU.
“Non-homogeneous Poisson and renewal processes as spatial models for cancer mutation.” Computational Biology and Chemistry 106 (2023): 107922.

21 DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DIDÁTICO DE MOTOR STIRLING

RESUMO

O motor Stirling tem como principal característica a fonte de energia térmica ser proveniente de combustão externa, com funcionamento relativamente simples. Através de modelos dos motores, foi elaborado um protótipo do Motor Stirling com a intenção de compreender o seu funcionamento termodinâmico e, com base nos conhecimentos adquiridos durante as pesquisas, analisar meios de confecção didática deste dispositivo.

ABSTRACT

The Stirling engine has as its main characteristic the fact that its thermal energy source comes from external combustion, with relatively simple operation. Through engine models, a prototype of the Stirling Engine was developed with the intention of understanding its thermodynamic operation, and based on the knowledge acquired during the research, to analyze ways of creating didactic versions of this device.

Palavras-chave: Motor Stirling, Protótipo Didático, Ciclos Termodinâmicos.

Enzo Reghelin Manhabosco[1];
Heitor Franzmann Pereira[1];
Pedro Henrique Chiodi[1];
Cristiano Frandalozo Maidana[1];
Charles Rech[1]

1 Universidade Federal de Santa Maria - Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil

Keywords: Thermodynamics, Stirling Engine, Cycles.

1. INTRODUÇÃO

O motor stirling opera por meio de um ciclo termodinâmico fechado e utiliza como fluido de trabalho ar ou outro gás, que sofre expansão e contração ao ser exposto a fontes de calor e frio. Sua principal característica é a combustão externa, que permite que o processo de aquecimento ocorra fora do sistema de pistões, conferindo ao motor maior segurança e menor emissão de poluentes, quando comparado aos motores de combustão interna.

Além de sua segurança operacional, o motor de Stirling destaca-se por sua elevada eficiência energética, podendo superar, em determinados contextos, a eficiência de motores a diesel, gasolina ou mesmo a vapor. Tais características o tornam um objeto de estudo pertinente, especialmente em um cenário no qual a sustentabilidade e a busca por fontes energéticas limpas e eficientes se tornam cada vez mais prioritárias (RILEY, 2015).

A simulação e o estudo deste tipo de motor contribuem não apenas para a compreensão prática dos princípios da termodinâmica, como também para a exploração de soluções tecnológicas que podem ser aplicadas em sistemas de geração de energia alternativa.

A realização deste trabalho tem como finalidade a construção de um protótipo de um motor Stirling, para inicialmente entender alguns aspectos construtivos relacionados, visando posterior análise e simulação. Além disso, pretende-se futuramente que este motor sirva como modelo para replicação didática de outros grupos de estudos e escolas interessadas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a confecção do protótipo do motor Stirling foi utilizado um modelo 3D para impressão de peças em ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno) em uma impressora 3D tipo FFF (Fabrico de Filamento Fundido), duas seringas de vidro nos tamanhos de 5 e 10 milímetros de diâmetro, tubo de silicone alguns parafusos e porcas, assim como uma base de madeira. A Figura 1 apresenta o protótipo construído:

Figura 1: Protótipo Motor Stirling.



Basicamente, existem três tipos principais de configurações para motores stirling, sendo eles os modelos *Alpha*, *Beta* e *Gamma*. Neste projeto o modelo *Alpha* foi escolhido devido à sua fácil visualização do processo termodinâmico ocorrendo. Ele possui dois cilindros, um que recebe o calor, gerando pressão e movimentando o êmbolo, e consequentemente girando o eixo do volante; e um cilindro que dissipa o calor com o ambiente, ambos ligados por um tubo dividindo um mesmo fluido.

Na base de madeira foi fixado, com parafusos, as peças elaboradas em impressora, sendo elas o suporte do volante do motor e o suporte das seringas. No volante foram colocadas porcas como pesos, enquanto no outro suporte foram colocadas as seringas. As duas partes foram unidas por conexões (biela-manivela), também fabricadas em impressora 3D, fazendo a ligação mecânica entre um suporte e o outro. No suporte das seringas, elas foram conectadas uma à outra através do tubo de silicone.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante o desenvolvimento do protótipo do Motor Stirling, buscou-se aplicar na prática as teorias de ciclos termodinâmicos. Com todo o material em mãos, foi possível a construção de um modelo didático com o objetivo de observar seu funcionamento e compreender suas limitações.

Segundo Silveira e Fraga (2020), os motores Stirling operam com a temperatura do fluido de trabalho entre 686 °C a 800 °C, apresentando eficiências reais na faixa de 30% a 40% em protótipos testados, o que reflete limitações operacionais do sistema. Considerando as temperaturas absolutas correspondentes (686 °C ≈ 959,15 K e 800 °C ≈ 1073,15 K) e assumindo uma fonte fria ambiente a 25°C (298,15 K), a eficiência teórica máxima de Carnot para esses extremos pode ser estimada por 68,9% para 686 °C e 72,2% para 800 °C. Essa diferença entre os valores teóricos e aqueles obtidos experimentalmente indica que, embora a elevação da temperatura da fonte quente aumente o potencial termodinâmico do ciclo elevando o limite máximo possível de eficiência, fatores como perdas térmicas, resistência à transferência de calor e imperfeições de construção reduzem significativamente o rendimento efetivamente alcançado em protótipos de motores Stirling.

No processo de montagem, foram utilizados diversos protótipos de referência com o objetivo de otimizar o desempenho. Porém, vários desafios práticos foram identificados. Os principais obstáculos experimentais observados na construção do protótipo foram o atrito entre as peças móveis, que reduziu significativamente a eficiência mecânica; assim como a fragilidade dos materiais, como o vidro das seringas. Além disso, ocorreram perdas de pressão nas conexões entre as câmaras quente e fria, o que dificultou que o motor atingisse a rotação esperada.

Essas dificuldades mostram a diferença entre o modelo teórico, que opera sob condições ideais (sem perdas), e o comportamento real do protótipo, onde fatores como vedação, atrito e dissipação térmica afetam diretamente o desempenho do sistema.

Mesmo sem alcançar uma rotação mensurável, o projeto proporcionou uma compreensão prática do funcionamento termodinâmico do Motor Stirling, reforçando conceitos termodinâmicos, eficiência e ciclo de Carnot. Além disso, o caráter didático do modelo construído já demonstra potencial para uso em atividades de ensino, permitindo que estudantes visualizem o funcionamento de um motor de combustão externa, podendo, também, ser replicado para fins didáticos por estudantes e professores interessados em estudos termodinâmicos.

4. CONCLUSÕES

Este projeto foi desenvolvido a fim de aprimorar os conhecimentos sobre o Motor Stirling, visando construir um protótipo funcional para medir sua rotação máxima e com propósito de ser replicado em escolas. A pesquisa teórica confirmou a relevância do motor pela sua segurança e eficiência, operando por combustão externa e um ciclo termodinâmico próximo ao de Carnot. Contudo, a fase prática revelou desafios significativos como: fragilidade dos materiais, o atrito e o escape de pressão comprometeram o desempenho do protótipo, impedindo a medição desejada. Algumas melhorias estão sendo analisadas para que se torne plenamente funcional.

5. REFERÊNCIAS

CICLO de Stirling. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/ciclo_stirling.htm. Acesso em: 2 jun. 2025.

HELERBROCK, R. **Motor Stirling**. Disponível em: https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/motor-stirling.htm. Acesso em: 15 jun. 2025.

MECÂNICA, E. **Trabalho Acadêmico Integrador 1**. Disponível em: https://www.ifmg.edu.br/arcos/ensino-1/tai/20171_TAI1_Motorstirling.pdf. Acesso em: 15 jun. 2025.

NOVENTA, G. N. F. M. **Projeto de um motor Stirling didático e análise de resultados**. Disponível em: https://engenhariamecanica.ufes.br/sites/engenhariamecanica.ufes.br/files/field/anexo/2014-1-_gilberson_neves_e_mikael_martins.pdf. Acesso em: 26 jun. 2025.

SILVEIRA, Pedro Lucas Gomes de Souza; FRAGA, Francisco Edson Nogueira. **Influência da densidade do pistão regenerador do Motor Stirling tipo gama sobre a eficiência térmica em um protótipo de baixo custo**. Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica, v. 2, n. 1, p. 201-209, 2020.

STIRLING Engine Design Manual. Disponível em: https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19830022057/downloads/19830022057.pdf. Acesso em: 22 ago. 2025.

RILEY, P. H. The myth of the high-efficiency external-combustion Stirling engine. *Engineering*, v. 7, n. 12, p. 789-795, 2015. DOI: 10.4236/eng.2015.712068. Disponível em: https://file.scirp.org/Html/1-8102493_62006.htm. Acesso em: 3 nov. 2025.

22 MODELO GUMBEL AUTORREGRESSIVO PARA DADOS CLIMÁTICOS

RESUMO

Este trabalho propõe um novo modelo de séries temporais, o GUMBEL-AR(p), baseado na distribuição de Gumbel reparametrizada pela média. O objetivo é modelar dados com dependência temporal, como os encontrados em eventos climáticos extremos, que frequentemente violam a premissa de normalidade dos modelos ARMA tradicionais. A performance do modelo é avaliada por meio de simulações de Monte Carlo, analisando o viés, desvio padrão e EQM dos estimadores. Os resultados indicam que os estimadores de máxima verossimilhança condicional são consistentes, convergindo para os valores verdadeiros com o aumento do tamanho amostral.

ABSTRACT

This work proposes a new time series model, GUMBEL-AR(p), based on the Gumbel distribution reparameterized by the mean. The objective is to model data with temporal dependence, such as that found in extreme climatic events, which often violate the normality assumption of traditional ARMA models. The model's performance is assessed through Monte Carlo simulations, analyzing the bias, standard deviation, and MSE of the

Palavras-chave: Modelo Gumbel Autorregressivo, Séries Temporais, Valores Extremos, Simulação Monte Carlo, Distribuição Gumbel.

Maria Eliza Castro[1];
Moizés da Silva Melo[2];
Laís Helen Loose[2]

1 Orientadora, Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

2 Co-autora, Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

estimators. The results indicate that the conditional maximum likelihood estimators are consistent, converging to the true values as the sample size increases.

Keywords: Autoregressive Gumbel Model, Time Series, Extreme Values, Monte Carlo Simulation, Gumbel Distribution.

1. INTRODUÇÃO

Eventos climáticos extremos recentes exigem análises rigorosas de dados meteorológicos, os quais frequentemente apresentam autocorrelação. A distribuição Gumbel destaca-se na modelagem desses eventos. A maioria dos dados relacionados a eventos climáticos, como a precipitação, apresenta autocorrelação, ou seja, as observações apresentam uma dependência serial entre elas. No entanto, muitos estudos frequentemente optam por modelos que pressupõem a independência dos dados, o que pode conduzir a uma modelagem inadequada.

Ao lidar com dados que apresentam autocorrelação, a abordagem mais utilizada consiste na classe dos modelos autorregressivos e de médias móveis (ARMA) (Box et al., 2015). Nesse contexto, este trabalho propõe um novo modelo de séries temporais baseado na distribuição de Gumbel, denominado GUMBEL-AR(p), que incorpora dependência temporal e tem seu desempenho avaliado por meio de estudos de simulação, permitindo uma modelagem mais adequada de dados associados a eventos climáticos extremos. Destaca-se que, até o momento, não se encontra na literatura um modelo dinâmico que combine a distribuição de Gumbel com uma estrutura autorregressiva, o que motiva a proposta apresentada e visa ampliar a análise desse conjunto de dados em relação às técnicas atualmente empregadas na modelagem de eventos extremos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção apresenta uma introdução aos principais conceitos relacionados à distribuição Gumbel e ao novo modelo proposto, bem como o desenvolvimento do estudo de simulação.

2.1 Distribuição Gumbel

A distribuição de Gumbel é comumente utilizada para modelar eventos extremos. Sua função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(y;\alpha,\delta) = \frac{1}{\alpha} exp\left[-\frac{y-\delta}{\alpha} - exp\left(-\frac{y-\delta}{\alpha}\right)\right]$$

em que é parâmetro de escala e o parâmetro de posição. Sendo sua função de distribuição acumulada dada por:

$$F(y;\alpha,\delta) = exp\left[-exp\left(-\frac{y-\delta}{\alpha}\right)\right]$$

Com o objetivo de obter uma estrutura dinâmica mais simples, facilitando a interpretação dos parâmetros do modelo, será utilizada uma reparametrização da distribuição Gumbel em termos da média (μ). A média de uma variável aleatória com distribuição Gumbel é dada por:

$$E(Y)=\mu=\delta+0{,}5772\alpha$$

em que o valor corresponde à constante de Euler–Mascheroni. A partir dessa relação, pode-se reescrever a distribuição substituindo o parâmetro $\delta=\mu-0.5772\alpha$.

Reescrevendo a função densidade, tem-se a seguinte função de densidade de probabilidade da distribuição Gumbel baseada na média:

$$f(y;\alpha,\mu) = \frac{1}{\alpha}exp\left[-\frac{y-\mu+0.5772\alpha}{\alpha} - exp\left(-\frac{y-\mu+0.5772\alpha}{\alpha}\right)\right], y \in R$$

2.2 Modelo Gumbel Autorregressivo

Seja $Y=(Y_1,...,Y_n)^T$ um vetor com variáveis aleatórias, em que a distribuição condicional de $Y_t, t=1,...n$, dado um conjunto de informação prévia F_{t-1}, segue uma distribuição Gumbel considerando a reparametrização. A função de densidade de probabilidade condicional de Y_t, dado F_{t-1}, é dada por:

$$f(F_{t-1}) = \frac{1}{\alpha}exp\left[-\frac{y-\mu+0.5772\alpha}{\alpha} - exp\left(-\frac{y-\mu+0.5772\alpha}{\alpha}\right)\right]$$

em que $E(Y_t \mid F_{t-1})=\mu_t$ é a média condicional de Y_t.

A estrutura dinâmica do modelo GUMBEL-AR(p) proposto é escrita como:

$$g(\mu_t) = \beta_0 + x_t{}^T\beta + \sum_{j=1}^{p}\phi_j\left(g(y_{t-j}) - x_{t-j}{}^T\beta\right), \qquad t = 1,\dots,n,$$

em que $\beta_0 \in R$ é uma constante, x_t é o vetor de covariáveis, $\beta=(\beta_1,...,\beta_k)^T$ é o vetor de parâmetros relacionados às covariáveis de x_t, e $\phi=(\phi_1,...,\phi_p)$ são os parâmetros autorregressivos.

A estimação dos parâmetros do modelo pode ser realizada pelo método da máxima verossimilhança condicional. Considere $\gamma=(\beta_0,\beta^T,\phi^T,\alpha)^T$ o vetor de parâmetros a ser estimado. O logaritmo da função de verossimilhança condicional é dado por:

$$l(\gamma) = \sum_{t=m+1}^{n} logf(y;t;;\alpha\mu tFt-1),$$

em que $m=max(p)$. Os estimadores de máxima verossimilhança condicional (EMVCs) são obtidos ao maximizar $l(\gamma)$.

2.3 Estudo de Simulação

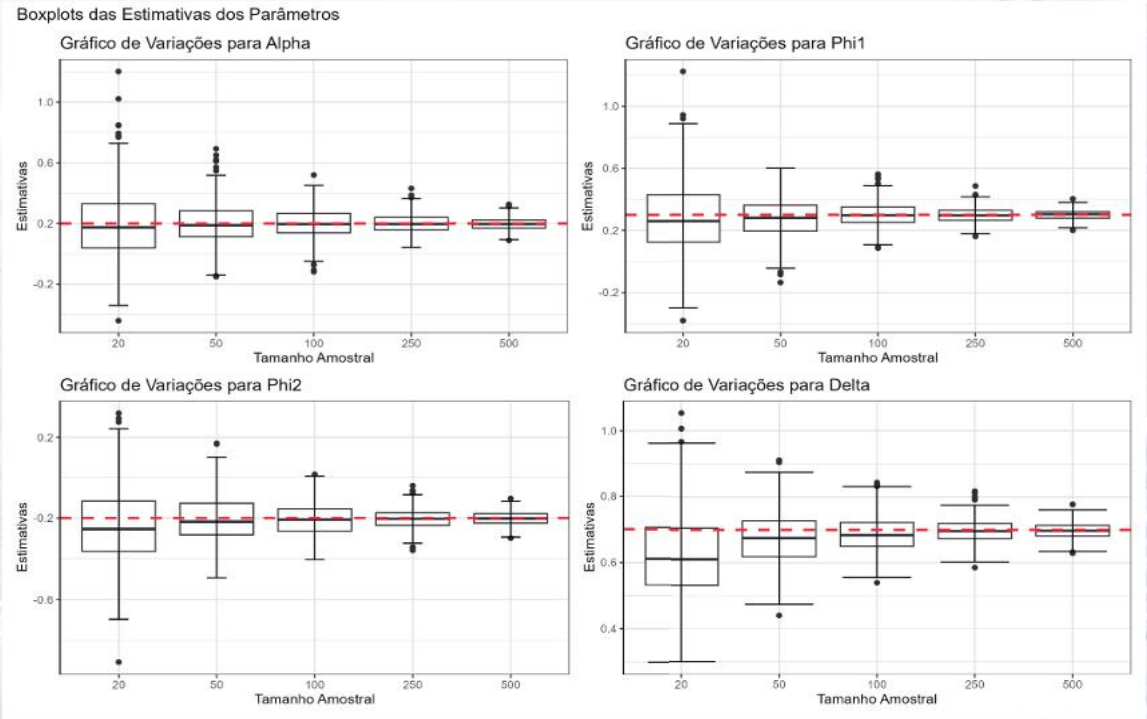
Um estudo de simulação de Monte Carlo foi realizado com o objetivo de avaliar o desempenho dos estimadores do novo modelo. Foram consideradas réplicas em cada cenário simulado. As principais características do estudo foram:

- **Tamanhos amostrais:** $n = 20,50,100,250$ e 500.
- **Parâmetros fixos:** $\alpha = 0,2$; $\phi_1 = 0,3$; $\phi_2 = -0,2$; $\delta = 0,7$.
- **Métricas avaliadas:** viés, desvio padrão (DP) e erro quadrático médio (EQM).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 1 apresenta os boxplots dos resultados do estudo de simulação. Observa-se que o viés dos estimadores dos parâmetros α e ϕ_1 é próximo de zero, independentemente do tamanho amostral. Por outro lado, o estimador do parâmetro δ apresenta viés mais acentuado em amostras pequenas, o qual diminui à medida que o tamanho da amostra aumenta. Quanto ao erro quadrático médio, definido como a soma do viés ao quadrado e da variância, verifica-se que diminui à medida que o tamanho amostral aumenta, evidenciando a consistência dos estimadores obtidos por máxima verossimilhança condicional.

Figura 1 - Boxplots dos resultados do estudo de simulação de Monte Carlo



Fonte: autores.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos nas simulações de Monte Carlo, verificou-se que os estimadores do modelo GUMBEL-AR(p) são consistentes. Em amostras pequenas houve maior variabilidade e viés (sobretudo em δ e φ_2), mas, com o aumento do tamanho amostral, observou-se convergência para os valores verdadeiros, com redução de viés, desvio padrão e EQM.

5. REFERÊNCIAS

1. BENJAMIN, M. A.; RIGBY, R. A.; STASINOPOULOS, D. M. Generalized autoregressive moving average models. **Journal of the American Statistical association**, v. 98, n. 461, p. 214-223, 2003.

2. BOURGUIGNON, Marcelo; NASCIMENTO, Fernando Ferraz do. Regression models for exceedance data: a new approach. **Statistical Methods & Applications**, v. 30, n. 1, p. 157-173, 2021.

3. BOX, George E. P. et al. **Time series analysis: forecasting and control**. [S. l.]: John Wiley & Sons, 2015.

23 DESENVOLVIMENTO DE UM MOLDE 3D PARA SECAGEM DE SABÃO: UMA EXPERIÊNCIA DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA

RESUMO

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de protótipos de moldes para a produção de sabão, elaborados em parceria com a Escola Estadual Antônio Vicente da Fontoura, no âmbito do projeto de extensão "Desmistificando as Ciências Exatas". Os moldes foram idealizados e desenhados pelos alunos da escola após a participação em um minicurso de desenho digital utilizando o software *Tinkercad,* ministrado por acadêmicos participantes do projeto. A confecção dos modelos ocorreu nas impressoras 3D disponíveis no Campus Cachoeira do Sul da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM-CS). O objetivo principal da iniciativa é apoiar o projeto de produção de sabão já existente na escola, promovendo a integração entre universidade e comunidade escolar e incentivando o uso de ferramentas tecnológicas na resolução de problemas.

Palavras-chave: Moldes, sabão, impressão 3D.

Anderson Machado Borba[1]; Camila Becker Picoloto[2]; Débora Faoro[2]; Matheus Fritz Warol Porto Rodrigues[1]; Cassio Yuri Oliveira dos Santos[1]; Adylson Hahn[1]; Gabriel Rodrigues Jacobi[1]; Arthur Ferretti Goncalves[1]

1 Curso de Engenharia Mecânica, Coordenação acadêmica, Universidade Federal de Santa Maria - Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

2 Coordenação acadêmica, Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

ABSTRACT

This paper presents the development of prototype molds for soap production, created in partnership with *Escola Estadual Antônio Vicente da Fontoura* as part of the extension project "Demystifying the Exact Sciences". The molds were conceived and designed by the school's students after participating in a digital design workshop using the Tinkercad software, taught by a scholarship holder from the project. The models were then manufactured using the 3D printers available at the Cachoeira do Sul Campus of the Federal University of Santa Maria (UFSM-CS). The main objective of this initiative is to support the school's existing soap production project, fostering integration between the university and the school community, while promoting the use of technological tools for problem-solving.

Keywords: molds, soap, 3D-printed.

1. INTRODUÇÃO

O projeto de extensão "Desmistificando as Ciências Exatas" atua na Escola Estadual Antônio Vicente da Fontoura, com o propósito de promover a integração entre a universidade e a comunidade escolar por meio da popularização da ciência e da tecnologia. As ações desenvolvidas no segundo semestre de 2025 incluíram encontros e conversas sobre oportunidades acadêmicas, monitorias nas áreas de Física, Química e Matemática, além de oficinas e atividades práticas voltadas à aprendizagem e à aproximação dos estudantes com as ciências exatas.

A extensão universitária[1,2,3] exerce papel fundamental na aproximação entre universidade e sociedade, especialmente nas escolas públicas, ao possibilitar a troca de saberes, articular teoria e prática e ampliar o acesso à inovação pedagógica e às tecnologias, fortalecendo a formação cidadã e o compromisso social da universidade.

Durante o acompanhamento das atividades da escola, foi identificada uma demanda relacionada à produção de sabão caseiro realizada pelos alunos. Essa prática é desenvolvida com o intuito de aproximar os conteúdos teóricos da disciplina de Química de situações do cotidiano e, adicionalmente, promover o empreendedorismo, uma vez que os estudantes comercializam os produtos confeccionados. No entanto, o processo apresentava falhas na padronização dos sabões, visto que os moldes improvisados — caixas de leite — não garantiam uniformidade nas barras, ocasionando desperdício de material e variação no produto final.

Com o objetivo de solucionar essa questão, propôs-se o desenvolvimento de moldes tridimensionais, desenhados pelos próprios alunos após a participação em um minicurso

de modelagem digital utilizando o software *Tinkercad*[4], ministrado por acadêmicos participantes do projeto. Os moldes foram posteriormente impressos nas impressoras 3D do Campus Cachoeira do Sul da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM-CS) e entregues à escola, promovendo melhorias no processo de fabricação e incentivando o uso de ferramentas tecnológicas aplicadas à resolução de problemas reais.

A atividade, além de contribuir para o projeto desenvolvido na escola, promove o desenvolvimento de novas habilidades nos alunos. Segundo Santos e Andrade[5] (2020), o uso da impressão 3D em atividades escolares favorece o desenvolvimento do pensamento *maker* por meio da construção e da exploração de materiais. Esse tipo de pensamento baseia-se no conceito de "mão na massa" (*hands-on*) e no princípio do "faça você mesmo" (*do it yourself*), incentivando os estudantes a desenvolverem a criatividade e, consequentemente, a aprimorarem sua capacidade de resolução de problemas.

Para o desenvolvimento dessas habilidades, foi necessário selecionar um software de modelagem digital adequado, levando em consideração a pouca ou nenhuma familiaridade dos usuários com esse tipo de ferramenta, bem como as dificuldades inerentes ao uso de softwares tradicionalmente empregados no ensino superior e na indústria. De acordo com Xavier[6] et al. (2025), um dos principais desafios da aplicação da impressão 3D no ensino básico é a introdução do desenho digital, em razão da dificuldade que indivíduos fora das áreas de design e das ciências exatas apresentam ao utilizar tais ferramentas. Essa dificuldade costuma ser superada apenas com a prática adquirida ao longo de anos de estudo e de atuação no ensino superior e no mercado de trabalho — tempo do qual tanto professores quanto alunos da educação básica geralmente não dispõem.

Para contornar esse problema, o *Tinkercad*[4] mostrou-se a ferramenta mais adequada para o presente trabalho, devido à sua interface simples, comandos intuitivos e à disponibilidade de diversos tutoriais integrados à plataforma, que facilitam o processo de aprendizagem. Além disso, por se tratar de um software online gratuito, não exige equipamentos de alto custo nem elevado poder computacional.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do trabalho, foram utilizados os *Chromebooks* disponibilizados pela escola, o software gratuito e baseado em navegador *Tinkercad*[4] para o desenvolvimento dos desenhos, filamentos de impressão 3D dos tipos ácido polilático (PLA) e poliuretano termoplástico (TPU), além das impressoras 3D disponíveis no laboratório do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul (UFSM-CS).

Inicialmente, foi ministrado um minicurso de desenho tridimensional para as três turmas do segundo ano do ensino médio, com o objetivo de capacitar os alunos no uso do software *Tinkercad*[4] (Figura 1). Em seguida, foi apresentada aos estudantes uma proposta

de molde desenvolvida por acadêmicos do projeto, que poderia servir de referência para as criações. Ao final do curso, solicitou-se que os alunos enviassem suas próprias ideias de moldes para o e-mail institucional do projeto, a fim de serem avaliadas quanto à viabilidade de confecção. O modelo selecionado foi, então, encaminhado para produção, sendo impresso nos dois tipos de filamento: TPU e PLA.

Figura 1: (a) e (b) Fotos da oficina sobre o software Tinkercad4 realizada com os alunos do segundo ano do ensino médio.

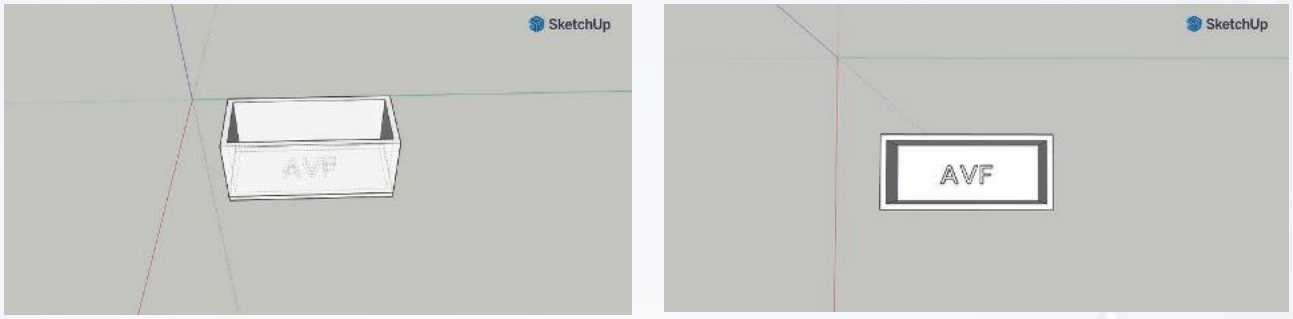


RESULTADOS E DISCUSSÕES

Parte dos alunos demonstrou interesse e comprometimento em desenvolver um protótipo funcional, sendo que um deles já apresentava domínio de softwares mais avançados, como o *SketchUp*[7]. Entretanto, observou-se que o restante da turma mostrou menor engajamento, configurando um dos desafios enfrentados pelo projeto de extensão.

Na Figura 2, apresentam-se imagens do protótipo inicial desenvolvido por um dos alunos. Embora o modelo apresente algumas falhas — posteriormente identificadas pelos membros do projeto —, ele foi impresso em TPU (Figura 3) com o objetivo de avaliar os resultados do processo de produção e demonstrar aos alunos da escola a importância de um planejamento cuidadoso dos detalhes do modelo antes de avançar para a etapa de fabricação.

Figura 2: (a) Vista lateral e (b) vista superior do projeto tridimensional desenvolvido por um aluno da escola na oficina sobre modelagem tridimensional.



(a) (b)

Figura 3: Impressão 3D do primeiro protótipo de molde para o sabão.



O protótipo foi produzido utilizando dois tipos distintos de filamento, com o objetivo de avaliar qual deles apresenta melhor desempenho quanto à manutenção da forma e à facilidade de desenformar o sabão: PLA, material de maior rigidez, e TPU, caracterizado por sua flexibilidade. Ambos os filamentos apresentaram bons resultados durante o processo de impressão. Embora os moldes tenham sido testados na produção do sabão e com estimativa que do modelo em TPU ser o mais adequado, por oferecer maior maleabilidade e praticidade no momento do desenforme, ainda serão feitos mais testes e avaliações para atestar sua aplicabilidade.

CONCLUSÕES

O molde desenvolvido foi testado em condições práticas, tendo sido observado que ele atende satisfatoriamente à atual demanda de produção de sabão da escola, possibilitando a confecção de unidades suficientes para as atividades experimentais. Contudo, ainda se faz necessário realizar mais testes com os moldes a fim de confirmar o material mais adequado para a produção. Além disso, o modelo pode ser aperfeiçoado, tanto em relação

à capacidade produtiva quanto à eficiência no processo de moldagem. Para isso, propõe-se o desenvolvimento de um novo design, mais sofisticado e otimizado, que poderá ser elaborado por alunos de turmas futuras, com o acompanhamento e suporte técnico da equipe do projeto. A continuidade dessa iniciativa visa fortalecer o caráter educativo, colaborativo e dinâmico do projeto, estimulando o aprendizado coletivo, o pensamento crítico e o uso de tecnologias acessíveis para a resolução de problemas reais no ambiente escolar.

REFERÊNCIAS

NASCIMENTO, A. S.; DÓRIA, L. F.; LINARD, M. C. S.; BASTOS, E. M. A Importância da Extensão Universitária na Formação Acadêmica e Profissional. **Anais do IV Congresso Nacional de Educação**. ISSN: 2358-8829

SÍVERES, L. A Extensão universitária como um princípio de aprendizagem. Brasília: Liber Livro, 2013.

DIAS, A. C. M. F.; MELO, E. C. A.; SILVA, G. S. M.; SIQUEIRA, M. F. H.; SILVA, Y. C. M. Extensão Universitária: O Impacto das Ações Extensionistas Desenvolvidas pelo Projeto de Extensão Lampiar nas Escolas Públicas. **Revista EXTENDERE**, v. 10 n. 1, 2024.

TINKERCAD. Disponível em: https://www.tinkercad.com

SANTOS, J. T. G.; ANDRADE, A. F. DE. Impressão 3D como Recurso para o Desenvolvimento de Material Didático: Associando a Cultura Maker à Resolução de Problemas. **RENOTE**, v. 18, n. 1, 31 jul. 2020.

XAVIER, D. C. DO N. et al. PERSPECTIVAS INTERDISCIPLINARES E SOBRE IMPRESSÃO 3D NA EDUCAÇÃO BÁSICA. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 11, n. 11, p. 586–596, 4 nov. 2025.

SKETCHUP. Disponível em: https://sketchup.trimble.com

24 MATERIAIS DA ENDURANCE - COMPÓSITOS, LIGAS E BLINDAGEM NO ESPAÇO

RESUMO

Interstellar (2014), dirigido por Christopher Nolan, apresenta um cenário de colapso agrícola na Terra e uma missão da NASA para buscar mundos habitáveis por meio de um atalho espaço-temporal. Para conferir verossimilhança científica, o físico teórico Kip Thorne (Prêmio Nobel de Física, 2017) atuou como consultor nos conceitos e nos efeitos visuais de fenômenos como buracos de minhoca e buracos negros. Este trabalho analisa, sob a ótica da Ciência dos Materiais, a nave Endurance como estudo de caso, confrontando soluções apresentadas no filme com materiais e arquiteturas reais empregadas em ônibus espaciais, sondas e veículos orbitais.

ABSTRACT

Interstellar (2014), directed by Christopher Nolan, presents a scenario of agricultural collapse on Earth and a NASA mission to search for habitable worlds via a space–time shortcut. To ensure scientific plausibility, theoretical physicist Kip Thorne (Nobel Prize in Physics, 2017) served as a consultant on the concepts and visual effects of phenomena such

Palavras-chave: Endurance, seleção de materiais, ficção científica.

Raissa Veiga[1];
Rithiele dos Santos Ferreira[1];
Yara de Mattos Silva[1];
Camila dos Santos Torres[2]

1 Graduanda de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Maria - Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.
2 Coordenação acadêmica, Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

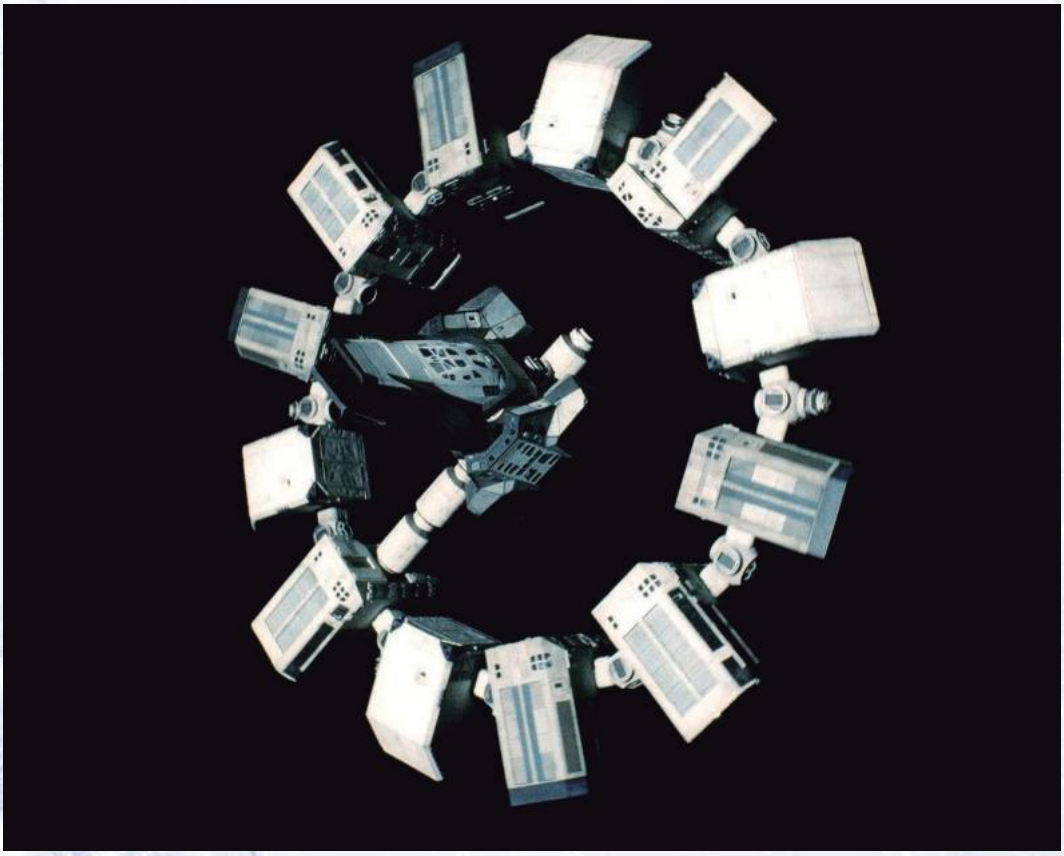
as wormholes and black holes. This paper analyzes, from a Materials Science perspective, the Endurance spacecraft as a case study, comparing solutions depicted in the film with real materials and architectures used in space shuttles, probes, and orbital vehicles.

Keywords: Endurance, materials selection, science fiction.

1. INTRODUÇÃO

Interstellar conta a história de quatro astronautas que atravessam um buraco de minhoca rumo a um sistema distante em busca de um novo lar para a humanidade [1,2]. A nave Endurance, composta por 12 módulos dispostos em anel, foi concebida com forte compromisso de verossimilhança física, inclusive na geração de gravidade artificial por rotação: com 64 m de diâmetro, o anel gira a 5,6 rpm, valor estimado para produzir aceleração próxima à gravidade terrestre [1–3]. Os Rangers (módulos de pouso) possuem cerca de 20 m de comprimento, estimativas citam que a Endurance tenha uma massa de 1600 toneladas, enquanto o módulo de pouso tem uma massa de 80 toneladas [4].

FIGURA 1: Endurance (frame do filme *Interstellar*, 2014).



Fonte: *Interstellar*, dir. Christopher Nolan, 2014. © Warner Bros. Pictures; Paramount Pictures[1] Reproduzido para fins educacionais.

Em ambientes de exploração espacial, os materiais precisam suportar variações térmicas extremas, vácuo (e desgaseificação), radiação ionizante e impactos de micrometeoroides/detritos. Além disso, a redução de massa é um critério central de projeto, pois cada quilograma adicional aumenta significativamente a demanda de propelente [5]. Desta forma, este trabalho analisa a Endurance como estudo de caso em seleção de materiais e arquiteturas estruturais, relacionando escolhas plausíveis de compósitos, ligas e sistemas de proteção às funções da nave e aos cenários mostrados no filme.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi conduzida uma revisão bibliográfica sobre materiais empregados em veículos e habitats espaciais (NASA/ESA, literatura técnica e artigos de revisão), visando estimar soluções possíveis para a nave Endurance. Adotaram-se como premissas dados públicos do filme (anel com 64 m de diâmetro; 5,6 rpm; módulos ~20 m), apenas para enquadramento dimensional. Compararam-se alternativas amplamente utilizadas: compósitos de fibra de carbono (CFRP) para estruturas primárias e painéis sanduíche; ligas Al-Li e titânio (Ti-6Al-4V) em juntas e regiões de alta solicitação e isolamento multicamada (MLI) para controle radiativo. O resultado é um mapeamento componente/material que prioriza desempenho específico, compatibilidade térmica e proteção ambiental (micrometeoroides e detritos orbitais (MMOD)/radiação), reconhecendo as incertezas inerentes à extrapolação de uma obra de ficção.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Endurance operaria sob vácuo, radiação, ciclos térmicos amplos e MMOD. Nessas condições, materiais comuns podem trincar, perder resistência ou degradar com a luz UV. Sendo assim, analisamos quais materiais usados hoje em missões espaciais seriam plausíveis para cada parte da nave.

Para a estrutura principal, a opção mais provável são compósitos de fibra de carbono (CFRP). Eles oferecem alta resistência com pouco peso, o que ajuda a economizar propelente. Em regiões de maior esforço (junções e suportes), são indicadas ligas de titânio e ligas de alumínio com lítio (Al-Li), que suportam cargas concentradas e têm bom desempenho mecânico [5].

O controle térmico exige isolamento multicamada (MLI), que são as mantas prateadas vistas em satélites. Elas reduzem a troca de calor por radiação e protegem os módulos pressurizados [5,6]. Para proteção contra micrometeoroides, utiliza-se o escudo *Whipple*, formado por camadas espaçadas: o primeiro impacto quebra o projétil em fragmentos menores, diminuindo o dano na camada final [7].

Em aplicações não estruturais, aparecem materiais com funções adicionais. Revestimentos com nanopartículas (por exemplo, grafeno ou MXenes) podem proteger

eletrônicos contra interferência eletromagnética e distribuir melhor o calor em painéis [5,8]. Há também polímeros autorreparáveis que selam microtrincas quando acionados por calor ou luz, úteis em revestimentos, porém, sua adoção depende de testes de vácuo e ciclos térmicos para evitar problemas como liberação de gases [5]. Em síntese, os resultados indicam que uma configuração realista combina materiais já consolidados no setor espacial (CFRP, Al-Li, titânio, MLI e escudos *Whipple*) com camadas funcionais de nova geração apenas onde houver ganho comprovado. Essa combinação busca equilíbrio entre massa, proteção e integridade estrutural, requisitos essenciais para missões de longa duração.

4. CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo, com base em requisitos aeroespaciais, indicam que a Endurance demandaria CFRP em painéis e anéis estruturais (alta rigidez específica), ligas metálicas, sobretudo Ti-6Al-4V e Al-Li, em juntas e regiões de carga concentrada, e proteções estratificadas (MLI e escudos *Whipple*) para controle térmico e mitigação de impactos/radiação. Esse arranjo busca o equilíbrio entre massa, proteção e integridade estrutural sob ciclos térmicos e vácuo espacial. Como limitação, trata-se de estimativas plausíveis ainda sem validação experimental.

5. REFERÊNCIAS

STEWART, J. **Inside the Interstellar spaceship factory**. *BBC Future*, 7 abr. 2015. Disponível em: <https://www.bbc.com/future/article/20150407-inside-a-movie-spaceship-factory> Acesso em: 07 nov. 2025.

INTERSTELLAR. Direção: Christopher Nolan. Estados Unidos: Warner Bros. Pictures; Paramount Pictures, 2014. Filme.

TATE, K. **The Spaceships of "Interstellar" Explained (Infographic)**. Space.com, 7 nov. 2014. Disponível em: <https://www.space.com/27694-interstellar-movie-spaceships-infographic.html> Acesso em: 7 nov. 2025

GIRIJA, A. P. **Solution of Euler's Equations of Motion for Near Symmetric Rigid Bodies Subject to Constant Moments**. ResearchGate, 2016. Disponível em:<https://www.researchgate.net/publication/311639582_Solution_of_Euler's_E quations_of_Motion_for_Near_Symmetric_Rigid_Bodies_Subject_to_Constant_ Moments>. Acesso em: 7 nov. 2025.

WANI, N.; AGGARWAL, K.; BISHNOI, S.; SHUKLA, P. K.; HARURSAMPATH, D.;

GARG, A. **Materials used in space shuttle: evolution, challenges, and future prospects — an overview.** *Composites Part B: Engineering*, v. 303, e112540, 2025. DOI: 10.1016/j.compositesb.2025.112540.

BURR, K. **Reusable lightweight modular multi-layer insulation for Space Shuttle.** Technical Report, 1973.

NASA – Hypervelocity Impact Technology (HVIT). **Shield Development.** Disponível em: <https://hvit.jsc.nasa.gov/shield-development/>. Acesso em: 7 nov. 2025.

JEON, J.; YANG, Y.; CHOI, H.; PARK, J-H.; LEE, B.H.; LEE, S. **MXenes for future nanophotonic device applications.** Nanophotonics, v. 9, n. 7, p. 1831–1853, 2020. DOI: 10.1515/nanoph-2020-0060.

25 DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE YOUNG EM HASTE UTILIZANDO UM SMARTPHONE

RESUMO

Na física newtoniana, os corpos são frequentemente idealizados como rígidos, isto é, sem variações nas distâncias internas entre seus pontos. No entanto, todos os materiais reais apresentam graus de elasticidade, sendo suscetíveis a pequenas elongações quando submetidos a forças externas. O estudo dessas propriedades elásticas é essencial para compreender o comportamento mecânico dos materiais, destacando-se o Módulo de Young (E), que relaciona a tensão aplicada ($\vec{F}/A$) à deformação relativa ($\Delta L/L$). A determinação experimental desse módulo pode ser realizada por métodos estáticos, baseados na medição direta de deformações, ou por métodos dinâmicos, que utilizam frequências de oscilação natural ou ressonância. O uso de dispositivos móveis como instrumentos de medidas experimentais representa uma alternativa acessível e didática, ampliando as possibilidades de ensino e aprendizagem de conceitos de física e engenharia em diferentes contextos educacionais. Neste trabalho, empregou-se o método dinâmico para determinar o Módulo de Young em hastes metálicas de alumínio e aço, fixadas em uma extremidade e livres na outra. As frequências naturais de oscilação foram medidas utilizando o aplicativo Phyphox, instalado em um smartphone Samsung M53, que utiliza seus sensores internos para registrar variações de movimento.

Palavras-chave: Módulo de Young, elasticidade, método dinâmico, Phyphox, smartphone, ensino de física e engenharia.

Rafael Domingues Della Pace[1];
Lucas Alves Lamberti[1];
Diogo Pauletti[1];
Lucas Tavares Cardoso[1];
Fábio Beck[1]

1 Universidade Federal de Santa Maria - CS

ABSTRACT

In Newtonian physics, bodies are often idealized as rigid, that is, without variations in the internal distances between their points. However, all real materials exhibit degrees of elasticity and are susceptible to small elongations when subjected to external forces. The study of these elastic properties is essential for understanding the mechanical behavior of materials, with particular emphasis on Young's modulus (E), which relates the applied stress ($\vec{F}/A$) to the relative deformation ($\Delta L/L$). The experimental determination of this modulus can be performed either by static methods, based on the direct measurement of deformations, or by dynamic methods, which make use of natural oscillation frequencies or resonance. The use of mobile devices as experimental measurement instruments represents an accessible and didactic alternative, expanding the possibilities for teaching and learning physics and engineering concepts in different educational contexts. In this study, the dynamic method was employed to determine Young's modulus in metallic aluminum and steel rods, fixed at one end and free at the other. The natural oscillation frequencies were measured using the Phyphox application installed on a Samsung M53 smartphone, which uses its internal sensors to record motion variations.

Keywords: Young's modulus, elasticity, dynamic methods, Phyphox, smartphone, learning physics and engineering.

1. INTRODUÇÃO

O uso de smartphones como ferramentas didáticas tem crescido nos últimos anos permitindo que os professores abordem diversos tópicos de física de forma experimental. Os smartphones possuem diversos sensores para registrar o movimento do dispositivo, como vibrações, rotação, inclinação ou aceleração linear entre outras. Como a maioria dos alunos possui esse tipo de dispositivo móvel, o mesmo torna-se uma ferramenta tecnológica para auxiliar o docente em uma nova maneira de conduzir atividades experimentais em sala de aula [1-6].

No estudo da mecânica newtoniana, por exemplo, de forma idealizada, consideramos os corpos como sendo rígidos. No entanto, em materiais reais é possível mostrar que os corpos apresentam elasticidade e podem estar sujeitos a elongações parciais, o que torna o estudo de propriedades elásticas muito importante, em especial, o Módulo de Young [7,8].

O Módulo de Young (Y) corresponde à relação entre a tensão aplicada ($\vec{F}/A$) e a deformação relativa produzida no material ($\Delta L/L$). Para essa definição ser válida, considera-se que o comprimento do corpo seja muito maior do que suas dimensões transversais [9]. A determinação experimental do Módulo de Young pode ser realizada por dois tipos de procedimento: métodos estáticos e métodos dinâmicos [9,10]. Nos métodos estáticos, o Módulo de Young é determinado ao submeter a amostra a uma força e medir a deforma-

ção elástica resultante. Exemplos clássicos incluem a medição do alongamento de um fio sob tração e a observação do deslocamento da extremidade livre de uma barra e a outra fixa. Nos métodos dinâmicos, E pode ser obtido a partir da frequência natural de oscilação de uma haste com uma carga aplicada na extremidade livre ou por meio das frequências de ressonância de uma barra vibrando lateralmente com uma ou ambas as extremidades fixas [8,12].

Neste contexto, empregou-se o método dinâmico para a determinação do Módulo de Young. O procedimento experimental consistiu na utilização de hastes metálicas de aço e alumínio, fixadas em uma de suas extremidades e livres na outra, cujas frequências naturais de oscilação foram medidas por meio de um smartphone Samsung M53, utilizando o aplicativo Phyphox e os sensores internos do dispositivo. Considerando a ampla difusão desses aparelhos entre as pessoas no mundo inteiro, torna-se oportuno empregá-los como recurso para a mensuração de diferentes grandezas físicas, seja em sala de aula, no laboratório ou domiciliar.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Módulo de Young em Materiais

O Módulo de Young E é uma das constantes elásticas fundamentais que descrevem o comportamento mecânico dos sólidos no regime elástico. Sua definição clássica surge da lei de Hooke uniaxial, que relaciona a tensão σ com a deformação específica ε:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/A}{\Delta L/L_0}. \qquad (1)$$

onde F é a força aplicada, A é a área da seção transversal, L_0 é o comprimento inicial e ΔL é a variação de comprimento da amostra [14].

2.2 Formulação Tensorial

De forma mais geral, em três dimensões, o estado de tensões em um ponto do corpo é descrito pelo tensor de tensões de Cauchy [15,16]

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix}. \qquad (2)$$

Enquanto as deformações são representadas pelo tensor de deformações:

$$\varepsilon_{ij} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \frac{1}{2}\gamma_{xy} & \frac{1}{2}\gamma_{xz} \\ \frac{1}{2}\gamma_{yx} & \varepsilon_{yy} & \frac{1}{2}\gamma_{yz} \\ \frac{1}{2}\gamma_{zx} & \frac{1}{2}\gamma_{zy} & \varepsilon_{zz} \end{bmatrix}. \qquad (3)$$

A relação constitutiva elástica linear é dada pela lei de Hooke generalizada:

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl}\varepsilon_{kl}, \qquad (4)$$

onde C_{ijkl} é o tensor de rigidez elástica de quarta ordem, que contém as constantes elásticas do material.

Para materiais isotrópicos, esse tensor depende apenas de duas constantes independentes, usualmente escolhidas como o Módulo de Young E e o coeficiente de Poisson ν.

2.3 Caso Isotrópico

No caso isotrópico, a lei de Hooke reduz-se a:

$$\sigma_{ij} = \lambda\delta_{ij}\varepsilon_{kk} + 2\mu\varepsilon_{ij}, \qquad (5)$$

onde λ e μ são as constantes de Lamé, e estão relacionadas com E e ν por:

$$\mu = \frac{E}{2(1+\nu)}, \qquad \lambda = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}. \qquad (6)$$

Assim, o Módulo de Young não apenas conecta a tensão e a deformação em situações uniaxiais, mas também se insere no formalismo tensorial que descreve a resposta mecânica completa de um sólido tridimensional.

2.4 Movimento Harmônico Simples Amortecido - Haste Fixa em Uma das Extremidades (Cantilever)

O movimento harmônico simples amortecido em uma haste com uma das extremidades fixa e a outra livre é descrita de teoria de Euler-Bernoulli [17]. A deflexão transversal da viga escreve-se $y(x,t)$ e, na ausência de forças externas impostas, a equação é

$$EI\frac{\partial^4 y(x,t)}{\partial x^4} + \rho A\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} + c_d(x)\frac{\partial y(x,t)}{\partial t} = 0, \qquad (7)$$

onde E é o Módulo de Young, I é o momento de inércia da seção, ρA é a massa por unidade de comprimento e $c_d(x)$ modela um amortecimento distribuído (que pode ser idealizado como viscoso). Em um problema típico experimental o engaste em $x=0$ impõe $y(0,t)=0$ e $\partial_x y(0,t)=0$; na extremidade livre em $x=L$ não existe momento nem força cortante aplicada externamente, levando às condições de contorno

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}(L,t) = 0, \qquad \frac{\partial^3 y}{\partial x^3}(L,t) = 0, \qquad (8)$$

em que a segunda derivada está relacionada ao momento fletor $M(x,t)=-EI\partial_x^2 y$ e a terceira derivada à força cortante $V(x,t) = -EI\partial_x^3 y$. Para a maioria dos ensaios de laboratório em que se excita predominantemente o modo fundamental, é conveniente reduzir o problema contínuo a um único grau de liberdade modal mediante a aproximação modal

$$y(x,t) \approx \phi_1(x)q_1(t), \qquad (9)$$

em que $\phi_1(x)$ é a forma modal do primeiro modo (normalizada convenientemente) e $q_1(t)$ a coordenada modal. Usando a ortogonalidade modal obtém-se a equação modal equivalente

$$M_{\text{eff}}\ddot{q}_1(t) + C_{\text{eff}}\dot{q}_1(t) + K_{\text{eff}}q_1(t) = 0, \qquad (10)$$

com massa modal efetiva

$$M_{\text{eff}} = M + \alpha m_b, \qquad (11)$$

onde M é qualquer massa concentrada na ponta (por exemplo, massa do celular) e $m_b=\rho AL$ é a massa total da haste; α é o fator de massa modal do modo fundamental (valor típico $\alpha \approx 0{,}236$-$0{,}25$ para Euler-Bernoulli). A rigidez efetiva vista na ponta para pequenas deflexões é

$$K_{\text{eff}} = \frac{3EI}{L^3}. \qquad (12)$$

Dividindo por M_{eff} e introduzindo

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_{\text{eff}}}{M_{\text{eff}}}}, \qquad 2\zeta\omega_n = \frac{C_{\text{eff}}}{M_{\text{eff}}}, \qquad (13)$$

chegamos à equação canônica do oscilador massa-mola amortecido:

$$\ddot{q}_1 + 2\zeta\omega_n\dot{q}_1 + \omega_n^2 q_1 = 0. \qquad (14)$$

Para o caso subamortecido $(0 \le \zeta < 1)$ [11,13,14] a solução livre é

$$q_1(t) = A_0 e^{-\zeta\omega_n t}\cos(\omega_d t + \phi), \qquad \omega_d = \omega_n\sqrt{1-\zeta^2}. \qquad (15)$$

Como o acelerômetro mede aceleração na ponta, $a(t) = \ddot{y}(L,t) \approx \phi_1(L)\ddot{q}_1(t)$. Tomando a segunda derivada da solução subamortecida obtemos, para $\zeta \ll 1$,

$$a(t) \approx -\omega_d^2 A_0 e^{-\zeta\omega_n t}\cos(\omega_d t + \phi) + O(\zeta), \qquad (16)$$

ou seja, os picos de aceleração possuem uma envoltória exponencial $A(t)=A_0\, e^{-\lambda t}$ com $\lambda=\zeta\omega_n$ (constante de amortecimento). Consequentemente, uma estratégia experimental robusta é extrair os instantes t_i e as amplitudes máximas dos picos A_i do registro de aceleração e ajustar usando a equação de decaimento exponencial $A(t)=A_0\, e^{-\lambda t}$, extraindo λ e a amplitude máxima A_0.

Paralelamente, a frequência amortecida ω_d é obtida por transformada de Fourier do sinal, que fornece a frequência máxima de oscilação f_d, $\omega_d=2\pi f_d$, ou pelo período médio entre picos consecutivos T_d, $\omega_d = 2\pi/T_d$. Conhecendo λ e ω_d calcula-se coeficiente de amortecimento adicional ζ resolvendo

$$\lambda = \zeta\omega_n, \qquad \omega_d = \omega_n\sqrt{1-\zeta^2}. \qquad (17)$$

Para $\zeta \ll 1$ usa-se a aproximação prática $\omega^n \approx \omega^d$ e, portanto,

$$\zeta \approx \frac{\lambda}{\omega_d}. \qquad (18)$$

Com ω^n obtido (explicitamente $\omega_n = \omega_d/\sqrt{1-\zeta^2}$) a expressão para o Módulo de Young segue de K_{eff}:

$$E = \frac{M_{\text{eff}}L^3}{3I}\omega_n^2 = \frac{(M+\alpha m_b)L^3}{3I}\omega_n^2, \qquad (19)$$

onde para seção retangular $I=bh^3/12$.

3. METODOLOGIA / EXPERIMENTO DIDÁTICO

O procedimento experimental foi conduzido conforme descrito a seguir. As dimensões geométricas da barra (comprimento L, largura b e altura h) foram medidas. As massas da barra (m_b) e do smartphone (M) foram aferidas utilizando uma balança de precisão. A haste foi rigidamente fixada em uma de suas extremidades, garantindo ausência de folgas. O smartphone foi rigidamente acoplado a outra extremidade livre da haste, evitando qualquer movimento relativo entre o sensor e o sistema.

A excitação inicial foi realizada com pequenas amplitudes, usando um gatilho disparador, assegurando que a barra permanecesse no regime linear de vibração e que todas as medidas tenham a mesma amplitude. O aplicativo de aquisição de dados foi configurado para operar com máxima taxa de amostragem, garantindo resolução adequada na identificação da frequência de oscilação máxima. A aquisição da aceleração foi realizada por tempo suficiente para a coleta de dezenas de picos, de forma a melhorar a estatística do ajuste exponencial.

Na etapa de análise dos dados, utilizou-se as amplitudes máximas positivas para a construção do gráfico da amplitude da aceleração em função do tempo. O ajuste exponencial dessa curva permitiu a determinação da constante de amortecimento λ, a qual foi empregada no cálculo do coeficiente de amortecimento adimensional ζ, necessário para a obtenção da frequência natural de oscilação ω_n. A frequência amortecida ω_d foi estimada de duas maneiras: (i) pela média dos intervalos entre picos sucessivos e (ii) pela aplicação da Transformada de Fourier sobre a curva de aceleração em função do tempo. Esse conjunto de parâmetros experimentais possibilitou a determinação do Módulo de Young dos materiais analisados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente trabalho, apresentaremos os resultados obtidos para uma barra de alumínio e de aço carbono. Na Figura 1(a) é apresentado o gráfico da aceleração no eixo z em função do tempo para uma barra de alumínio, obtido com o aplicativo Phyphox, utilizando o acelerômetro configurado para desconsiderar a componente da gravidade. Observa-se

claramente o comportamento típico de um movimento harmônico simples amortecido, evidenciado pelas oscilações cuja amplitude decresce ao longo do tempo. Em (b), um detalhamento da região destacada em (a) mostra o período amortecido , determinado pela distância temporal entre picos sucessivos da oscilação.

Figura 1. (a) Gráfico da aceleração no eixo-z em função do tempo. **(b)** Uma ampliação do gráfico **(a)** evidenciando o período amortecido T_d.

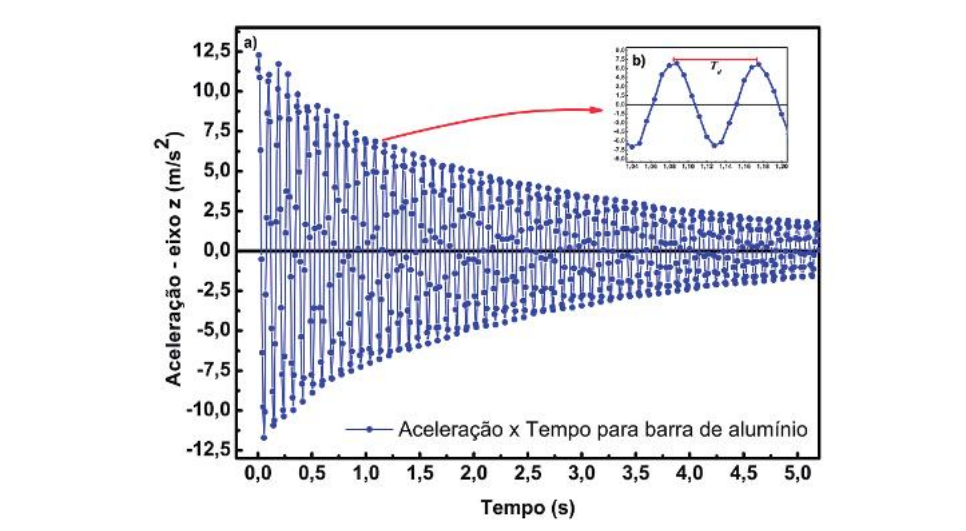
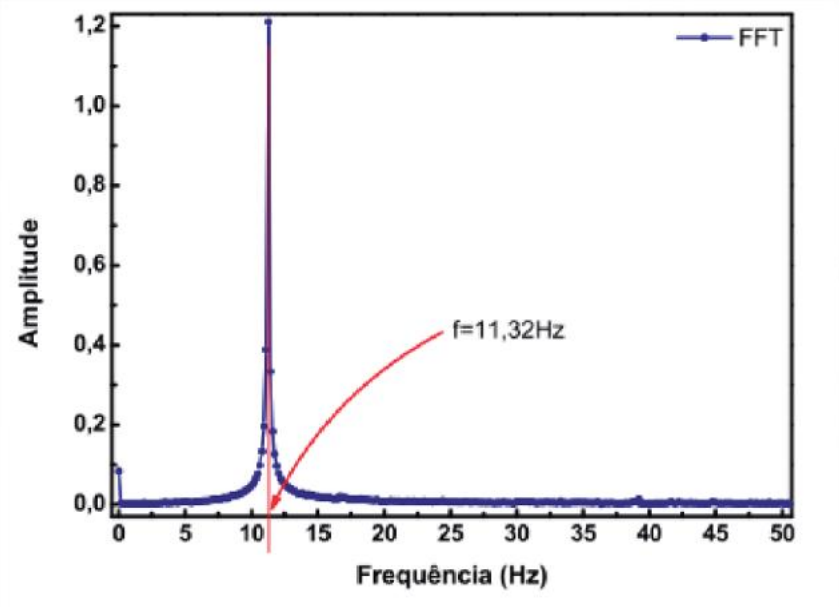


Tabela 1. Tabela mostrando os períodos de oscilação, compreendidos entre 1 e 3 segundos, para a barra de alumínio.

T1 (s)	T2 (s)	T3 (s)	T4 (s)	T5 (s)	T6 (s)	T7 (s)	T8 (s)	T9 (s)	T10 (s)
0,085	0,090	0,088	0,091	0,088	0,088	0,088	0,091	0,088	0,088
T11 (s)	T12 (s)	T13 (s)	T14 (s)	T15 (s)	T16 (s)	T17 (s)	T18 (s)	T19 (s)	T20 (s)
0,091	0,088	0,091	0,089	0,090	0,089	0,088	0,091	0,084	0,092

A partir desses valores foi determinada a média aritmética do período, obtendo-se $\bar{T}_d \approx 0{,}088\ s$. Com base nesse resultado, calculou-se a frequência amortecida ω_d, a partir da relação, $\omega_d = 2\pi/T_d$, obtendo-se o valor $\omega_d \approx 71{,}39\ rad/s$. Outra forma de determinar a frequência de amortecimento consiste na aplicação da Transformada de Fourier sobre a curva de aceleração no eixo z em função do tempo, utilizando softwares de tratamento de dados. A Figura 2 apresenta esse resultado, no qual o pico de intensidade, indicado pela linha vermelha, corresponde à frequência dominante de oscilação. Para a barra de alumínio, obteve-se $f_d = 11{,}32\ Hz$, valor que permite a determinação direta da frequência amortecida, dada por $\omega_d = 2\pi f_d$, encontrando o valor de $\omega_d \approx 71{,}12\ rad/s$. Além disso, a frequência amortecida está relacionada à frequência natural ω_n e ao coeficiente de amortecimento adimensional ζ por meio da equação 17, o que possibilita, a partir da análise experimental, estimar parâmetros dinâmicos fundamentais do sistema.

Figura 2. Gráfico da Transformada de Fourier - FFT, mostrando o pico de intensidade, indicado pela linha vermelha, corresponde à frequência dominante de oscilação.



O coeficiente de amortecimento adimensional ζ pode ser determinado a partir da constante de amortecimento λ, a qual é extraída do decaimento exponencial das amplitudes da curva de aceleração $\vec{a}(t)$, como ilustrado na Figura 3. Para os ajustes das curvas experimentais, utilizamos a equação $\vec{a}(t) = \vec{a}_0 e^{-\lambda t}$.

Foram realizadas dez medidas independentes da curva $\vec{a}(t)$, a partir das quais foram extraídas as amplitudes dos picos em função do tempo. Os valores obtidos para a constante de amortecimento λ, referente à barra de alumínio, estão apresentados na Tabela 2, de onde fizemos uma análise estatística extraindo o valor médio de λ, igual a 0,4015±0,00595 (s^{-1}).

Com o valor obtido de λ, calculamos o coeficiente de amortecimento adimensional dado por 18. Como λ é pequeno, pode-se adotar a aproximação $\omega_d \approx \omega_n$. Dessa forma, obteve-se ζ=0,0056, valor muito inferior a 1, caracterizando um sistema fracamente amortecido.

Figura 3. Gráfico da Amplitude máxima da aceleração em função do tempo. Em vermelho o ajuste matemático usando uma função de decaimento exponencial.

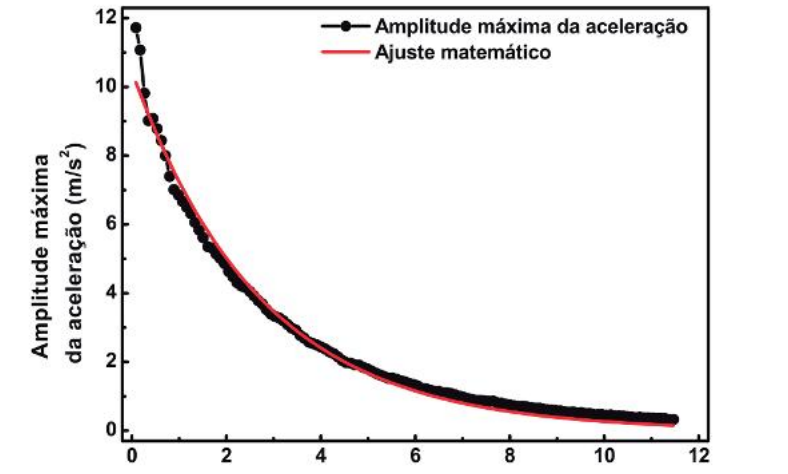


Tabela 2. Tabela mostrando os resultados para os ajustes feitos nos resultados da Amplitude máxima da aceleração em função do tempo, de onde extraímos a constante de amortecimento λ.

$\lambda_1\ (s^{-1})$	$\lambda_2\ (s^{-1})$	$\lambda_3\ (s^{-1})$	$\lambda_4\ (s^{-1})$	$\lambda_5\ (s^{-1})$
0,367 ± 0,005	0,399 ± 0,006	0,404 ± 0,007	0,392 ± 0,006	0,359 ± 0,004
$\lambda_6\ (s^{-1})$	$\lambda_7\ (s^{-1})$	$\lambda_8\ (s^{-1})$	$\lambda_9\ (s^{-1})$	$\lambda_{10}\ (s^{-1})$
0,454 ± 0,007	0,376 ± 0,007	0,410 ± 0,005	0,447 ± 0,006	0,466 ± 0,006

Esse resultado demonstra que o procedimento experimental permite não apenas identificar a frequência observada no regime amortecido, mas também estimar a frequência natural da haste, parâmetro essencial para a determinação do Módulo de Young. Para o cálculo do Módulo de Young foi utilizada a equação 19 (não consideramos o cisalhamento). Todos os procedimentos descritos anteriormente foram aplicados a uma barra de aço carbono. Os resultados obtidos encontram-se resumidos na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados obtidos para barra de alumínio e aço carbono.

Materiais	b (m)	h (m)	L (m)	(kg)	M (kg)	(rad/s)	λ	ζ	E (GPa)
Alumínio	0,01836	0,00314	0,217	0,0467	0,181	71,2	0,401	0,0056	70,1
Aço	0,0162	0,00342	0,229	0,1173	0,181	112,2	0,960	0,00855	195,2

A comparação entre os resultados experimentais obtidos e os valores reportados na literatura [18-20] mostrou uma concordância satisfatória, evidenciando que o uso de smartphones, em conjunto com aplicativos adequados, pode constituir uma ferramenta eficaz e confiável na realização de experimentos voltados tanto ao ensino médio quanto ao nível acadêmico.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstram uma concordância significativa entre os dados experimentais e as previsões teóricas para o Módulo de Young. O experimento mostrou que o uso de smartphones, juntamente com aplicativos adequados, é uma alternativa viável para a determinação do módulo de elasticidade de materiais. Os valores determinados para o alumínio *(E=70,1 GPa)* e para o aço carbono *(E=195,2 GPa)* apresentaram excelente concordância com os valores de referência disponíveis na literatura, validando a metodologia proposta.

A utilização do smartphone mostrou-se uma ferramenta eficaz e acessível para o ensino de ciências e engenharia, permitindo a realização de experimentos de baixo custo que fa-

vorecem a compreensão de conceitos teóricos. A metodologia proposta alia simplicidade e reprodutibilidade, configurando-se como uma estratégia didática promissora para o ensino de física experimental e áreas afins.

6. REFERÊNCIAS

P. Vogt and J. Kuhn, Analyzing free fall with a smartphone acceleration sensor, *Phys. Teach.* 50, 183-183 (2012).

M. Monteiro, C. Cabeza, C. Marti, P. Vogt, and J. Kuhn, Angular velocity and centripetal acceleration relationship, *Phys. Teach.* 52, 312-313 (2014).

S. Kapucu, Finding the average speed of a light-emitting toy car with a smartphone light sensor, *Phys. Educ.* 52, 045001 (2017).

A. Shakur and J. Kraft, Measurement of Coriolis acceleration with a Smartphone, *Phys. Teach.* 54, 288-290 (2016).

M. S. Lezcano, et al., Kinematics in One Dimension - A Smartphone Approach, *The Physics Teacher*, Vol. 61, (2023).

M. S. Lezcano, et al., Damped Oscillations - A Smartphone Approach, *The Physics Teacher*, Vol. 62, (2024).

H. D. Young e R. A. Freedman, *Física Universitária*, Addison Wesley, 12ª edição, (2008).

R. Hessel, et al., Determinação do Módulo de Young em sólidos a partir da medida da velocidade do som pelo método do tempo de voo, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 38, n° 2, e2309 (2016).

S. Tyagi and A. E. Lord Jr, *Am. J. Phys.* 48, 205 (1980).

K. Turney, *Am. J. Phys.* 58, 483 (1990).

H. Goldstein, *Classical Mechanics*, 3. ed. Boston: Addison-Wesley, (2002).

M. R. Rossini, et al., Determinação do módulo de elasticidade de Young por meio de um smartphone, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 43, e20210194 (2021).

P. A. Tipler e G. Mosca, *Física para Cientistas e Engenheiros*, LTC, 6ª edição, (2009).

Halliday e Resnick, *Fundamentos de física*, vol. 2, GEN, 10ª edição, 2016.

T. M. Atanackovic; A. Guran, *Teoria da Elasticidade para Cientistas e Engenheiros*, Springer, ISBN 0-8176-4072-X, (2000).

P. M. Pimenta, *Fundamentos da Mecânica dos Sólidos e das Estruturas*, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, (2006).

R. C. Hibbeler, *Resistência dos materiais*, 7ª ed., Pearson Prentice Hall, 2000, (2006).

https://www.nist.gov/mml/acmd/aluminum-6061-t6-uns-aa96061

M. H. Mezzomo; A. G. de Moraes, Determinação do módulo de elasticidade em aços e alumínio através da frequência natural comparado ao ensaio de tração, *Revista Matéria*, ISSN 1517-7076 artigos e-12635, (2020).

https://dustre.com.br/modulo-de-young/

26 AJUSTE DA EQUAÇÃO DE TALBOT PARA CACHOEIRA DO SUL ATRAVÉS DO MÉTODO DE GAUSS-NEWTON

RESUMO

Este estudo teve como objetivo determinar os parâmetros da equação de Talbot para o município de Cachoeira do Sul/RS, utilizando o método de regressão não linear de Gauss-Newton implementado em planilha Excel. Foram considerados períodos de retorno de 5 a 25 anos e tempos de duração de 5 a 500 minutos. Os parâmetros otimizados obtidos foram a = 3826,77, b = 0,1253 e c = 21,448. Os erros quadráticos totais foram de 2809,07 (TR=5), 46,19 (TR=10) e 71,00 (TR=25), demonstrando melhor desempenho para períodos de retorno superiores a 5 anos. A equação ajustada representa uma ferramenta válida para dimensionamento de estruturas de drenagem na região.

ABSTRACT

This study aimed to determine the parameters of the Talbot equation for the muni-

Palavras-chave: Equação de Talbot; Gauss-Newton; Drenagem Urbana.

Ana Julia Oliveira da Costa[1];
Lucas Alves Lamberti[2]

1 Aluno do Ensino Superior, UFSM - CS
2 Professor Orientador, Universidade Federal de Santa Maria /Campus Cachoeira do Sul

cipality of Cachoeira do Sul/RS, using the Gauss-Newton nonlinear regression method implemented in an Excel spreadsheet. Return periods from 5 to 25 years and duration times from 5 to 500 minutes were considered. The optimized parameters obtained were a = 3826.77, b = 0.1253 and c = 21.448. The total quadratic errors were 2809.07 (TR=5), 46.19 (TR=10) and 71.00 (TR=25), demonstrating better performance for return periods above 5 years. The adjusted equation represents a valid tool for drainage structure design in the region.



Keywords: Talbot Equation; Gauss-Newton; Urban Drainage.

1. INTRODUÇÃO

A drenagem urbana é um componente essencial da infraestrutura das cidades, visando o manejo adequado das águas pluviais para evitar alagamentos e inundações. Para o dimensionamento correto dessas obras, é fundamental o conhecimento da relação entre a Intensidade, Duração e Frequência (IDF) das chuvas locais. No município de Cachoeira do Sul, localizado na região central do Rio Grande do Sul, a carência de equações simplificadas para cálculos hidrológicos motivou o desenvolvimento deste trabalho. A equação de Talbot, proposta por Azzout et al. (1994), oferece uma formulação matemática simplificada para o dimensionamento de dispositivos de controle pluvial, apresentando vantagens computacionais em relação às equações IDF tradicionais. No Brasil, o trabalho pioneiro de Silveira e Goldenfum (2007) estabeleceu metodologia para ajuste dos parâmetros desta equação para Porto Alegre/RS. Este trabalho tem como objetivo principal determinar os parâmetros da equação de Talbot para Cachoeira do Sul utilizando o método de regressão não linear de Gauss-Newton. Como objetivos específicos, destacam-se: (1) implementar computacionalmente o algoritmo de ajuste; (2) validar os parâmetros obtidos; (3) analisar a qualidade do ajuste através de métricas estatísticas; (4) propor aplicações práticas da equação ajustada. Com a aplicação do método numérico e a partir de dados históricos, foi possível obter uma ferramenta confiável para a engenharia local.

2. METODOLOGIA

O estudo utilizou a Equação de Talbot (Equação 1), que relaciona a intensidade da chuva com a duração, dada por:

$$i = \frac{a \cdot Tr^{d}}{(t+b)^{c}} \qquad (1)$$

Para a determinação dos parâmetros a, b e c, foi utilizado o Método de Gauss-Newton, um algoritmo iterativo para resolver problemas de mínimos quadrados não lineares. O processo foi implementado em planilha eletrônica (Microsoft Excel), buscando minimizar a Soma dos Quadrados dos Erros (SQE) entre as intensidades observadas nas curvas IDF existentes e as calculadas pela equação proposta.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O método de Gauss-Newton convergiu para os parâmetros otimizados, resultando na equação de chuvas específica para Cachoeira do Sul apresentada na Equação 2:

$$i = \frac{3826,77 \cdot Tr^{0,1253}}{t + 21,448} \quad (2)$$ onde:

- *i:* Intensidade da chuva (mm/h);
- *Tr*: Período de Retorno (anos);
- *t*: Duração da chuva (minutos).

3.1 Análise Estatística do Ajuste

A precisão do modelo foi avaliada através da Soma dos Quadrados dos Erros (SQE) e do coeficiente de determinação (R2), conforme a Tabela 1.

Figura 1: Curvas IDF Ajustadas.

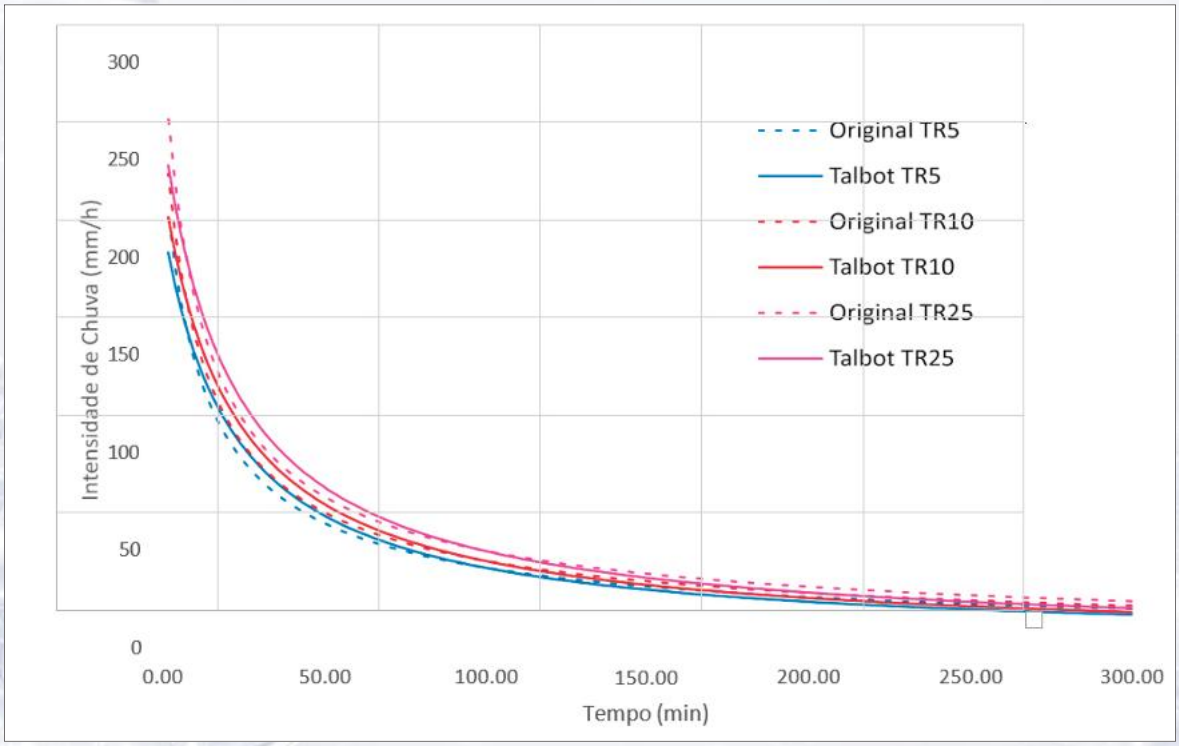


Tabela 1: Métricas de erro do ajuste por Período de Retorno

TR (anos)	SQE	*R2*
5	2809,07	0,98
10	46,19	0,99
25	71,00	0,99

A análise de significância do erro demonstra a robustez do modelo, especialmente para períodos de retorno mais elevados. O coeficiente de determinação (R2) de 0,99 para TR de 10 e 25 anos atesta que o modelo explica 99% da variabilidade dos dados observados, indicando uma correlação fortíssima entre a curva ajustada e os dados históricos. A menor aderência para TR de 5 anos sugere que, para chuvas mais frequentes e de menor magnitude, o comportamento local pode sofrer influência de regimes meteorológicos distintos dos grandes eventos extremos (TR > 10 anos), onde a equação se mostrou robusta. Além disso, a redução drástica do SQE de 2809,07 (no TR de 5 anos) para valores inferiores a 80 (nos TRs de 10 e 25 anos) confirma que a equação tem excelente aderência para o dimensionamento de obras de médio e grande porte, onde a segurança hidrológica é prioritária.

3.2 Análise Gráfica e Comparativa

A representação gráfica das curvas IDF (Figura 1) permite visualizar a aderência do modelo. Observa-se que, para TR = 5 anos, há uma dispersão maior nas durações curtas, o que explica o SQE mais elevado. No entanto, para 10 e 25 anos, as curvas praticamente se sobrepõem aos dados observados.

Contextualizando os resultados regionalmente (Tabela 1), o parâmetro a de Cachoeira do Sul (3826,77) mostrou-se significativamente superior ao de Porto Alegre (2395,40) e Pelotas (2502,09). Isso indica que a região central do estado está sujeita a chuvas de maior intensidade, e o uso de equações da capital resultaria em um perigoso subdimensionamento das obras de drenagem locais.

4. APLICAÇÕES PRÁTICAS

Para demonstrar a aplicabilidade da equação proposta, foram simulados dimensionamentos usuais de engenharia utilizando a Equação 2.

4.1 Reservatórios de Detenção

Considerando um projeto para TR = 10 anos e tempo de concentração t = 240 min.

Aplicando os valores na Equação 2, obtém-se uma intensidade de projeto de:

i = 52,18 mm/h

4.2 Microdrenagem Urbana

Para sarjetas e bocas de lobo, com $TR = 5$ anos e t = 120 min, a aplicação da Equação 2 resulta em:

i = 68,92 mm/h

Estes resultados permitem ao engenheiro obter a vazão de projeto ($Q = CiA$) de forma direta e condizente com a realidade climática local.

5. CONCLUSÕES

O estudo cumpriu o objetivo de ajustar a equação de Talbot para Cachoeira do Sul através do método de Gauss-Newton. Os parâmetros obtidos ($a = 3826,77$; $b = 0,1253$; $c = 21,448$) geraram um modelo com excelente ajuste estatístico (R2 = 0,99) para períodos de retorno de 10 e 25 anos.

Conclui-se que a Equação 2 é uma ferramenta robusta e recomendada para o dimensionamento de obras de drenagem no município. A comparação regional evidenciou que as chuvas em Cachoeira do Sul são mais intensas que em Porto Alegre e Pelotas, reforçando a importância de não se utilizar parâmetros importados de outras localidades para garantir a segurança e eficiência das infraestruturas hidráulicas.

6. REFERÊNCIAS

SILVEIRA, A. L. L. da; GOLDENFUM, J. A. Metodologia generalizada para

prédimensionamento de dispositivos de controle pluvial na fonte. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 12, n. 2, p. 157-168, 2007.

AZZOUT, Y. et al. *Techniques alternatives en assainissement pluvial: choix, conception, realisation et entretien*. Paris: Technique et Documentation Lavoisier, 372p., 1994.

SILVEIRA, A. L. L. da; GOLDENFUM, J. A. Pré-dimensionamento hidrológico de dispositivos de controle pluvial na fonte. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas - UFRGS, [s.d.].

ZANATTA, V. *Drenagem urbana em área da região central de Pelotas-RS: prédimensionamento de estruturas sustentáveis*. 2015. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

27

CONCRETO AERADO À BASE DE RESÍDUOS DE CINZA DE CASCA DE ARROZ E PÓ DE ÁGATA: EFEITO DO AGENTE ESPUMANTE NA ABSORÇÃO DE ÁGUA

RESUMO

Este trabalho avalia a absorção de água em blocos de concreto produzidos com agregados de pó de ágata e cinza de casca de arroz (CCA), comparando formulações convencionais (maciças) e celulares obtidas pelo uso de peróxido de hidrogênio como agente espumante. Foram estudadas quatro formulações, seguindo procedimento padronizado de pesagem, homogeneização, moldagem, cura inicial e desmoldagem. Os corpos de prova foram secos em estufa por 8 h, resfriados em vácuo e ensaiados por imersão segundo ABNT NBR 8492:2012, registrando-se as massas seca e saturada para o cálculo da absorção.

Os resultados permitem comparar a influência da celularização e do tipo de resíduo na porosidade e no comportamento hídrico, indicando que a adição de peróxido de hidrogênio eleva significativamente a absorção de água, sobretudo nas misturas com CCA. O estudo contribui

Palavras-chave: Concreto aerado; cinza de casca de arroz; pó de ágata; porosidade; absorção de água.

Marcus Paulo de Oliveira[1];
Matheus Amancio Correa Neres[1];
Larissa Friedrich[1];
Jocenir Boita[1]

1 Laboratório de Síntese e Caracterização de Nanomateriais (LSCnano), Coordenação acadêmica, Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

para a avaliação técnica e sustentável do uso desses agregados em alvenaria, destacando o compromisso entre leveza, porosidade e durabilidade em ambientes úmidos.

ABSTRACT

This study evaluates water absorption in concrete blocks produced with agate powder and rice husk ash (RHA, CCA in Portuguese) aggregates, comparing conventional (solid) and cellular formulations obtained using hydrogen peroxide as the foaming agent. Four mixes were investigated following a standardized procedure comprising weighing, homogenization, molding, initial curing, and demolding. Specimens were dried in an oven for 8 h, cooled under vacuum, and subjected to immersion testing according to ABNT NBR 8492:2012, recording dry and saturated masses to calculate water absorption. The results enable a comparison of the effects of foaming and waste type on porosity and water-related behavior, showing that hydrogen peroxide addition markedly increases water uptake, especially in RHA-based mixes. This work contributes to the technical and sustainable assessment of these aggregates for masonry applications, highlighting the trade-off between lightweight/thermal performance and durability in humid environments.

Keywords: Aerated concrete; rice husk ash; agate powder; porosity; water absorption.

1. INTRODUÇÃO

Compreender o comportamento de absorção de água de um material cimentício é fundamental para avaliar seu desempenho em serviço. A partir dessa propriedade é possível inferir a quantidade e a conectividade dos poros internos, bem como estimar efeitos sobre durabilidade, massa específica e comportamento em alvenaria, sem necessidade de destruir o corpo de prova. Conforme Clerice (2023), quanto maior a absorção de água, maior tende a ser o volume de poros no interior do material, com consequente redução de densidade e alteração de suas características de uso.

A indução e o controle da porosidade podem ser ajustados pelo teor de agente espumante, como discutido por Silva et al. (2018). Entretanto, não apenas o agente espumante, mas também a natureza dos insumos (aglomerantes e agregados) influência de forma significativa a matriz de bolhas de ar internas. De acordo com a ABNT NBR 13438 (2021), o concreto celular deve conter, obrigatoriamente, pelo menos um aglomerante calcário (cimento, cal ou ambos) e agregados ricos em sílica. Neste estudo, a cinza de casca de arroz (CCA) e o pó de ágata foram selecionados como materiais à base de sílica para uso como agregados.

A produção de concreto aerado com CCA é viabilizada por sua composição química, que apresenta teores de sílica próximos a 95% (Pouey, 2006). Além de atuar como fonte de sílica, a CCA permite explorar o efeito pozolânico, contribuindo para uma matriz cimentícia com ganho de resistência em idades mais avançadas devido à hidratação contínua (Gobbe; Vanderlei, 2022). De modo semelhante, o pó de ágata também se mostra adequado à produção de concretos e argamassas. Passuello et al. (2019) observaram que a substituição parcial da areia por esse resíduo em concreto convencional resultou em maior resistência, mesmo em traços com menor teor de cimento. Pedro (2017) verificou que a substituição integral da areia por pó de ágata na produção de concreto aerado proporcionou uma microestrutura porosa adequada e propriedades mecânicas satisfatórias. Assim, a incorporação de resíduos finos como CCA e pó de ágata apresenta vantagens técnicas, econômicas e ambientais.

Nesse contexto, este capítulo investiga o comportamento de absorção de água em blocos convencionais (maciços) e de concreto aerado produzidos com CCA e pó de ágata como agregados integrais, utilizando peróxido de hidrogênio (H_2O_2) como agente espumante. Adicionalmente, foi realizada a caracterização do tamanho de poros das amostras celulares, bem como a análise da distribuição de porosidade. A microestrutura da CCA e do pó de ágata foi estudada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), com o objetivo de correlacionar as características morfológicas dos agregados com o comportamento hídrico observado nos ensaios.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para viabilizar as medições e as comparações, foram produzidos quatro tipos distintos de corpos de prova:

I. concreto com pó de ágata, sem agente espumante (versão maciça);

II. concreto com pó de ágata e H_2O_2 (concreto aerado);

III. concreto com CCA, sem agente espumante (maciço);

IV. concreto com CCA e H_2O_2 (concreto aerado).

No caso da CCA, devido à sua baixíssima densidade, foi necessário ajustar as proporções com base no volume seco dos materiais, garantindo a equivalência volumétrica entre cimento, água, agregado e peróxido de hidrogênio. As formulações seguiram proporções previamente estabelecidas: para os concretos com pó de ágata utilizou-se a razão 1:9,5:4,5 entre cimento, agregado e água, enquanto para as misturas com CCA adotou-se a proporção 1:1,15:2,25. Nas versões aeradas, adicionou-se peróxido de hidrogênio em quantidade correspondente a 6% do volume de água nas amostras com ágata e 5% nas amostras com CCA. As receitas maciças mantiveram as proporções, apenas sem a inclusão do agente espumante, e os volumes finais foram ajustados para atender ao preenchimento adequado

dos moldes cilíndricos utilizados, conforme os procedimentos de moldagem prescritos na ABNT NBR 5738.

O processo de mistura foi realizado em duas etapas. Inicialmente, os componentes secos foram homogeneizados em recipiente adequado, assegurando distribuição uniforme das partículas. Em seguida, incorporou-se a água à temperatura ambiente, promovendo-se a mistura até obtenção de consistência homogênea. Para as formulações aeradas, o peróxido de hidrogênio foi adicionado na sequência, mantendo-se a agitação por aproximadamente 20 s, tempo definido com base em ensaios preliminares realizados para estabilizar a expansão e a formação de poros. As misturas foram preparadas em misturador mecânico de bancada operando a velocidade constante, de forma a garantir repetibilidade entre os lotes.

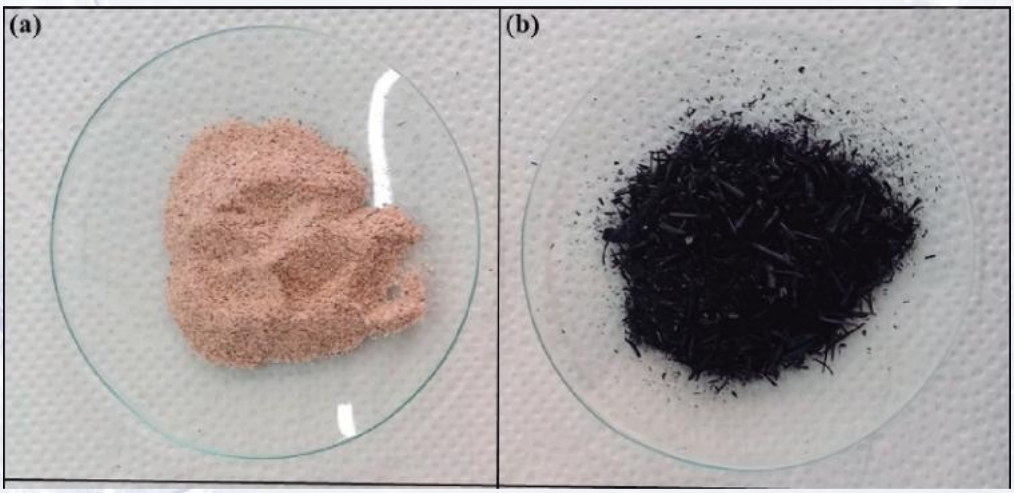
Foram confeccionados quatro corpos de prova para cada formulação, totalizando dezesseis espécimes. Os corpos de prova destinados ao ensaio de absorção por imersão foram secos em estufa por 8 h, resfriados em câmara de vácuo até atingirem temperatura ambiente e posteriormente imersos em tanque de água conforme os procedimentos estabelecidos na ABNT NBR 8492:2012. Registraram-se as massas seca e saturada de cada espécime, permitindo o cálculo da absorção por imersão. Os resultados foram expressos pela média das quatro réplicas de cada formulação, acompanhados de seus respectivos desvios-padrão, que foram de 6% para os concretos com pó de ágata e 10% para aqueles produzidos com CCA.

Adicionalmente, realizou-se a caracterização do tamanho e da distribuição de poros das amostras aeradas, com o objetivo de estabelecer relações entre a estrutura celular e o comportamento hídrico observado nos ensaios. A microestrutura da CCA e do pó de ágata foi avaliada por microscopia eletrônica de varredura (MEV), permitindo analisar as características morfológicas dos resíduos e sua influência na absorção e no desenvolvimento da porosidade.

2.1 Materiais Utilizados

Nas figuras abaixo são apresentados os resíduos utilizados na confecção dos blocos de concreto aerado (pó de ágata e CCA).

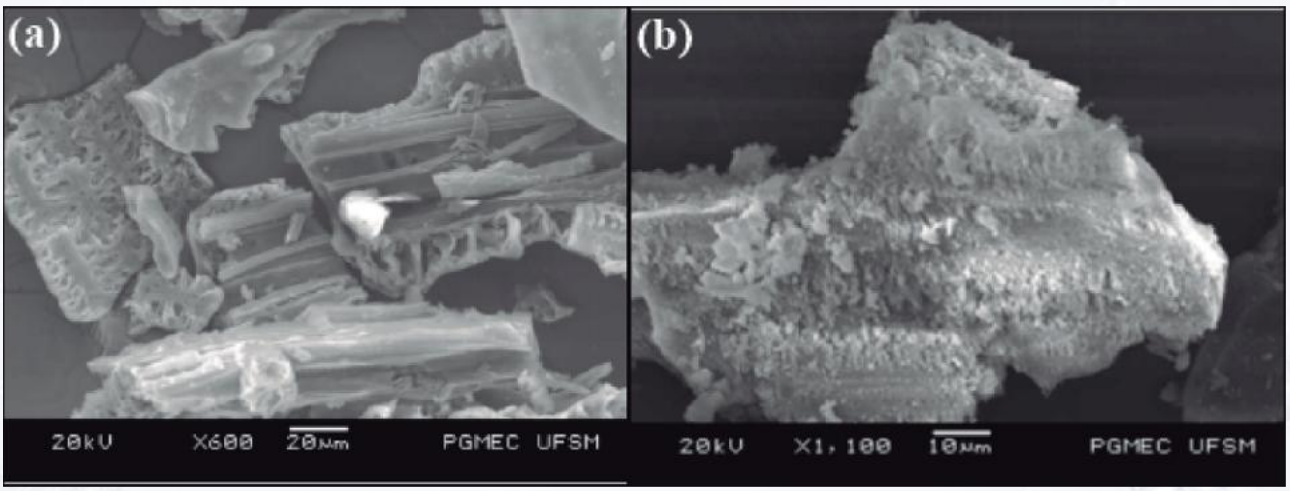
Figura 1. Cinza de casca de arroz (CCA) e pó de ágata utilizados como agregados.



3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A microestrutura da CCA e do pó de ágata foi investigada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), conforme ilustrado na Figura 2. Em 2(a) observa-se a CCA, com morfologia irregular, fibrosa, altamente porosa e marcada por sulcos e cavidades. Em contraste, o pó de ágata apresentado em 2(b) exibe uma estrutura mais compacta, densa e contínua, típica de um material de origem mineral cristalina.

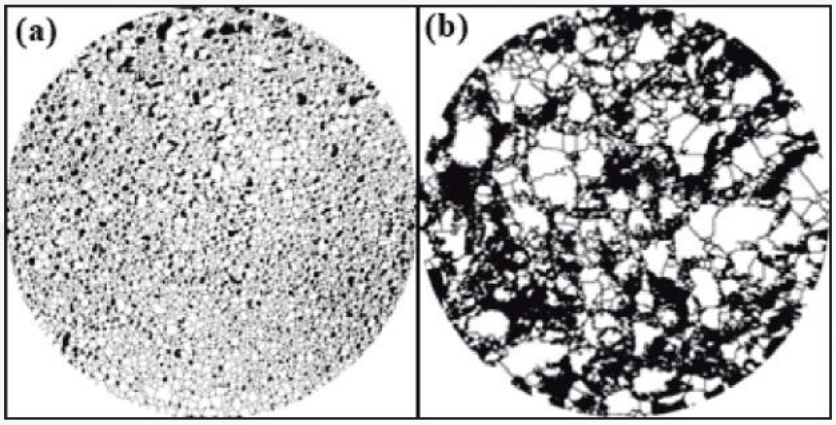
Figura 2. Microestrutura dos agregados observada por MEV: (a) cinza de casca de arroz (CCA); (b) pó de ágata.



A análise composicional confirmou a presença significativa de silício na CCA, em concordância com a literatura, reforçando seu enquadramento como resíduo rico em sílica. As diferenças morfológicas entre CCA e pó de ágata ajudam a explicar o comportamento hídrico observado: a estrutura mais aberta da CCA tende a favorecer maior volume de poros conectados, enquanto o pó de ágata induz matrizes mais densas e menos permeáveis à água.

Para a determinação do tamanho de poros nos concretos aerados, foi realizada análise de imagens no software ImageJ®. A Figura 3 apresenta blocos de concreto aerado produzidos com agregado de pó de ágata (3(a)) e com CCA (3(b)), destacando a distribuição dos poros identificados (até cerca de 5 mm^2 de área). No concreto aerado com pó de ágata, a área média dos poros foi da ordem de 0,00649 mm^2, ao passo que, no concreto aerado com CCA, a área média atingiu aproximadamente 0,0081 mm^2, indicando uma microestrutura globalmente mais aberta e com maior volume de vazios interconectados quando a CCA é utilizada como agregado.

Figura 3. Concretos aerados produzidos com diferentes agregados: (a) pó de ágata; (b) cinza de casca de arroz (CCA), com destaque para os poros identificados na análise de imagens.



A Tabela 1 resume os valores de absorção de água obtidos para os blocos, evidenciando o efeito combinado do tipo de resíduo e da adição de H_2O_2 como agente espumante. Os blocos produzidos com pó de ágata apresentaram absorção de 28,5% (versão maciça) e 46,9% (versão aerada), enquanto os blocos com CCA atingiram 80,2% (maciço) e 121,2% (aerado). Esses resultados confirmam que tanto a escolha do agregado quanto a celularização influenciam fortemente o comportamento hídrico do material.

Tabela 1 – Absorção de água por imersão dos blocos de concreto com diferentes resíduos e condição de celularização.

Composição	Absorção de água (%)
Pó de ágata	28,5
Pó de ágata + H_2O_2	46,9
CCA	80,2
CCA + H_2O_2	121,2

3.1 Efeito da Porosidade na Absorção

Os dados de absorção mostram que os blocos aerados apresentaram valores significativamente maiores que suas versões maciças, como era esperado, o que evidencia o papel da porosidade na retenção de água. Esse aumento é atribuído à presença de H_2O_2 no traço, que gera uma microestrutura com maior volume de vazios interconectados e células capilares que facilitam o enchimento por capilaridade.

O incremento do índice de vazios eleva tanto a capacidade total de armazenamento de fluido quanto a sorptividade inicial. No entanto, a cinética de transporte hídrico não depende apenas da porosidade total, mas também de parâmetros microestruturais como

distribuição de tamanhos de poros, esfericidade e conectividade entre eles. De acordo com De Schutter & Audenaert (2004), o enchimento ocorre mais rapidamente em poros capilares maiores, seguido por um regime de difusão mais lenta em poros muito finos.

Além disso, a presença de células e poros interconectados amplia o volume disponível para ingresso de água por capilaridade e difusão da superfície para o interior do material. Consequentemente, traços com maior dosagem de aditivo espumante tendem a apresentar menor massa específica e percentuais de absorção superiores, reforçando a correlação entre vacuidade e uptake **hídrico observada também em estudos recentes sobre concreto celular espumoso (Negri et al., 2024).**

Com base nos resultados, conclui-se que a adição de peróxido de hidrogênio como agente espumante aumenta de forma sistemática a absorção de água em todos os blocos de concreto estudados, sendo esse efeito particularmente intensificado nas formulações com CCA. A CCA contribui para uma microestrutura mais porosa e de maior absorção, enquanto o pó de ágata resulta em blocos mais densos e menos absorventes, o que é coerente com as microestruturas observadas por MEV e com a análise de porosidade via ImageJ®.

4. CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que tanto o tipo de resíduo utilizado como agregado (CCA ou pó de ágata) quanto a condição do material (maciço ou aerado com H_2O_2) influenciam na porosidade e absorção de água nos blocos de concreto. As misturas com pó de ágata resultaram em blocos mais densos e menos absorventes com 28,5% para a versão maciça e 46,9% para a aerada e enquanto as formulações com CCA apresentaram microestrutura mais aberta e valores significativamente superiores de absorção hídrica, atingindo 80,2% e 121,2%, respectivamente. Esse valor de 121,2%, embora elevado para materiais cimentícios, é coerente com as micrografias obtidas por MEV e com a análise de porosidade via ImageJ®, que evidenciam uma estrutura altamente permeável, decorrente tanto da morfologia intrinsecamente porosa da CCA quanto da ação do agente espumante.

Diante desse comportamento altamente absorvente, especialmente nas misturas aeradas com CCA, torna-se relevante compreender o papel específico do peróxido de hidrogênio na formação da microestrutura do material. Embora a celularização proporcione redução de massa e potencial ganho em desempenho térmico, a combinação entre a baixa densidade da CCA, o formato irregular das partículas e a expansão induzida pelo H_2O_2 resultou em maior vacuidade, o que explica o comportamento hídrico mais extremo observado no concreto aerado com CCA. Assim, embora o processo de aeração traga benefícios construtivos, seus impactos sobre a permeabilidade devem ser cuidadosamente considerados.

Dessa forma, a escolha entre blocos maciços e aerados, bem como entre CCA e pó de ágata, deve ser feita considerando o compromisso entre leveza, isolamento térmico e resistência à água. Em aplicações expostas à umidade ou a ciclos intensos de molhagem e secagem, o

uso de blocos aerados com CCA pode exigir estratégias adicionais, como aditivos impermeabilizantes, hidrofugantes de superfície ou detalhamento construtivo adequado, a fim de mitigar os efeitos da elevada absorção e preservar a durabilidade ao longo da vida útil da alvenaria.

5. REFERÊNCIAS

CLERICE, Thainá Alberti. *Análise de laudos técnicos segundo ABNT NBR 15575-4 para bloco de concreto celular autoclavado: um estudo de caso*. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2023.

SILVA, C. A. DE O. et al.. Influência do aditivo espumígeno na dosagem e nas propriedades do concreto celular aerado. Matéria (Rio de Janeiro), v. 23, n. 1, p. e–11989, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13438:2021** – Blocos de concreto celular autoclavado – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

POUEY, Maria Tereza Fernandes. Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico. 2006. 345 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. Orientadora: Denise C. Coitinho Dal Molin; Coorientador: Carlos Pérez Bergmann.

GOBBE, Denise Cristina; VANDERLEI, Romel Dias. *Concreto com cinza de casca de arroz*. In: CONGRESSO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS – CONRESOL, 5., 2022. Anais [...]. IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2022. Disponível em: http://dx.doi.org/10.55449/conresol.5.22.V-001.

PASSUELLO, A. C. et al.. Valorização de resíduos de ágata em argamassas e concretos: avaliação do ciclo de vida. Matéria (Rio de Janeiro), v. 24, n. 2, p. e12382, 2019.

PEDRO, Rudimar; TUBINO, Rejane M. C.; ANVERSA, Jonas; DE COL, Denisar; LERMEN, Richard Thomas; SILVA, Rodrigo de Almeida. Production of aerated foamed concrete with industrial waste from the gems and jewels sector of Rio Grande do Sul-Brazil. Applied Sciences, v. 7, n. 10, art. 985, 2017. DOI: 10.3390/app7100985. Disponível em: https://www.mdpi.com/2076-3417/7/10/985 .

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto–Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8492 – Tijolo de solo-cimento — Resistência e absorção. Rio de Janeiro: ABNT, s.d. Disponível em: https://www.alroma.com.br/uploads/arquivos_documentos/NBR_8492_-*Norma_Tijolo_de_Solo_Cimento-Resist%C3%AAncia_e_Absor%C3%A7%C3%A3o-*_Alroma.pdf .

IMAGEJ. Versão 1.x. National Institutes of Health (NIH), 2012. Software. Disponível em: https://imagej.nih.gov/ij/ .

DE SCHUTTER, GEERT & AUDENAERT, KATRIEN. (2004). Evaluation of water absorption of concrete as a measure for resistance against carbonation and chloride migration. Materials and Structures. 37. 591-596. 10.1007/BF02483288.

NEGRI, Robison; MARTINS, Gislaine Arceno; BARCELO, Joice. Influência da dosagem de aditivo espumante na resistência do concreto celular espumoso. Revista Tecnologia, [S. l.], v. 45, p. 1–15, 2025. DOI: 10.5020/23180730.2024.15411. Disponível em: https://ojs.unifor.br/tec/article/view/15411 .

28 CADEIAS DE MARKOV ABSORVENTES

RESUMO

Neste trabalho, estudamos cadeias de Markov absorventes finitas. São apresentados resultados clássicos sobre o comportamento estacionário dessas cadeias, com ênfase nos tempos esperados para absorção e nas probabilidades de absorção em cada estado absorvente partindo de cada estado transiente. Além disso, também mostraremos como podemos determinar distribuições estacionárias utilizando essas probabilidades de absorção. A aplicação teórica será abordada através do exemplo clássico do caminhar do bêbado. Os resultados contribuem para a compreensão da estrutura probabilística de processos de Markov absorventes finitos.

ABSTRACT

In this work, we study the finite absorbing Markov chains. Classical results on the stationary behavior of these chains are presented, with emphasis on the expected absorption times and the absorption probabilities in each absorbing state, starting from each transient state to each absorbing state. Furthermore, we show how stationary distributions can be determined using these absorption probabilities. The theoretical application is illustrated through the classic example of the drunkard's walk. The results contribute to the understanding of the probabilistic structure of finite absorbing Markov processes.

Palavras-chave: Cadeias de Markov absorventes, tempos de absorção, matriz fundamental.

Maria Eliza Castro[1];
Vanessa Neumann[1];
Rodrigo Marinho[2];
Lucas Sartor[1]

1 Bolsista PIBIC/Ensino Médio, Universidade Federal de Santa Maria - Campus Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.
2 Graduando, Departamento de Estatística, Universidade Federal de Santa Maria - Campus Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.
3 Professor Associado, Departamento de Estatística, Universidade Federal de Santa Maria - Campus Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

Keywords: Absorbing Markov chains, absorption times, fundamental matrix.

Agradecimentos: *M. Castro, R. Marinho e L. Sartor agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul pelo apoio financeiro através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e através da bolsa 25/2551-0000934-0 (ARC). V. Neumann agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica, bolsa 159905/2025-7.*

1. INTRODUÇÃO

Seja $\{X_t; t \in N \cup \{0\}\}$ uma cadeia de Markov com espaço de estados finito Ω e matriz de transição P. Dizemos que um estado $x \in \Omega$ é absorvente se $P(x, x) = 1$. Seja $A \subset \Omega$ o conjunto de todos os estados absorventes de $\{X_t ; t \in N \cup \{0\}\}$. Dizemos que a cadeia é absorvente se $A \neq \emptyset$ e se é possível alcançar um estado absorvente a partir de qualquer estado do espaço dos estados. Nesse caso, os estados pertencentes ao estado complementar $\Omega \backslash A = A^c$ são chamados de transientes.

Seja $N = |\Omega|$, $r = A$ e $q = N - r$. Se $\{X_t ; t \in N \cup \{0\}\}$ é uma cadeia de Markov absorvente, podemos reescrever a matriz de transição P na forma canônica:

$$P = \begin{bmatrix} \boldsymbol{Q} & \boldsymbol{R} \\ 0 & \boldsymbol{I_r} \end{bmatrix} \tag{1.1}$$

Onde, I_r é uma matriz identidade de dimensão $r \times r$, $\mathbf{0}$ é uma matriz de dimensão $r \times q$ com apenas entradas nulas, $\boldsymbol{R}$ é uma matriz não nula de dimensão $q \times r$, e $\boldsymbol{Q}$ é uma matriz de dimensão $q \times q$. Utilizaremos esta forma canônica para estudar as propriedades de cadeias de Markov absorventes com espaços de estados finitos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Tempo esperado de absorção e distribuições estacionárias

A matriz $q \times q$, definida por

$$\boldsymbol{N} = \left(\boldsymbol{I_q} - \boldsymbol{Q}\right)^{-1},$$

é conhecida como a matriz fundamental para $\boldsymbol{P}$. Dados $x, y \in A^c$, as entradas $\boldsymbol{N}(x, y)$ de $\boldsymbol{N}$ representam o número esperado de vezes que o processo visita o estado y, dado que ele começou no estado x (ver em [1]), ou seja,

$$\boldsymbol{N}(x,y) = E\left[\sum_{t=0}^{\infty} 1_{\{X_t = y | X_0 = x\}}\right] = \sum_{t=0}^{\infty} P(X_t = y | X_0 = x) \quad \forall x, y \in A^c.$$

Seja $T_A^{\,x}$ o número de passos até que a cadeia seja absorvida, dado que ela começou no estado $x \in A^c$. Uma consequência imediata da identidade acima é que:

$$E[T_A^x] = 1 + \sum_{y \in A^c} \boldsymbol{N}(x,y) \quad \forall x \in A^c.$$

Além disso, se $\boldsymbol{B} = \boldsymbol{NR}$ então para todo $x \in A^c$ e todo $y \in A$:

(2.2) $$\boldsymbol{B}(x, y) = P(T_A^x = y) \text{ e } \lim_{t\to\infty} P^t = \begin{bmatrix} 0 & \boldsymbol{B} \\ 0 & \boldsymbol{I_r} \end{bmatrix} =: \Pi .$$

Seja $\mu_t^{\,x}$ a distribuição de $\{X_t^{\,x}; t \in N \cup \{0\}\}$ (a cadeia iniciando no estado x). Definamos a distribuição $\mu_\infty^{\,x}$ por:

$$\mu_\infty^x(y) := P\left(X_{T_A^x} = y\right) \text{ para todo } y \in \Omega.$$

O teorema a seguir estabelece as propriedades fundamentais desta distribuição.

Teorema 2.1. Os seguintes resultados são válidos:

1. $\lim_{t\to\infty} \mu_t^x(y) = \mu_\infty^x(y)$
2. $\mu_\infty^x P = \mu_\infty^x$

Diremos que a distribuição $\mu_t^{\,x}$ é a distribuição estacionária de $\{X_t^{\,x}; t \in N \cup \{0\}\}$.

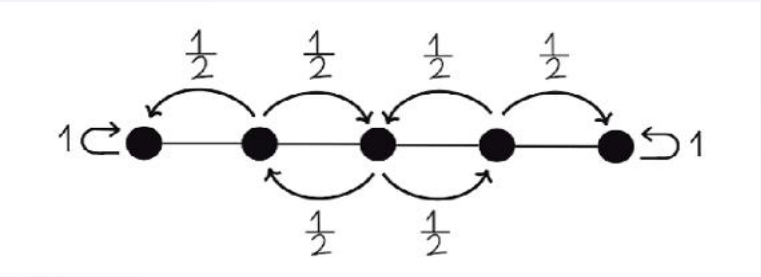
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estudo apresentado aborda o problema do "Caminhar do Bêbado", também conhecido como a Ruína da Jogadora. O modelo analisa o passeio aleatório de um indivíduo até este atinja um de dois destinos opostos (análogos à "casa" e ao "bar"), que funcionam como estados absorventes. Ao alcançar um desses pontos, o passeio é considerado encerrado.

Para simplificar a análise, considera-se um espaço de estados com apenas cinco elementos. Define-se, portanto, o espaço de estados $\Omega = \{0,1,2,3,4\}$. O conjunto de estados absorventes é $A = \{0,4\}$, enquanto o conjunto de estados transientes é $A^c = \{1,2,3\}$.

As transições são definidas da seguinte forma: estado 0 (absorvente, representando 'casa'); a partir do estado 1 pode-se transitar para o estado 0 ou 2; a partir do estado 2 pode-se transitar para o estado 1 ou 3; a partir do estado 3 pode-se transitar para o estado 2

ou 4; e, finalmente, a partir do estado 4 (absorvente, representando 'bar'). O diagrama a seguir ilustra este processo:



Assim, obtemos a matriz de transição:

$$\boldsymbol{P} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1/2 & 0 & 1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 1/2 & 0 & 1/2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Conforme a definição da forma canônica, (Equação (1.1)), podemos reescrever a matriz de transição $\boldsymbol{P}$ reordenando seus estados. Agrupamos primeiro os estados transientes $A^c=\{1,2,3\}$ e, em seguida, os estados absorventes $A=\{0,4\}$. A matriz $\boldsymbol{P}$ assume então a seguinte forma particionada nas quatro submatrizes $\boldsymbol{(Q, R, 0, I_2)}$:

$$\boldsymbol{P} = \begin{bmatrix} 0 & 1/2 & 0 & 1/2 & 0 \\ 1/2 & 0 & 1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 0 & 1/2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

A partir da matriz $\boldsymbol{Q}$, o próximo passo é calcular a matriz fundamental $\mathbf{N} = \mathbf{(I\text{-}Q)^{-1}}$. Primeiro, obtemos:

$$\boldsymbol{I - Q} = \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & 0 \\ -1/2 & 1 & -1/2 \\ 0 & -1/2 & 1 \end{bmatrix}.$$

Calculando a inversa $(I - Q)^{-1}$, obtemos a matriz fundamental N:

$$\boldsymbol{N} = (\boldsymbol{I} - \boldsymbol{Q})^{-1} = \begin{bmatrix} 3/2 & 1 & 1/2 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1/2 & 1 & 3/2 \end{bmatrix}.$$

Como discutido anteriormente, as entradas $N(x,y)$ representam o número esperado de vezes que o processo visita o estado transiente y, dado que o processo começou no estado transiente x. Assim:

- se a cadeia começar no estado 1 ou no estado 3, ela levará uma média de 4 passos para ser absorvida,
- se ela começar no estado 2, levará uma média de 5 passos para ser absorvida.

Uma vez obtido o tempo esperado até a absorção, o próximo passo é calcular a probabilidade de a cadeia ser absorvida em um estado específico, partindo de cada um dos estados transientes. Para isso, utiliza-se a matriz de probabilidades $\boldsymbol{B = NR}$, isto é,

$$\boldsymbol{B} = \begin{bmatrix} 3/2 & 1 & 1/2 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1/2 & 1 & 3/2 \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} 1/2 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1/2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3/4 & 1/4 \\ 1/2 & 1/2 \\ 1/4 & 3/4 \end{bmatrix}$$

Para cada $i \in \{1,2,3\}$, a linha i da matriz $\boldsymbol{B}$ fornece as probabilidades de absorção nos estados de destino 0 (casa) e 4 (bar), respectivamente. Assim:

- iniciando no estado 1, temos 3/4 de probabilidade de absorção no estado 0 e 1/4 no estado 4;
- iniciando no estado 2, temos 1/2 de probabilidade de absorção no estado 0 e 1/2 no estado 4;
- iniciando no estado 3, temos 1/4 de probabilidade de absorção no estado 0 e 3/4 no estado 4.

Portanto, para cada $x \in \Omega$, a distribuição estacionária é dada por:

$$\mu_{\infty}^{x} = \left(1 - \frac{x}{4}\right)\delta_0 + \frac{x}{4}\delta_4 \ ,$$

onde δ_y é uma distribuição de Dirac concentrada em y.

4. CONCLUSÕES

Mostrou-se como determinar o tempo esperado para a absorção, partindo de qualquer estado transiente, bem como as probabilidades de absorção em cada estado absorvente partindo de cada estado transiente e, consequentemente, a distribuição estacionária. As técnicas utilizadas permitem modelar e prever o comportamento de diversos processos estocásticos finitos.

5. REFERÊNCIAS

GRINSTEAD, C. M.; SNELL, J. L. **Introduction to probability**. Providence: American Mathematical Society, 2012.

WILMER, Elizabeth L.; LEVIN, David A.; PERES, Yuval. **Markov chains and mixing times**. American Mathematical Society, Providence, v. 107, 2009.

HÄGGSTRÖM, Olle. **Finite Markov chains and algorithmic applications**. Cambridge University Press, 2002.

29 CADEIAS DE MARKOV ATRAVÉS DE OPERAÇÕES COM MATRIZES E SISTEMAS LINEARES

RESUMO

Este trabalho apresenta uma introdução ao estudo das cadeias de Markov, modelos matemáticos usados para descrever sistemas que evoluem de forma aleatória ao longo do tempo, em que o estado futuro depende apenas do estado atual — característica conhecida como propriedade de Markov. A partir de um exemplo simples envolvendo o comportamento da chuva, foi mostrado como representar os possíveis estados de um sistema e suas probabilidades de transição por meio de uma matriz de transição. Utilizando conceitos básicos de álgebra linear, analisou-se a evolução temporal das probabilidades e a existência de um vetor estacionário, que representa o equilíbrio do sistema.

ABSTRACT

This work presents an introduction to the study of Markov chains, mathematical models used to describe systems that evolve randomly over time, in which the future state depends only on the current state — a characteristic known as the Markov property. Using a

Palavras-chave: Cadeia de Markov, matriz regular, distribuição estacionária.

Laura de Brum Carlan[1];
Rodrigo Marinho[2]

1 Colégio Militar de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.
2 Departamento de Estatística, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Campus Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

simple example involving weather behavior, it is shown how to represent the possible states of a system and their transition probabilities through a transition matrix. By applying basic concepts of linear algebra, the temporal evolution of probabilities and the existence of a stationary vector, which represents the system's equilibrium, were analyzed.

Keywords: Markov chain, regular matrix, stationary distribution.

Agradecimentos: *L. B. Carlan agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica, bolsa 138861/2025-0. R. Marinho agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul pelo apoio financeiro através da bolsa 25/2551-0000934-0 (ARC).*

1. INTRODUÇÃO

Muitos fenômenos do dia a dia podem ser estudados por meio de probabilidades. Um exemplo simples é o comportamento da chuva em alguns lugares: suponha que um ano pode ser chuvoso ou nele pode haver estiagem, e que exista uma certa justificativa para que o estado do ano seguinte dependa apenas do estado do ano atual, e não de anos anteriores. Esse tipo de fenômeno pode ser descrito por uma cadeia de Markov, nome dado em homenagem ao matemático russo Andrei Markov, que estudou esses processos no início do século XX.

Uma cadeia de Markov é uma sequência de eventos em que o resultado de cada etapa depende apenas do resultado imediatamente anterior. Essa propriedade é chamada de propriedade de Markov. Em outras palavras, o futuro não depende do passado, mas apenas do presente. No exemplo dado acima, os estados possíveis podem ser representados por letras (por exemplo, "C" para chuvoso e "E" para estiagem) e as probabilidades de mudança entre os estados são organizadas em uma matriz de transição. Essa matriz é uma forma de representar matematicamente como o sistema evolui com o tempo. Por exemplo, a matriz de transição

$$T = \begin{bmatrix} 1/4 & 2/3 \\ 3/4 & 1/3 \end{bmatrix}$$

indica que: (i) se um ano for chuvoso, então a probabilidade de que o ano seguinte seja chuvoso é 1/4, e a probabilidade de que ocorra estiagem é 3/4; (ii) se em um ano ocorrer estiagem, então a probabilidade de que também ocorra estiagem no ano seguinte é 1/3 e a probabilidade de que seja chuvoso é 2/3. Em geral, o elemento na i-ésima linha e j-ésima coluna de T indica a probabilidade de transição do j-ésimo estado para o i-ésimo estado.

O vetor

$$V^{(n)} = \begin{bmatrix} P_C^{(n)} \\ P_E^{(n)} \end{bmatrix}$$

é a matriz cuja primeira linha dá a probabilidade de que ocorra chuva e a segunda linha dá a probabilidade de que ocorra estiagem, no n-ésimo ano. A fim de obter previsões, pode-se verificar que $V^{(n)} = T^n.V^{(0)}$ para todo $n \in N$, e que se T for uma matriz regular (após ser elevada a uma certa potência, todas as suas entradas são positivas ou, equivalentemente, depois de um número suficiente de passos, é possível ir de qualquer estado a qualquer outro com probabilidade maior que zero), então existe um único vetor V tal que $V = T.V$ e $V^{(n)}$ se aproxima de V independentemente do vetor de probabilidades inicial $V^{(0)}$. Neste caso, o vetor de probabilidades V é chamado de vetor estacionário e essa condição de convergência é uma das propriedades mais importantes das cadeias de Markov, pois garante que o sistema sempre encontrará um equilíbrio estável.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Mostraremos como determinar o vetor estacionário V da cadeia de Markov com matriz de transição T descrita na seção anterior e o quão rápido o vetor V^((n)) se aproxima de V conforme n cresce, utilizando conceitos básicos de álgebra linear: multiplicação de matrizes e sistemas lineares. Todas as operações serão realizadas de forma simbólica e numérica, com cálculos diretos. O foco do estudo é a interpretação do modelo e a compreensão de como o equilíbrio é atingido ao longo do tempo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para encontrarmos o vetor estacionário para o exemplo dado, usamos o fato de que V é da forma

$$V = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}.$$

Logo, devemos encontrar x e y que satisfazem

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = V = T.V = \begin{bmatrix} 1/4 & 2/3 \\ 3/4 & 1/3 \end{bmatrix}.\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x/4 + 2\,y/3 \\ 3\,x/4 + y/3 \end{bmatrix}$$

e, $x+y=1$, pois V é uma distribuição de probabilidade. Portanto, devemos resolver o seguinte sistema de equações lineares:

$$\begin{cases} 3\,x/4 - 2\,y/3 = 0 \\ x + y \quad = 1 \end{cases}$$

Portanto,

$$V = \begin{bmatrix} 8/17 \\ 9/17 \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} 0{,}4705882352941176 \\ 0{,}5294117647058824 \end{bmatrix}.$$

Agora notemos que

$$T = \begin{bmatrix} 1/4 & 2/3 \\ 3/4 & 1/3 \end{bmatrix},$$

$$T^2 = T.T = \begin{bmatrix} 1/4 & 2/3 \\ 3/4 & 1/3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1/4 & 2/3 \\ 3/4 & 1/3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9/16 & 7/18 \\ 7/16 & 11/18 \end{bmatrix},$$

$$T^4 = T^2.T^2 = \begin{bmatrix} 9/16 & 7/18 \\ 7/16 & 11/18 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 9/16 & 7/18 \\ 7/16 & 11/18 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1121/2304 & 1183/2592 \\ 1183/2304 & 1409/2592 \end{bmatrix},$$

$$\begin{aligned} T^8 = T^4.T^4 &= \begin{bmatrix} 1121/2304 & 1183/2592 \\ 1183/2304 & 1409/2592 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1121/2304 & 1183/2592 \\ 1183/2304 & 1409/2592 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 22.505.681/47.775.744 & 25.270.063/53.747.712 \\ 25.270.063/47.775.744 & 28.477.649/53.747.712 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Assim, supondo que o ano atual é chuvoso, isto é $V^{(0)} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$, vemos que

$$V^{(1)} = T.V^{(0)} = \begin{bmatrix} 1/4 & 2/3 \\ 3/4 & 1/3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/4 \\ 3/4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0{,}25 \\ 0{,}75 \end{bmatrix},$$

$$V^{(2)} = T^2.V^{(0)} = \begin{bmatrix} 9/16 & 7/18 \\ 7/16 & 11/18 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9/16 \\ 7/16 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0{,}5625 \\ 0{,}4375 \end{bmatrix},$$

$$\begin{aligned} V^{(4)} = T^4.V^{(0)} &= \begin{bmatrix} 1121/2304 & 1183/2592 \\ 1183/2304 & 1409/2592 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1121/2304 \\ 1183/2304 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 0{,}4865451388888889 \\ 0{,}5134548611111111 \end{bmatrix}, \end{aligned}$$

e

$$\begin{aligned} V^{(8)} = T^8.V^{(0)} &= \begin{bmatrix} 22.505.681/47.775.744 & 25.270.063/53.747.712 \\ 25.270.063/47.775.744 & 28.477.649/53.747.712 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 22.505.681/47.775.744 \\ 25.270.063/47.775.744 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0{,}4710691894196352 \\ 0{,}5289308105803648 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Como podemos ver, $V^{(8)}$ já está bem próximo de V.

4. CONCLUSÕES

O estudo apresentado permitiu compreender de forma simples e objetiva o funcionamento de uma cadeia de Markov e o conceito de vetor estacionário. A partir do exemplo da chuva, foi possível observar que, mesmo em sistemas com comportamento aparentemente imprevisível, há uma tendência de estabilização das probabilidades ao longo do tempo. A análise mostrou que, independentemente do estado inicial, o sistema se aproxima de um comportamento estável, no qual as probabilidades deixam de variar. Nesse ponto, o vetor

estacionário representa a distribuição de longo prazo dos estados do sistema. Além de fenômenos climáticos, as cadeias de Markov podem ser aplicadas a diversas outras situações: evolução de populações, fluxo de clientes em um sistema de atendimento, comportamento de partículas em modelos físicos, e até em problemas de genética e economia. Assim, este trabalho destaca como um conceito matemático simples pode descrever com precisão o comportamento de processos complexos e aleatórios, reforçando a importância das cadeias de Markov como ferramenta fundamental no estudo de fenômenos que evoluem ao longo do tempo sob incerteza.

5. REFERÊNCIAS

HAETINGER, Claus; DULLIUS, Madalena. **Álgebra Linear e Geometria Analítica**. Lajeado: Centro Universitário Univates – Curso de Engenharia de Automação e Controle / Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental / Curso de Engenharia da Computação / Curso de Engenharia de Produção, 24 de julho de 2006. Apostila.

HÄGGSTRÖM, Olle. **Finite Markov chains and algorithmic applications**. Cambridge University Press, 2002.

30 SOLUÇÕES COLOIDAIS DE FERRO: REMOÇÃO SELETIVA DE ÓXIDOS E ESTABILIDADE CONTRA REOXIDAÇÃO

RESUMO

A corrosão de metais compromete a integridade estrutural e acarreta custos econômicos significativos. Métodos usuais de remoção de ferrugem, como abrasão e ácidos concentrados, apresentam limitações de segurança, seletividade e durabilidade. Este capítulo apresenta uma composição coloidal de nanopartículas de ferro (FeNPs) obtida por síntese one-pot, empregando sais de ferro e agentes estabilizantes, capaz de remover seletivamente a ferrugem e proteger a superfície contra reoxidação. Em ensaio de prova-de-conceito com peça metálica enferrujada, a imersão por 2 h resultou em redução de massa de cerca de 1,6% (≈ 3,0 g), com limpeza visual completa. Após 12 meses em condições ambientes, a peça não exibiu sinais de reoxidação, evidenciando a formação de uma barreira protetora persistente. As soluções-modelo apresentaram pH ácido e condutividade elevada, consistentes com dispersões coloidais estáveis. Os resultados sugerem que FeNPs coloidais são alternativa rápida, reprodutível e ambientalmente mais segura em relação a procedimentos abrasivos ou fortemente ácidos, com potencial de aplicação industrial em manutenção e recuperação de superfícies metálicas.

Palavras-chave: Corrosão; ferrugem; nanopartículas de ferro; síntese one-pot; solução coloidal; passivação; proteção anticorrosiva.

Larissa Friedrich[1]; Arthur Batista Bromirsky[1]; Marcus Paulo de Oliveira[1]; Matheus Amancio Correa Neres[1]; Glauber Rodrigues de Quadros[1]; Patrícia Regina Ebani[1]; Jocenir Boita[1]

1 Laboratório de Síntese e Caracterização de Nanomateriais (LSCnano), Coordenação acadêmica, Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

ABSTRACT

Metal corrosion undermines structural integrity and imposes significant economic costs. Conventional rust-removal methods—abrasive cleaning and concentrated acids—often suffer from safety, selectivity, and durability limitations. This chapter presents a colloidal iron nanoparticle (FeNP) composition produced via a one-pot synthesis using iron salts and stabilizers, which selectively removes rust while protecting the substrate against re-oxidation. In a proof-of-concept test with a rusted steel piece, 2 h immersion led to 1.6% mass loss (≈ 3.0 g) and complete visual rust removal. After 12 months under ambient conditions, the sample showed no evidence of re-oxidation, indicating formation of a persistent protective layer. Model solutions exhibited acidic pH and high conductivity, consistent with stable colloidal dispersions. The results indicate that colloidal FeNPs offer a fast, reproducible, and environmentally safer alternative to abrasive or strongly acidic treatments, with promising industrial applicability for maintenance and recovery of metallic surfaces.



Keywords: Corrosion; rust removal; iron nanoparticles; one-pot synthesis; colloid; passivation; anticorrosion protection.

1. INTRODUÇÃO

Metais são materiais estratégicos para a infraestrutura e a indústria, mas a corrosão - processo espontâneo de degradação - converte ferro metálico em óxidos hidratados (ferrugem), reduzindo resistência mecânica e vida útil de componentes e estruturas (1–2). A evolução de pites e descontinuidades decorrentes da corrosão pode comprometer a segurança e ocasionar elevados custos de manutenção e substituição (2,4).

Diversas rotas são empregadas para mitigação e remoção de ferrugem. Métodos físicos, como raspagem e jateamento abrasivo, apresentam bons resultados pontuais, porém podem induzir danos superficiais (fissuras e aumento de rugosidade), removendo apenas camadas externas de óxido e, por vezes, favorecendo nova corrosão (4). Tratamentos químicos convencionais, por sua vez, utilizam frequentemente ácidos fortes, alcançando remoção rápida, mas com riscos ocupacionais e ambientais, e cobertura limitada à ferrugem superficial (2–3). Alternativamente, revestimentos protetores (tintas e vernizes) atuam preventivamente, mas não sanam a oxidação já instalada (1). Há ainda abordagens eletroquímicas de redução de óxidos, com resultados promissores, embora com maior complexidade operacional e necessidade de arranjos específicos (5–6).

Essas limitações - remoção incompleta, agressividade do processo, necessidade de combinar técnicas e alto requisito de equipamento - motivam a busca por so-

luções mais seletivas, seguras e duráveis para desoxidação e proteção subsequente. Neste contexto, nanopartículas de ferro (FeNPs) em meio coloidal despontam como alternativa capaz de interagir quimicamente com os óxidos, removendo-os de forma eficiente e, simultaneamente, promovendo passivação da superfície metálica.

Este capítulo apresenta uma composição coloidal nanoestruturada de FeNPs obtida por síntese one-pot, com sais de ferro e agentes estabilizantes, que combina remoção seletiva da ferrugem e proteção anticorrosiva. Em ensaio representativo, a solução promoveu redução de massa de 1,6% em 2 h com limpeza visual completa e ausência de reoxidação por 12 meses sob condições ambientes. A tecnologia está amparada por depósito de patente brasileiro realizado em 2025 (BR 10 2025 018122-3), reforçando a originalidade e aplicabilidade do método (7). Nos tópicos seguintes, detalham-se materiais, métodos de síntese e aplicação, bem como a discussão dos resultados e suas implicações para uso prático e escalonamento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Local e infraestrutura

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Síntese e Caracterização de Nanomateriais (LSCnano) da Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul (UFSM-CS).

2.2. Materiais, vidrarias e equipamentos

Foram utilizados: béqueres de 25 mL, água deionizada (quando disponível) e potável da rede pública (quando indicado), balança analítica (Urano, UA220, incerteza ± 0,0001 g), agitador magnético com aquecimento (Cienlab), pinça para laboratório, barra magnética cilíndrica e peças metálicas (pregos e barras de aço) previamente oxidadas.

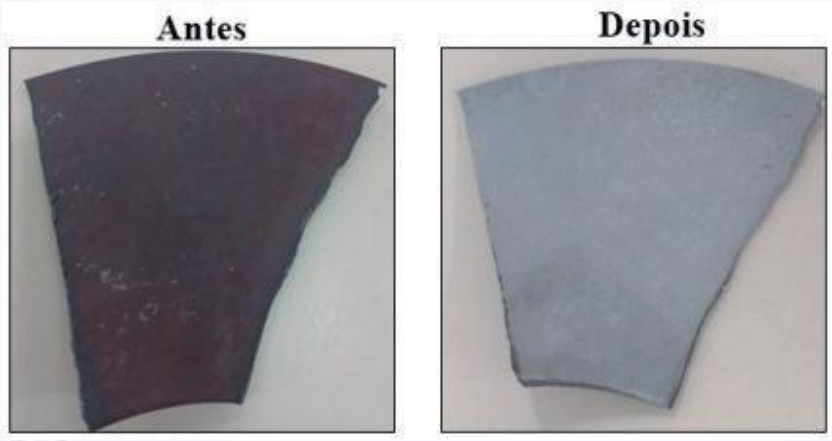
2.3. Reagentes

Os insumos e especificações empregados seguem integralmente o que consta na patente de invenção depositada no INPI sob o nº BR 10 2025 018122-3. Em observância à Lei da Propriedade Industrial (Lei nº 9.279/1996), o pedido permanece em sigilo até a publicação — que ocorre, em regra, após 18 meses do depósito — razão pela qual as composições e proporções não são reproduzidas nesta versão pública do capítulo. Após a publicação oficial do pedido, as informações técnicas poderão ser referenciadas conforme os termos legais ou, antes disso, compartilhadas sob acordo de confidencialidade quando estritamente necessário.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após 2 h de imersão na solução coloidal de FeNPs, observou-se limpeza visual completa da peça de aço enferrujada. A massa inicial da peça era de 190 g, chegando a 187 g. Isso resultou em uma perda de 3 g (≈ 1,6% da massa). Esses dados confirmam a remoção efetiva dos óxidos sem necessidade de abrasão ou ácidos fortes. Peça imersa por 2 horas na solução de FeNPs (antes/depois) demonstrada na Figura 1.

Figura 1. Remoção de ferrugem após 2 h de imersão em solução coloidal de FeNPs.



A amostra tratada não apresentou sinais de reoxidação após 12 meses em condições ambientais de umidade e temperatura, indicando a formação de uma camada protetora estável e duradoura sobre a superfície metálica.

Figura 2. Peça metálica tratada com FeNPs após 12 meses de exposição às condições ambientais (umidade/temperatura), sem indícios de reoxidação.



As formulações apresentaram meio ácido e alta condutividade, compatíveis com dispersões coloidais estáveis contendo FeNPs e espécies iônicas de suporte (Tabela 1).

Tabela 1. pH e condutividades das formulações

Formulação (20 mL)	pH (após síntese)	Condutividade
FeSO4(II) + citrato + PVP + ácido ascórbico	3,58	31–33 $mS{\cdot}cm^{-1}$
Fe(NO3)3·9H2O(III) + citrato + PVP + ácido ascórbico	3,11	45,4 $mS{\cdot}cm^{-1}$

Fonte: Autores

A dupla função (desoxidação rápida + passivação subsequente) foi demonstrada pelo balanço de massa em 2 h e pela ausência de reoxidação em 12 meses.

A condutividade mais alta da formulação férrica (nitrato) sugere maior densidade iônica no meio reacional; ambas mantêm pH ácido favorável à interação com os óxidos.

CONCLUSÕES

Este estudo demonstrou que a solução coloidal de nanopartículas de ferro (FeNPs) promove a remoção de ferrugem de forma eficiente e não abrasiva, alcançando limpeza visual completa em 2 h e redução de aproximadamente 1,6% da massa da peça. Além da remoção, observou-se um efeito anticorrosivo duradouro: a amostra tratada permaneceu sem sinais de reoxidação por até **12 meses** em condições ambientais. As formulações apresentaram pH ácido e elevada condutividade elétrica, características compatíveis com sistemas coloidais estáveis e com a reatividade química necessária para a desoxidação e subsequente passivação da superfície.

Em conjunto, os resultados sustentam a dupla função do sistema (remoção + proteção), com potencial de aplicação prática como alternativa mais segura e simples a métodos agressivos (ácidos fortes e abrasão). Do ponto de vista operacional, o processo é direto, reproduzível e compatível tanto com água deionizada quanto com água potável, favorecendo sua transferência para ambientes industriais ou de manutenção.

Limitações e próximos passos. Para consolidar o uso em escala, recomenda-se: (i) ampliar a validação em diferentes ligas e geometrias; (ii) quantificar a durabilidade da camada protetora por EIS/Tafel e ensaios acelerados (salt spray); (iii) elucidar mecanismos e cinética por XPS/XRD/SEM-EDS; e (iv) otimizar parâmetros (tempo, concentração, reuso do banho) e protocolos de descarte/recuperação ambientalmente adequados. Esses desdobramentos fortalecerão a robustez técnica e regulatória para adoção em rotinas de manutenção e fabricação.

REFERÊNCIAS

SENAI-SP. **Tratamento de Superfície.** Divisão de Recursos Didáticos da Diretoria de Educação do Departamento Regional do SENAI-SP. Santo Amaro. 2000.

OMAR, K. A.; SADEGHI, R. **Novel diglycolic acid-based deep eutectic solvents and their applications as a rust remover.** Journal of Molecular Liquids, v. 312, p. 113380, 2020.

SUN, S.;Chenb, W.; Yium, S.; Cao,S. S**tudy of the corrosion protection behavior of neutral water--based rust remover on carbon steel.** Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, v. 558, p. 130–137,2018.

GUO, S.; SI, R.; DAI Q.; YOU, Z.; MA, Y.; WANG, J. **A critical review of corrosion development and rust removal techniques on the structural/environmental performance of corroded steel bridges.** Journal of Cleaner Production, v. 233, p. 126–146, 2019.

LIMA, E. C. **Remoção de óxido de ferro em metais por meio da redução eletrolitica.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Química - Licenciatura, Recife, 2023.

GORIA, S. **Effect of the molarity of an alkaline electrolyte in electrolysis on the rust removal rate of steel.** Disponível em: http://www.sapphirefoundation.org

Boita, J.; BROMIRSKY, A. B.; EBANI, P.R. FRIEDRICH, L.; QUADROS, G. R. **Composição Removedora de Ferrugem Coloidal com Proteção Antioxidante, Processo de Obtenção e Uso da Mesma.** Depósito nº BR 10 2025 018122-3.

31 O MÉTODO DE WILSON E O TEMPO DE MISTURA DO EMBARALHAMENTO DE RUDVALIS SIMÉTRICO

RESUMO

O estudo de tempos de mistura de cadeias de Markov é um dos grandes temas de pesquisa na teoria das probabilidades. Neste capítulo de livro, discutimos sobre a versão simétrica do embaralhamento de Rudvalis, analisando o método proposto por David B. Wilson (2003) para estabelecer cotas inferiores assintoticamente precisas para o tempo de mistura. A técnica baseia-se no uso de autovetores e na elevação ('lifting') da cadeia para um espaço ampliado, permitindo controlar a variação da amplitude de um autovetor associado ao operador de transição. Apresentamos as ideias centrais do método, e os resultados obtidos da sua aplicação ao embaralhamento simétrico de Rudvalis, cujo tempo de mistura é da ordem de $\Theta(n^3 \log n)$[1].

ABSTRACT

The study of Markov chain mixing times is one of the major research topics in probability theory. In this book chapter, we discuss about the symmetric version of the Rudvalis

Palavras-chave: Cadeia de Markov; embaralhamento de cartas; tempo de mistura; método de Wilson; análise espectral.

Lucas Sartor[1];
Maria Eliza Castro[1];
Vanessa Neumann[1];
Rodrigo Marinho[2]

1 Curso de Bacharelado em Estatística, Universidade Federal de Santa Maria, Campus Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

2 Departamento de Estatística, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Campus Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

shuffle, analyzing the method proposed by David B. Wilson (2003) to establish asymptotically sharp lower bounds for the mixing time. The technique is based on the use of eigenvectors and the lifting of the chain to an enlarged space, allowing control over the variation in the amplitude of an eigenvector associated with the transition operator. We present the central ideas of the method and the results obtained from its application to the symmetric Rudvalis shuffle, whose mixing time is on the order of $\Theta(n^3 \log n)$[1].



Keywords: Markov chain; card shuffling; mixing time; Wilson's method; spectral analysis.

1. INTRODUÇÃO

O conceito de tempo de mistura quantifica o número de passos necessários para que uma cadeia de Markov se aproxime de sua distribuição estacionária, estimado normalmente em distância de variação total. Esse tempo é fundamental para análise de simulações e, dependendo do problema, para aplicações práticas, como determinar o número de vezes que devemos embaralhar um baralho com n cartas para que ele esteja bem embaralhado.

O seguinte embaralhamento, proposto por Arunas Rudvalis, consiste em mover a carta do topo para o fundo do baralho com probabilidade 1/2 ou colocá-la na segunda posição a partir do fundo com probabilidade 1/2. Embora simples, esse processo gera uma cadeia de Markov não reversível cuja dinâmica coletiva é lenta: as cartas individuais se movem rapidamente, mas a permutação completa demora a se uniformizar.

Em 2003, David B. Wilson estendeu seu método espectral para estabelecer cotas inferiores do tempo de mistura e aplicou-o a esse e a outros embaralhamentos, como o embaralhamento de Rudvalis simétrico: com probabilidade 1/4 fazemos uma das seguintes permutações: movemos a carta do topo para o fundo do baralho; movemos a carta do fundo para o topo; transpomos as duas cartas do topo; não fazemos nada. Para cada um destes embaralhamentos, Wilson encontrou uma cota inferior de ordem $n^3 \log n$ para o tempo de mistura.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A estratégia de Wilson consiste em escolher um autovetor Φ associado a um autovalor λ próximo de 1. Como $E[\Phi(X_{t+1}) \mid X_t] = \lambda\Phi(X_t)$, o valor esperado decai lentamente, permitindo detectar que a cadeia ainda não se misturou. Para lidar com autovetores complexos, Wilson eleva a cadeia para um espaço ampliado (X_t, Y_t) e encontra um autovetor Ψ, de modo que $|\Psi(X_t, Y_t)|$ dependa apenas de X_t.

A partir dessa construção, obtém-se o que chamaremos de Lema de Wilson, que relaciona λ, a variância de Ψ e um parâmetro R controlando o segundo momento dos incrementos $|\Psi_{t+1} - \Psi_t|$. Esse resultado fornece uma cota inferior explícita para tempo de mistura, baseada no decaimento de $E[\Psi_t]$ e no controle de sua variância.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o embaralhamento de Rudvalis original, o autovalor dominante é $\lambda = 1 - \frac{p}{1-p}\frac{4\pi^2}{n^3} + \Theta\left(\frac{1}{n^4}\right)$, levando a uma cota inferior para o tempo de mistura igual a $\frac{1-p}{p}\frac{1}{8\pi^2}n^3 \log n + \Theta(n^3)$. Isso confirma que, pelo menos, esse número de atualizações é necessário para que o baralho esteja bem embaralhado. Para a versão simétrica, o autovalor é $\lambda = (1 + \cos\theta)/2$ para $\theta = (1 + o(1))\sqrt{2}\,\pi\, n^{-3/2}$ [1], ou seja, $\lambda = 1 - \frac{\pi^2}{2n^3} + \Theta\left(\frac{1}{n^4}\right)$, levando a uma cota inferior para o tempo de mistura igual a $\frac{1}{\pi^2}n^3 \log n + \Theta(n^3)$. Esses resultados mostram que, embora a posição individual de uma carta relaxe em $\Theta(n^2)$ passos, a mistura global requer $\Theta(n^3 \log n)$[1].

CONCLUSÕES

O método de Wilson representa um avanço significativo na análise de tempos de mistura, pois integra argumentos espectrais, controle de variância e elevação da cadeia para lidar com autovetores complexos. Sua aplicação ao embaralhamento de Rudvalis e variantes produziu cotas inferiores que coincidem, em ordem de grandeza, com as cotas superiores conhecidas, confirmando que o tempo de mistura é $\Theta(n^3 \log n)$[1].

Agradecimentos: *M. Castro, R. Marinho e L. Sartor agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul pelo apoio financeiro através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e através da bolsa 25/2551-0000934-0 (ARC). V. Neumann agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica, bolsa 159905/2025-7.*

REFERÊNCIAS

WILSON, D. B. **Mixing Time of the Rudvalis Shuffle**. Electronic Communications in Probability, v. 8, p. 77-85, 2003.

DIACONIS, P.; SALOFF-COSTE, L. **Comparison Techniques for Random Walk on Finite Groups**. Annals of Probability, v. 21, n. 4, p. 2131-2156, 1993.

HILDEBRAND, M. V. **Rates of Convergence of Some Random Processes on Finite Groups**. PhD Thesis, Harvard University, 1990.

SALOFF-COSTE, L. **Lower Bound in Total Variation for Finite Markov Chains: Wilson's Lemma**. Manuscript, 2002.

ALDOUS, D.; FILL, J. A. **Reversible Markov Chains and Random Walks on Graphs**. Book in Preparation, 2005.

LEVIN, D. A.; PERES, Y.; WILMER, E. L. Markov Chains and Mixing Times. 2. ed. Providence, R.I.: American Mathematical Society, 2017.

MOREIRA, D. T. L. **An analysis of the Rudvalis Shuffle**. Thesis (Master of Science in Mathematics and Applications) - Instituto Superior Técnico, 2021.

32 FUNCIONAMENTO DE UM SUSTAINER – SOLUÇÕES DE BAIXO CUSTO E REAPROVEITAMENTO

RESUMO

O presente trabalho desenvolveu e avaliou um protótipo de *sustainer* para guitarra utilizando materiais de baixo custo e reutilizados. O dispositivo, baseado em um driver eletromagnético com bobina de 6 Ω (≈190 espiras) acoplado a um amplificador XH- M181, demonstrou funcionamento ao sustentar a vibração da corda Mi grave (E), com modo fundamental ou harmônico selecionável pela polaridade. Os resultados atestam a viabilidade da construção caseira do sistema, recomendando-se para futuros trabalhos o uso de fio reciclado e o desenvolvimento de um driver duplo para maior eficiência.

ABSTRACT

This work developed and evaluated a prototype sustainer for guitar using low-cost and reused materials. The device, based on an electromagnetic driver with a 6 Ω (≈190 turns) coil coupled to an XH-M181 amplifier, demonstrated functionality by sustaining the vibration of the low E string, with selectable fundamental or harmonic mode via polarity reversal. The

Palavras-chave: Sustainer; Guitarra; Baixo custo; Eletromagnetismo; DIY.

Arthur Batista Bromirsky[1]; Lucas Anversa da Silva[1]; Angélico Loreto Teixeira[1]; Glauber Rodrigues de Quadros[1]; Jocenir Boita[1]; Bruna Silva Vargas[2]; Deyla da Costa Moura[3]

1 Universidade Federal de Santa Maria – Cachoeira do Sul;
2 Escola Estadual Diva Costa Fachin;
3 Escola Estadual de Educação Básica Borges de Medeiros

results confirm the feasibility of a DIY construction of the system, recommending the use of recycled wire and the development of a dual driver for greater efficiency in future work.

Keywords: Sustainer; Guitar; Low-cost; Electromagnetism; DIY.

1. INTRODUÇÃO

A guitarra elétrica consolidou-se como um dos instrumentos mais influentes do século XX, sendo essencial em estilos como rock, blues e jazz. Seu som depende fortemente de componentes eletrônicos, especialmente do captador eletromagnético, responsável por converter a vibração das cordas metálicas em sinal elétrico [1]. Entretanto, o decaimento natural dessa vibração limita a sustentação das notas *(sustain*), um efeito sonoro valorizado por músicos.

Para contornar essa limitação, surgiram os *sustainers* (sustentadores), dispositivos de realimentação magnética que mantêm as cordas em vibração contínua. Seu funcionamento baseia-se no eletromagnetismo: o sinal captado é amplificado e reenviado a uma bobina (*driver*), que gera um campo magnético variável capaz de sustentar a nota [2,3]. Modelos comerciais, como o *Fernandes Sustainer System*, comprovam a eficiência dessa tecnologia, mas seu alto custo restringe o acesso a muitos músicos [4].

Diante disso, este trabalho propõe o desenvolvimento de um *sustainer* de baixo custo, utilizando materiais reaproveitados, como fios de cobre de transformadores e ímãs de alto-falantes. O projeto busca demonstrar a viabilidade de soluções DIY (faça você mesmo) na construção de tecnologia musical acessível, aliando inovação técnica, sustentabilidade e incentivo à criatividade [5].

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O *sustainer* (sustentador) é um sistema de realimentação eletromecânica baseado na Lei de Faraday e na força de Lorentz. Um captador convencional (humbucker de ponte) converte a vibração das cordas em sinal elétrico, que é amplificado e enviado a uma bobina (*driver*) posicionada sob as cordas. A corrente amplificada gera um campo magnético variável que interage com as cordas metálicas magnetizadas, sustentando sua vibração [2,6]. A inversão da polaridade do sinal permite alternar entre modos fundamental e harmônico [7].

O protótipo foi construído com materiais de fáceis acessos e de baixo custo.

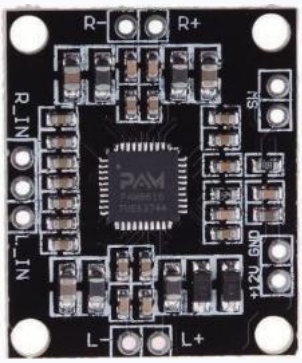
Estrutura mecânica: corpo do *driver* impresso em 3D em PLA, devido à sua leveza e facilidade de fabricação [8].

Bobina condutora: fio de cobre esmaltado AWG 27, escolhido por equilibrar resistência, indutância e acoplamento magnético. Prevê-se o uso de fio reciclado em versões futuras [5].

Sistema magnético: seis parafusos de aço atuando como núcleos magnéticos, acoplados a um ímã de neodímio na base da estrutura, garantindo magnetização individual das cordas [6,9].

Eletrônica: módulo amplificador de áudio XH-M181 (Figura 1), que recebe o sinal do captador e fornece potência ao *driver*, alimentado por fonte de 12 V CC.

Figura 1. Módulo XH-M181 utilizado.

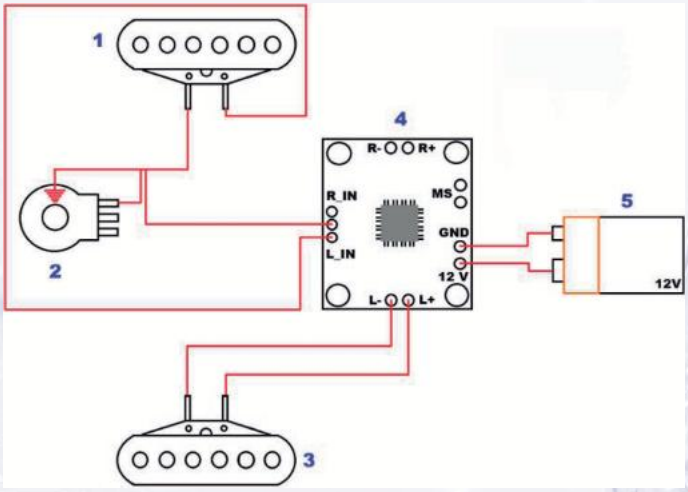


Fonte: https://www.mercadolivre.com.br/10pcs--mini- amplificador-stereo-digital-pam8610-2-x-15w--pam8610-original/up/MLBU1093928342

O fio AWG 27 foi enrolado manualmente em um carretel plástico e acoplado à estrutura impressa. O ímã de neodímio foi fixado à base, magnetizando os parafusos. O *driver* foi instalado na posição do braço da guitarra, mantendo o captador da ponte como sensor. A ligação elétrica seguiu o esquema da Figura 2, com alimentação de 12 V e possibilidade de inversão de polaridade para comutação de modo.

O sistema foi testado qualitativamente, conectando a guitarra a um amplificador. A resistência elétrica da bobina foi medida com multímetro digital para verificação de integridade.

Figura 2. Esquema elétrico simplificado do circuito do *sustainer* inicial.



Fonte: Autor

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A O protótipo do *driver* eletromagnético foi construído com sucesso, apresentando aproximadamente 190 espiras de fio de cobre AWG 27. A resistência medida foi de 6 Ω, valor compatível com a faixa de impedância suportada pelo módulo amplificador XH-M181 [7], confirmando a adequação do fio e da geometria adotada para um primeiro protótipo funcional. A baixa resistência sugere uma indutância reduzida, o que pode limitar a eficiência do acoplamento em altas frequências [2,6]. A Figura 3 ilustra a bobina montada sobre o corpo em PLA.

Figura 3. Bobina inicial feita para os testes.



Fonte: Autor.

Os testes qualitativos confirmaram o princípio de operação do *sustainer*: ao ativar o circuito, a corda Mi grave (E6) manteve vibração contínua enquanto o sistema permanecia ligado. Além disso, a inversão da polaridade dos fios da bobina alterou o comportamento vibracional. Em uma configuração prevaleceu o modo fundamental, e na polaridade inversa, um harmônico (provavelmente o segundo) passou a dominar. Esse comportamento está em conformidade com o princípio teórico de que a inversão de fase desloca o ponto nodal de excitação, suprimindo o fundamental e reforçando harmônicos [7,9]. Apesar do êxito na corda E6, as demais cordas não apresentaram sustentação perceptível.

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho demonstrou a viabilidade de construir um protótipo funcional de *sustainer* para guitarra utilizando materiais de baixo custo e técnicas acessíveis, como a impressão 3D e o reaproveitamento de componentes. O *driver* eletromagnético, com 190 espiras e resistência de 6 Ω, operou adequadamente com o amplificador XH-M181,

sustentando a vibração da corda Mi grave (E) e permitindo a comutação entre os modos fundamental e harmônico por meio da inversão de polaridade (confirmando a correta aplicação dos princípios eletromagnéticos do sistema).

A seletividade observada, restrita à corda de menor frequência, indica limitações relacionadas ao acoplamento magnético e à resposta em frequência do *driver*, configurando oportunidades de otimização. Para versões futuras, propõe-se o uso de fio de cobre reaproveitado de transformadores inutilizados, reforçando o caráter sustentável do projeto, além da inclusão de chaveamento eletrônico para integração direta com os captadores da guitarra. O desenvolvimento de um driver de dupla bobina também é previsto, visando um controle magnético mais preciso e melhor distribuição de energia entre as cordas.

5. REFERÊNCIAS

FENDER. A Guide to Fender Single-Coil Stratocaster Pickups. 2023. Disponível em: https://www.fender.com/articles/instruments/a-guide-to-fender-single-coil-stratocaster- pickups. Acesso em 25 de outubro de 2025.

DIY FEVER. DIY Sustainer Driver Design and Theory. 2012. Disponível em: https://diy- fever.com/misc/diy-sustainer/. Acesso em 25 de outubro de 2025.

FRENCH, R. M. Technology of the Guitar. Springer, 2012. Disponível em: https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4614-1921-1. Acesso em 26 de ouubro de 2025.

FERNANDES GUITARS. Sustainer System. 2023. Disponível em: https://fernandesguitars.com/sustainers/#how-it-works. Acesso em 25 de outubro de 2025.

UNITED NATIONS UNIVERSITY. The Global E-waste Monitor 2020 – Quantities, flows, and the circular economy potential. 2020. Disponível em: https://ewastemonitor.info/gem- 2020/. Acesso em 26 de outubro de 2025.

SCIENTIFIC GUITARIST. Sustainer Driver Coil Design and Magnetic Circuit. 2020. Disponível em: https://scientificguitarist.wixsite.com/home/sustainer-driver-coil. Acesso em 25 de outubro de 2025.

ULTIMATE GUITAR FORUM. DIY Sustainer Guide. 2015. Disponível em: https://www.ultimate-guitar.com/forum/showthread.php?t=1841266. Acesso em 26 de outubro de 2025.

GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B. Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. Springer, 2015. Disponível em: https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4939-2113-3. Acesso em 25 de outubro de 2025.

SEYMOUR DUNCAN. Pickup Basics. 2023. Disponível em: https://www.seymourduncan.com/blog/latest-updates/pickup-basics. Acesso em 26 de outubro de 2025.

33

RE CONECTA CACHOEIRA: EDUCAÇÃO PATRIMONIAL E VALORIZAÇÃO DO PATRIMÔNIO MATERIAL EM CACHOEIRA DO SUL (RS) POR MEIO DO USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA)

RESUMO

O projeto de extensão Re Conecta Cachoeira propõe o resgate e a difusão do patrimônio arquitetônico e urbano de Cachoeira do Sul (RS), articulando ensino, pesquisa e extensão na promoção da educação patrimonial e da conscientização cidadã. A iniciativa utiliza inteligência artificial e tecnologias digitais para sistematizar, analisar e divulgar acervos visuais, fortalecendo o diálogo entre universidade e comunidade. Estruturado em quatro eixos — Editorial e Educativo, Cultural e Audiovisual, Turístico e Participativo e Lúdico-Educativo — o projeto desenvolve ações como o Almanaque Re Conecta Cachoeira, sessões de cinema, roteiros turísticos e jogos patrimoniais. A metodologia envolve levantamento documental, análises morfológicas e atividades de participação comunitária.

Palavras-chave: Patrimônio cultural; educação patrimonial; extensão universitária; inteligência artificial; identidade local; memória urbana.

Ana Paula Nogueira[1]; Adroaldo Borba da Silva[2]; Isadora Dias Bido[2]; Maria Luiza Zanatta de Souza[3]

1 Doutora em Teoria, História e Crítica (UFRGS), Professora Efetiva do Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Maria - Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.
2 Acadêmico do Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.
3 Doutora em Arquitetura e Urbanismo (USP), Professora Efetiva do Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Maria - Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

Resultados parciais indicam fortalecimento da consciência patrimonial, engajamento comunitário e formação crítica de estudantes, reafirmando o papel da universidade pública na transformação social e na preservação da memória coletiva.

ABSTRACT

The extension project *Re Conecta Cachoeira* proposes the recovery and dissemination of the architectural and urban heritage of Cachoeira do Sul (RS), integrating teaching, research, and extension to promote heritage education and civic awareness. The initiative employs artificial intelligence and digital technologies to systematize, analyze, and share visual collections, strengthening the dialogue between the university and the community. Structured around four axes — Editorial and Educational, Cultural and Audiovisual, Touristic and Participatory, and Playful-Educational — the project develops actions such as the *Re Conecta Cachoeira Almanac*, film sessions, tourist routes, and heritage games. The methodology involves documentary research, morphological analyses, and community participation activities. Partial results indicate a strengthening of heritage awareness, community engagement, and the critical education of students, reaffirming the role of the public university in social transformation and the preservation of collective memory.



Keywords: cultural heritage; heritage education; university extension; artificial intelligence; local identity; urban memory.

1. INTRODUÇÃO

O patrimônio cultural constitui um eixo central na identidade coletiva, conectando passado e presente por meio de bens, práticas e manifestações que corporificam a memória social. Valorizar esse patrimônio permite reconhecer o papel do passado na construção de identidades locais e estimula a responsabilidade pela conservação de bens históricos e simbólicos.

O projeto Re Conecta Cachoeira articula ensino, pesquisa e extensão para resgatar e difundir o patrimônio da cidade, utilizando inteligência artificial para sistematização, análise e divulgação de acervos visuais. A iniciativa aproxima universidade e comunidade, promove competências técnicas e críticas nos estudantes e fortalece o senso de pertencimento local. Redes sociais e cultura digital ampliam a visibilidade das ações, favorecendo o engajamento intergeracional e reforçando a identidade cultural.

A extensão universitária demonstra sua importância ao permitir que estudantes articulem conhecimentos acadêmicos com demandas sociais e culturais, contribuindo para a formação cidadã e para a valorização da memória coletiva.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto promove o diálogo direto entre a universidade e a comunidade local. A iniciativa articula atividades de pesquisa e extensão voltadas à valorização do patrimônio arquitetônico e urbano de Cachoeira do Sul.

Sua natureza se manifesta na convergência entre áreas como Arquitetura e Urbanismo, História, Comunicação, Design Gráfico e Turismo, integrando produção de materiais educativos, roteiros interpretativos e ações de mediação cultural. Assim oferece aos estudantes uma formação voltada à preservação da memória coletiva.

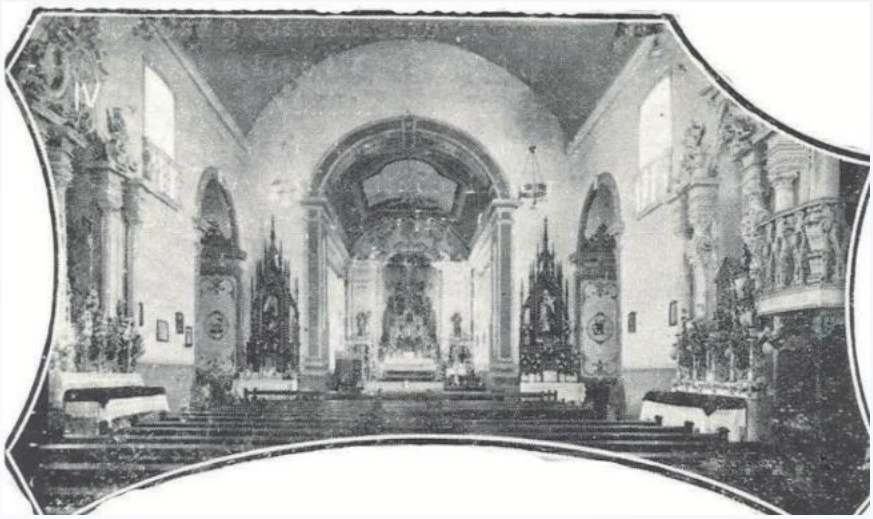
2.1 Metodologias de levantamento e análise do patrimônio

A pesquisa documental, realizada junto ao Arquivo Histórico Municipal e ao Museu Municipal, constitui o ponto de partida. Complementam-se registros fotográficos contemporâneos, levantamentos cartográficos e análises morfológicas do tecido urbano, permitindo compreender transformações físicas e simbólicas do patrimônio ao longo do tempo.

O tratamento de imagens históricas no projeto utiliza a Inteligência Artificial (IA) em duas frentes: a primeira, empregando a plataforma **Manus** para a recolorização de fotografias antigas em preto e branco (provenientes de acervos institucionais e comunitários). Essa atividade é guiada por *prompts* construídos a partir de descrições históricas e depoimentos, buscando gerar uma versão aproximada da cor original de edificações e interiores. A segunda frente aplica o **ChatGPT** em oficinas de educação patrimonial, transformando fotografias de bens arquitetônicos em desenhos lineares (*coloring pages*) por meio de *prompts* que simplificam os contornos, preservando as proporções e características formais dos objetos culturais para uso didático.

2.2 Estratégias de participação comunitária

Figura 1: Interior da Igr. Matriz de Cachoeira do Sul/RS (c. 1920).



Fonte: Museu Mun. Edyr Lima.

Figura 2: Figura 1 tratada com Inteligência Artificial.



Fonte: Cachoeira Viva (@cachoeiraviva).

Oficinas de educação patrimonial, exposições interativas, roteiros urbanos guiados e ações em mídias sociais aproximam diferentes públicos da valorização do patrimônio. A parceria com o perfil @CachoeiraViva no Instagram é fundamental para a produção de conteúdos educativos, exposições e roteiros urbanos, ampliando o alcance das ações e destacando o papel das mídias digitais.

2.3 Cronograma e equipe envolvida

O projeto desenvolvido entre 2025 e 2027, articula pesquisa, produção e difusão. Em 2025 ocorreram levantamentos documental e fotográfico e a primeira oficina. Em 2026, está prevista a criação de Jogos Patrimoniais, além de ações editoriais e exposições de audiovisuais; em 2027, consolidação das atividades turísticas e participativas. A equipe inclui docentes do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFSM – campus Cachoeira do Sul, discentes, bolsistas e voluntários, além de parceiros externos como os membros do Arquivo Histórico Municipal e do Museu Municipal Patrono Edyr Lima.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O projeto de extensão Re Conecta Cachoeira estrutura-se em quatro eixos temáticos interdependentes — Editorial e Educativo, Cultural e Audiovisual, Turístico e Participativo e Lúdico-Educativo — os quais articulam ações voltadas à valorização, difusão e preservação do patrimônio cultural existente. Cada eixo propõe estratégias próprias de mediação cultural, baseadas no diálogo entre universidade e comunidade.

3.1 Apresentação dos eixos temáticos

- **Eixo Editorial e Educativo**: Almanaque Re Conecta Cachoeira, com imagens históricas e contemporâneas, entrevistas e textos interpretativos sobre o patrimônio local. A publicação busca democratizar o acesso ao conhecimento de forma lúdica e criativa.
- **Eixo Cultural e Audiovisual**: Sessões de Cinema – Cachoeira em Imagens, com filmes, documentários e registros históricos. Exibições presenciais e digitais são acompanhadas de debates e oficinas sobre memória e identidade urbana, promovendo diálogo intergeracional.
- **Eixo Turístico e Participativo**: Roteiro Re Conecta Cachoeira, que reúne edifícios históricos, praças e monumentos, com sinalização informativa, visitas guiadas e mapas impressos e digitais. A ação integra turismo cultural e educação patrimonial.
- **Eixo Lúdico-Educativo:** Jogos Patrimoniais físicos e digitais aplicados em oficinas e contextos escolares, abordando tipologias arquitetônicas, curiosidades e narrativas históricas, estimulando aprendizado participativo.

3.2 Impactos esperados e resultados parciais obtidos

Entre os impactos esperados estão o fortalecimento da consciência patrimonial, o aumento do engajamento social e o estímulo ao pertencimento urbano. Resultados parciais incluem ampliação do diálogo universidade-comunidade, formação de redes colaborativas

(como a parceria com @CachoeiraViva) e produção de materiais educativos e audiovisuais de circulação pública. As ações fortalecem vínculos identitários, estimulam apropriação simbólica dos espaços urbanos e promovem formação interdisciplinar dos estudantes, integrando conhecimentos técnicos de arquitetura a dimensões sociais, culturais e comunicacionais.

3.4 Discussão

O desenvolvimento da educação patrimonial em cidades médias, como Cachoeira do Sul, enfrenta desafios significativos relacionados ao engajamento da comunidade com seu próprio patrimônio histórico. A limitada visibilidade dos bens culturais, associada à escassez de ações sistemáticas de valorização, exige estratégias que integrem educação, sensibilização e participação social.

Nesse contexto, projetos extensionistas como o Re Conecta Cachoeira transformam a relação dos cidadãos com a memória urbana. O uso das redes sociais, e da inteligência artificial mostra-se fundamental para estimular a participação comunitária. E a parceria com o perfil digital "Cachoeira Viva" permite a circulação de imagens históricas e atuais da cidade, gerando conteúdos educativos e culturais que dialogam com diferentes públicos.

A extensão universitária desempenha papel central nesse processo, aplicando o conhecimento teórico em contextos reais do patrimônio local. Além disso amplia o acesso da população ao conhecimento histórico, fortalecendo a identidade cultural, a preservação e promoção do patrimônio.

4. CONCLUSÕES

O Re Conecta Cachoeira fortalece a consciência patrimonial e a identidade local, articulando ensino, pesquisa e extensão na valorização do patrimônio arquitetônico e cultural. Suas ações democratizam o acesso ao conhecimento histórico, consolidam redes de cooperação entre universidade, comunidade e poder público, e promovem a formação de novos agentes multiplicadores. O projeto evidencia o papel da UFSM como promotora da cidadania, da educação patrimonial e da preservação da memória coletiva, demonstrando que o ensino público é essencial para a construção de uma sociedade mais consciente e participativa.

5. REFERÊNCIAS

NORA, Pierre. Entre memória e história: a problemática dos lugares. Tradução de Yara Aun Khoury. *Projeto História*, São Paulo, n. 10, p. 7-28, dez. 1993.

CACHOEIRA VIVA. *Perfil Cachoeira Viva no Instagram.* Disponível em: https://www.instagram.com/cachoeiraviva/. Acesso em: out. 2025.

34 O USO DE TRANSFORMAÇÕES LINEARES E MATRIZES NA IMPLEMENTAÇÃO E ANÁLISE DE SISTEMAS CRIPTOGRÁFICOS DE SEGURANÇA

RESUMO

Esta pesquisa aplica a Álgebra Linear como base teórica e prática na criptografia, demonstrando a viabilidade de usar operações matriciais para criar sistemas de codificação. Através do estudo da Cifra de Hill, o trabalho ilustra os processos de cifragem e decifragem, validando a eficácia desses conceitos na segurança da informação. A metodologia incluiu revisão bibliográfica e simulação computacional. Os resultados vinculam à segurança à dimensão e invertibilidade das matrizes-chave, concluindo que o domínio da Álgebra Linear é essencial para projetar e avaliar protocolos criptográficos modernos.

Palavras-chave: Criptografia; Álgebra Linear; Sistemas de Segurança; Matrizes; Criptosistema de Hill.

Gunnar Vingren Teixeira Aparicio[1];
Erik Luiz Dullius Carneiro[1];
Miguel Nunes Roso[1];
Lucas Tavares Cardoso[2]

1 Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria - Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul,Brasil.

2 Laboratório de Estudos em Ciências Teóricas (LECT), Coordenação acadêmica, Universidade Federal de Santa Maria - Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

ABSTRACT

This research applies Linear Algebra as a theoretical and practical foundation in cryptography, demonstrating the feasibility of using matrix operations to create data encoding systems. Through the study of the Hill Cipher, the work illustrates encryption and decryption processes, validating the effectiveness of these concepts in information security. The methodology included a literature review and computational simulation. The results link security to the dimension and invertibility of key matrices, concluding that mastery of Linear Algebra is essential for designing and evaluating modern cryptographic protocols.



Keywords: Cryptography; Linear Algebra; Security Systems; Matrices; Hill Cipher.

1. INTRODUÇÃO

Entre os diversos modelos criptográficos, a Cifra de Hill, proposta por Lester S. Hill em 1929, é notória por sua base conceitual. O método foi inovador ao ancorar-se em conceitos de matrizes e transformações lineares, demonstrando que operações matriciais poderiam criar sistemas de segurança robustos.

A segurança da informação contemporânea fundamenta-se em algoritmos matemáticos complexos que garantem a integridade e o sigilo dos dados. Dentro deste cenário, a Álgebra Linear emerge como uma ferramenta essencial para o desenvolvimento de sistemas criptográficos robustos. Este trabalho dedica-se a analisar como conceitos fundamentais, tais como matrizes e transformações lineares, estruturam o funcionamento de algoritmos de segurança, com foco específico na análise do Criptosistema de Hill. A segurança do Criptosistema de Hill está intrinsecamente ligada à invertibilidade da matriz-chave. O processo de decifragem exige a aplicação da matriz inversa sobre corpos finitos. Uma escolha inadequada de chave (cujo determinante não seja coprimo com 26) torna a matriz não invertível e a mensagem irrecuperável.

A implementação computacional deste método (em linguagem Python) serve como um teste prático do desenvolvimento teórico. Contudo, é fundamental salientar que este projeto tem um caráter educativo e exploratório. A Cifra de Hill serve como um ponto de partida crucial para a compreensão dos princípios matemáticos que fundamentam os algoritmos criptográficos modernos e mais complexos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada consistiu em uma revisão bibliográfica sistemática sobre a Cifra de Hill e suas aplicações em segurança da informação. Para a compreensão e análise dos aspectos algébricos que fundamentam o sistema, utilizou-se a obra de Boldrini et al., que serviu de base teórica para o estudo de matrizes e transformações lineares aplicadas.

Além disso, foi desenvolvida uma simulação computacional em Python para implementar o processo de cifragem e decifragem de mensagens utilizando matrizes invertíveis em módulo 26. Foram seguidas rigorosamente as regras de invertibilidade: determinante da matriz chave diferente de zero e máximo divisor comum entre o determinante e 26 igual a 1.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O Criptosistema de Hill consiste em um método de criptografia que se fundamenta na álgebra linear, onde a cifragem é realizada por meio da multiplicação de matrizes. Para ilustrar sua aplicação, foi selecionada a mensagem "Eng Elétrica Cachoeira do Sul". Em seguida, a mensagem é preparada agrupando-se as letras em pares. Para isso, removem-se todos os espaços, vírgulas e acentuações. Como o número total de caracteres resultante é ímpar, repete-se a última letra para completar um par final, obtendo a frase ENGELETRICACACHOEIRADOSUL. Após esse processo,

$$\mathbf{P}_1 = \begin{pmatrix} 5 \\ 14 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{P}_2 = \begin{pmatrix} 7 \\ 5 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{P}_3 = \begin{pmatrix} 12 \\ 5 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{P}_4 = \begin{pmatrix} 20 \\ 18 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{P}_5 = \begin{pmatrix} 9 \\ 3 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{P}_6 = \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \end{pmatrix}$$

cada par de letras é substituído pelo seu número correspondente no alfabeto, onde A=1, B=2, e assim por diante até Z=26. Obtendo as matrizes;

Fazendo o mesmo nas demais matrizes [6]. Para efetuar a cifragem, é necessária a definição de uma matriz chave 2x2. Esta matriz deve atender a duas condições essenciais: seu determinante deve ser diferente de zero, e o máximo divisor comum (MDC) entre este determinante e o número 26 deve ser igual a 1. A matriz selecionada que atende a esses critérios foi;

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 5 & 4 \\ 21 & 25 \end{pmatrix}$$

agora, basta multiplicar as matrizes colunas pela matriz chave escolhida.

$$\text{i)} \quad \begin{pmatrix} 5 & 4 \\ 21 & 25 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 5 \\ 14 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 81 \\ 455 \end{pmatrix}$$

Obtendo assim, as matrizes criptografadas;

Aplicando o mesmo procedimento de multiplicação modular a todos os pares de letras e realizando o módulo 26 nos resultados numéricos superiores a 26, obtém-se a sequência cifrada. Subsequentemente, convertem-se esses valores numéricos de volta às suas letras correspondentes no alfabeto, resultando na mensagem criptografada: "CM CL BM PL ED QR QR VW HR PM BQ WN DF".

A decifragem consiste em obter a matriz inversa da matriz chave pelo seguinte método

$$\mathbf{A}^{-1} = (\det(\mathbf{A}))^{-1} \cdot \mathrm{adj}(\mathbf{A}) \pmod{26}$$

$$\mathbf{A}^{-1} = \begin{pmatrix} 19 & 24 \\ 9 & 9 \end{pmatrix}$$

Obtida a matriz chave, deve-se pegar as matrizes criptografadas, fazer a multiplicação pela inversa e fazer o módulo de 26. Assim, obtém-se as matrizes originais, que substituindo pela letra correspondente do alfabeto, alcança-se a mensagem original.

O que foi demonstrado acima é possível visualizar nas bases do código da aplicação. [5] O processo inicia-se na classe *BancoDadosHill* , que estabelece a matriz-chave (*self.chave*) e calcula imediatamente a matriz inversa modular (*self.chave_inversa*) na inicialização. A preparação do texto, incluindo a conversão para números e o agrupamento em blocos de 2, é tratada pelos métodos *preparar_texto* e *texto_para_numero*. O coração da **cifragem** reside no método *criptografar*, que itera pelos blocos e chama a função *multiplicar_matriz_vetor*, aplicando a transformação linear C = A x P com o módulo 26. Para a **decifragem**, o método *descriptografar* utiliza a matriz *self.chave_inversa*, realizando a operação P=(Matriz inversa) x C. O cálculo da inversa, essencial para a recuperação da mensagem, é realizado na função *inversa_modular*, que primeiro encontra o determinante e seu inverso multiplicativo mod26. Assim, cada etapa manual da Cifra de Hill corresponde a uma função específica do código, garantindo a integridade matemática da aplicação.

Como uma Carteira de Senhas digital, o código utiliza o Criptosistema de Hill para proteger as senhas. Ele criptografa a senha mestra e todas as credenciais antes de armazená-las. Para recuperá-las, o sistema aplica a matriz inversa para decifrar os dados, funcionando como um cofre que usa Álgebra Linear para trancar e destrancar as credenciais do usuário.

A segurança do sistema mostrou-se diretamente dependente da dimensão da matriz-chave e de sua invertibilidade. Sistemas com matrizes maiores e bem escolhidas aumentam significativamente a complexidade criptográfica.

4. CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi comprovar como as transformações lineares e matrizes podem ser utilizadas para a construção e funcionamento de sistemas criptográficos. O estu-

do do Ciframento de Hill permitiu entender claramente como conceitos da Álgebra Linear são aplicados para o funcionamento da segurança da informação.

Tanto a pesquisa quanto as implementações feitas em Python demonstraram que a matemática abstrata se torna crucial para lidar com sistemas do dia a dia, uma vez que transformações lineares representam problemas reais no que se refere à proteção de dados. Conclui-se que o trabalho cumpriu seu papel ao criar uma ponte entre a Álgebra Linear e a segurança da informação.

5. REFERÊNCIAS

BOLDRINI, José Luiz et alii. Álgebra Linear. 3. ed. ampl. e rev. São Paulo:Harbra,c 1986

STEVEN J.Leon. Álgebra Linear com Aplicações. 8. ed. ampl. e rev. Rio de Janeiro: LTC , 2013

COSTA, Leticia Correia Alexandre da. Cifras de Hill: A utilização da Álgebra Linear em Sistemas Criptográficos. Trabalho de Conclusão de Curso. Licenciatura em Matemática. Universidade Federal da Paraíba. Rio Tinto. 2022. (Disponível em: Repositório Institucional da UFPB: Cifras de Hill : a utilização da álgebra linear em sistemas criptográficos. Acesso em 24 de Setembro. 2025).

Yuling Qian. Application of modern algebra in cryptography. Artigo Científico.

Sino-Canada School. SUZHOU, JIANGSU Province, 215027, China. (Disponivel em: Application of modern algebra in cryptography | Theoretical and Natural Science. Acesso em 25 de setembro. 2025)

APARICIO, Gunnar. Cifra de Hill Aplicação.py [código-fonte]. In: linear-algebra-application-in-security-systems. s.l.: GitHub, 2025. Disponível em: https://github.com/gunnaraparicio/linear-algebra--application-in-security-systems/blob/ 10b04a072ad8a97dd2ab378f8f35a2290a250b0e/Cifra%20de%20Hill%20Aplica%C3%A7%C3%A3o.py. Acesso em: 16 out. 2025.

CARNEIRO, Erik. AplicaçãoArtigo.pdf In: Aplicacoes-Algebra-Linear. s.l.: GitHub, 2025. Disponível em: https://github.com/ErikDullius/Aplicacoes-Algebra-Linear/blob/main/Aplica%C3%A7% C3%A3oArtigo.pdf. Acesso em: 28 out. 2025.

35 CONCEITOS DE ÁLGEBRA LINEAR NO RECONHECIMENTO FACIAL

RESUMO

O reconhecimento facial é uma tecnologia cada vez mais presente na sociedade atual, utilizada tanto em práticas de socialização entre uma comunidade ou de um conjunto de comunidades, garantindo que dados sejam mantidos em segurança, como também na segurança individual, focando na necessidade de sistemas de proteção de segurança de dados presentes em dispositivos móveis, sendo ele dados íntimos ao usuário como na posse de bens vinculados à ethernet. Este trabalho tem objetivo de apresentar conceitos matemáticos relacionados a álgebra, sendo eles, matrizes, autovalores e autovetores. Serão utilizados representações de imagens como vetores em espaços de alta dimensão e a extração de características faciais por meio de Eigenfaces, apresentando ao leitor os conceitos empregados pela álgebra, que garantem a segurança de seu usuário.

ABSTRACT

Facial recognition is a technology increasingly present in today's society, used both in socializing practices within a community or group of communities, ensuring data security, and for individual security, focusing on the need for data security protection systems present in mobile devices, whether it be user-intimate data or the ownership of Ether-

Palavras-chave: Reconhecimento facial, álgebra linear, Eigenfaces.

Eduardo Soares Boeck[1];
Leonardo Leão Leal[1];
Ruan Pablo da Silva[1];
Lucas Tavares Cardoso[2]

1 Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

2 Laboratório de Estudos em Ciências Teóricas (LECT), Coordenação acadêmica, Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

net-linked assets. This work aims to introduce mathematical concepts related to algebra, namely matrices, eigenvalues and eigenvectors. Image representations as vectors in high-dimensional spaces and the extraction of facial features through Eigenfaces will be used, introducing the reader to the concepts employed by algebra to ensure user security.

Keywords: Facial recognition, linear algebra, Eigenfaces.

1. INTRODUÇÃO

O reconhecimento facial é uma área de grande importância por garantir a segurança virtual contra inúmeras ameaças. Seu uso está presente no dia a dia da vida moderna, desde desbloqueio de dispositivos pessoais, utilização de bancos virtuais, controle de acesso a condomínios até em sistemas de segurança pública para prevenção de crimes. Por de trás dessa inovação tecnológica estão presentes inúmeros problemas a que interferem no resultado, assim o reconhecimento facial garante sua integridade sobre diversas situações, como codificar e comparar a estrutura de um rosto único a partir de uma matriz de pixels, sofrendo variações de acordo com a iluminação, e posição, junto com variações de idade e expressões faciais. Para solucionar essas variáveis podem ser usadas ferramentas matemáticas para lidar com os dados das imagens. Nesse problema, a Álgebra Linear se apresenta como insubstituível. O trabalho de Turk e Pentland[1] apresentou como conceitos algébricos podem ser aplicados para extrair características de um conjunto de imagens de diferentes rostos. Se baseando em uma imagem pré-programada de forma que a imagem seja transformada em tom cinza, assim podendo ser interpretada como um vetor em um espaço de alta dimensão, e que o conjunto de todas as faces possíveis ocupa um subespaço dentro deste. O trabalho em questão tem como objetivo apresentar o conjunto de articulações feitas para se ter o reconhecimento facial, fundamentalmente baseado em matrizes, destacando sua origem, junto com processo que se tem para obter dados e a sua importância como base para métodos modernos de identificação.

2. FUNDAMENTAÇÃO MATEMÁTICA

2.1 REPRESENTAÇÃO MATRICIAL DE IMAGENS

Uma matriz é uma conjuntura numérica retangular disposta em linhas e colunas[3]. Em questões de aplicações, uma imagem digital em tons de cinza, pode ser caracterizada como uma matriz A de dimensões $m \times n$, em que cada dado matricial a_{ij} é armazenada a intensidade luminosa de um pixel específico[1]. Essa caracterização matricial molda o problema de análise facial em um problema de álgebra linear, permitindo que operações matemáticas sejam aplicadas diretamente sobre imagens.

2.2. ESPAÇOS VETORIAIS E O ESPAÇO DAS FACES

Um determinado espaço vetorial é definido por um conjunto de vetores fundado na adição e multiplicação por escalar. Exercendo aplicação ao reconhecimento facial: após converter uma imagem matricial $m \times n$ em um vetor Ψ de dimensão $N = m \times n$, cada rosto se torna um ponto em R^N. Porém o conjunto completo de todas as faces possíveis ocupa apenas um subespaço de dimensão menor dentro deste espaço de dimensão maior[2].

2.3. AUTOVALORES E AUTOVETORES

Dada uma matriz quadrada A, um autovetor $\vec{v}$ é um vetor não-nulo que satisfaz $Av = \lambda v$ onde λ é o autovalor correspondente. Os autovalores indicam as

direções que permanecem inalteradas sob a transformação línear3. No reconhecimento facial os autovetores da matriz de covariância das imagens dos rostos representam as direções de máxima variância nos dados. Quando remodelados para o formato de imagem, estes autovetores formam Eigenfaces, componentes fundamentais que capturam as características que mais se sobressaem entre diferentes rostos, como o formato,posicionamento de olhos, boca e estrutura do nariz[1].

2.4. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Diagonalizar uma matriz através de fatoração $A = X\Lambda X^{(-1)}$, com Λ sendo uma matriz diagonal de autovalores X que contem os autovaloes correspondentes, é conhecida como decomposição espectral[2]. Esta decomposição espectral é o pilar da matemática da Análise de Componentes Principais (*PCA*). Com a ação de diagonalizar a matriz de covariância de rostos, conseguimos as *Eigenfaces*, sendo elas, as colunas de X que representam as características fundamentais, com sua importância sendo relativa aos elementos de Λ. As *Eigenfaces* se associam aos maiores autovalores, tendo papel de diferenciar mudanças significativas entre variações de faces[1].

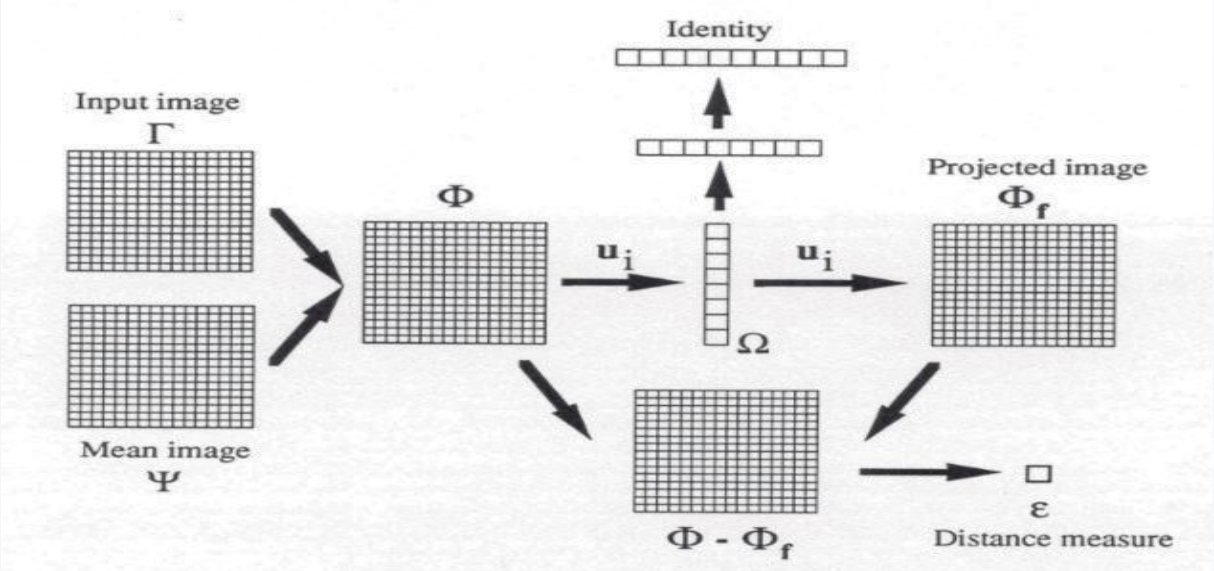
2.5. PROJEÇÃO EM SUBESPAÇOS

A projeção ortogonal é uma operação fundamental que permite representar um vetor em um subespaço através de sua decomposição nos vetores de uma base ortonormal[2]. No contexto do reconhecimento facial, qualquer rosto Γ, após centralizado pela subtração do rosto médio Ψ (resultado em $\Phi = \Gamma - \Psi$), é representado no subespaço das

Eigenfaces através dos produtos internos $\omega_k = \vec{u^T}_k \vec{\phi}$

O vetor resultante $\Omega = [\omega_1, \omega_2, \ldots, \omega_k]^T$ fornece uma representação compacta e dimensionalmente reduzida do rosto original no espaço das características faciais[1].

Figura 1: Processo descrito



Fonte: Turk e Pentland1

7. CONCLUSÕES

A respeito da análise da Álgebra Linear, ela ilustra como os conceitos matemáticos podem ser utilizados em aplicações práticas para resolver questões complexas, como a questão do reconhecimento facial. A representação de imagens em forma de matriz e as técnicas utilizadas para a extração de padrões e reconhecimento facial possibilita essa distinção entre rostos e o reconhecimento de particularidades individuais para determinar a identidade facial.

Este trabalho evidencia o fato de que instrumentos como a *PCA* e a criação de *Eigenfaces*, são fundamentais para o desenvolvimento de modelos de sistemas de reconhecimento facial. Dessa forma, mostrando como o uso da matemática pode oferecer os meios necessários para a proteção digital.

8. REFERÊNCIAS

TURK, M.; PENTLAND, *A.* ***Eigenfaces for recognition****. In: IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1991, *Maui*. *Proceedings* [...]. [S.l.: s.n.], 1991. p. 586–591.

LEON, J. Álgebra **linear com aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

BOLDRINI, J. L. Álgebra **linear**. 3. ed. São Paulo: Herba, 1986.

36 PROJETO DE CONVERSÃO TÉRMICA COM PELTIER

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo realizar a análise da conversão de energia térmica em elétrica em um sistema termoelétrico baseado no efeito Seebeck, utilizando uma pastilha Peltier (TEC1-12706) operando como um Gerador Termoelétrico (TEG). Para isso, foi desenvolvido um modelo de circuito de resistências térmicas, combinando conhecimentos de transferência de calor com medições experimentais de tensão e corrente elétrica geradas pela pastilha sob condições de temperatura controladas. O sistema analisado consiste em um lado quente (água a alta temperatura em um reservatório de alumínio) e um lado frio (um dissipador de calor de alumínio ativamente resfriado). A análise focou-se na determinação da potência elétrica real gerada e na avaliação dos fluxos de calor envolvidos, incluindo a resistência de contato e a eficiência do dissipador de aletas. Os resultados obtidos através da análise das resistências térmicas externas permitiram calcular o fluxo de calor absorvido pelo lado quente da pastilha. Foi possível também identificar a taxa de resfriamento ativa necessária no dissipador, considerando o calor rejeitado pela pastilha e a significativa injeção de calor do ambiente para a base resfriada do dissipador.

Palavras-chave: Gerador Termoelétrico, Termoelétrico, Peltier.

Matheus A. C. Neres[1];
Lara B. Lorenzoni[1];
João Vitor H. Spode[1];
Charles Rech[2];
Cristiano F. Maidana[2]

1 Curso de Engenharia Mecânica, Universidade federal de Santa Maria Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil

2 Coordenação acadêmica, Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

ABSTRACT

This study aims to analyze the conversion of thermal energy into electrical energy in a thermoelectric system based on the Seebeck effect, using a Peltier element

(TEC1-12706) operating as a Thermoelectric Generator (TEG). To this end, a thermal resistance circuit model was developed, combining knowledge of heat transfer with experimental measurements of voltage and current generated by the element under controlled temperature conditions. The analyzed system consists of a hot side

(high-temperature water in an aluminum reservoir) and a cold side (an actively cooled aluminum heat sink). The analysis focused on determining the actual electrical power generated and evaluating the heat fluxes involved, including contact resistance and the efficiency of the finned heat sink. The results obtained through the analysis of external thermal resistances allowed the calculation of the heat flux absorbed by the hot side of the element. It was also possible to identify the active cooling rate required in the heat sink, considering the heat rejected by the element and the significant heat injection from the environment to the cooled base of the heat sink.

Keywords: Thermoelectric Generator, Thermoelectric, Peltier.

1. INTRODUÇÃO

O presente estudo investiga Geradores Termoelétricos (TEGs), dispositivos de conversão inseridos no campo da termoeletricidade. Este dispositivo, descoberto por Thomas Johann Seebeck[1], estabelece que um gradiente de temperatura (ΔT) entre as junções de semicondutores (tipo-n e tipo-p) gera um potencial elétrico. A eficiência dessa conversão é quantificada pelo Coeficiente de Seebeck[2] (S) e pela Figura de Mérito (ZT) do material, parâmetros fundamentais para o desempenho de qualquer módulo TEG. Apesar de vantagens como robustez e ausência de partes móveis, esses sistemas ainda enfrentam o desafio de baixa eficiência de conversão[3].

A análise de desempenho requer uma modelagem térmica precisa , baseada nos mecanismos de condução, convecção e radiação[4]. Utiliza-se o modelo de circuitos de resistência térmica para simplificar a análise em regime estacionário, decompondo as perdas de energia e expressando o fluxo de calor (Q) em função do gradiente de temperatura (ΔT) e da resistência térmica total[5]. A condução é aplicada aos componentes sólidos, enquanto a convecção é crítica tanto no lado quente (água) quanto no dissipador de calor aletado do lado frio (ar), dependendo do coeficiente de convecção (h) do fluido[6] e sendo quantificada pela Lei de Resfriamento de Newton.

Um fator crítico é a resistência térmica de contato (Rcont) nas interfaces entre o módulo e os dissipadores[4], que reduz o ΔT efetivo e a potência gerada. A eficiência do dissipador

de calor, por sua vez, é vital para maximizar a transferência de calor para o ambiente[7]. Portanto, uma análise precisa de mecanismos de TC, conforme detalhado em trabalhos fundamentais como os de Incropera et al.[4] são essenciais para validar resultados experimentais, identificar irreversibilidades e orientar a otimização do sistema.

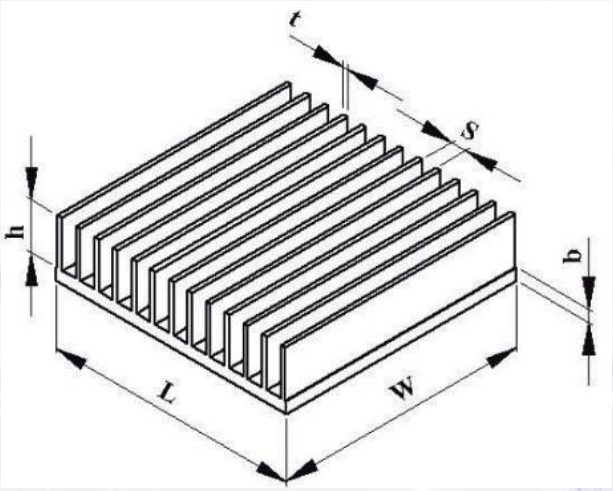
2. MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto consiste em um sistema de conversão termoelétrica utilizando uma pastilha Peltier TEC1-12706 acoplada entre uma forma de alumínio contendo água aquecida e um dissipador de calor com aletas de alumínio. O objetivo é avaliar o desempenho termoelétrico da pastilha na geração de energia a partir do gradiente térmico entre a água quente (95 °C) e o dissipador frio (18 °C), sob condições de regime permanente e condução predominantemente unidimensional. A tabela 1 e figura 1 fornecem os parâmetros geométricos do dissipador.

Tabela 1 – Dimensões geométricas do dissipador e pastilha de Peltier

Parâmetro	Descrição	Valor	Unidade
t	Espessura da aleta	1,05	mm
s	Espaçamento entre aletas	3,15	mm
h	Altura da aleta	31,30	mm
L	Comprimento da base	66,00	mm
W	Largura da base	35,85	mm
b	Espessura da base	3,30	mm
Área da Pas. de Peltier	Área da pastilha	0,04 × 0,04	m²

Figura 1: Medidas do Dissipador



Fonte: Adaptado de Viegas, Carvalho e Vendramin (2007)[8]

Em sequência, é possível observar a estrutura final de cada um dos componentes (protótipo e dissipador com *fans*).

Figura 2: Suporte com *fans* dissipadores e protótipo montado



Fonte: Autores

3. MEMORIAL DE CÁLCULO

Este memorial resume a metodologia analítica empregada para quantificar a transferência de calor e o desempenho elétrico do Gerador Termoelétrico (TEG) operando em regime permanente, desconsiderando as perdas por radiação devido à sua baixa contribuição relativa. O método utilizado baseia-se na analogia de circuito térmico por resistências em série, o que permite decompor o caminho de condução do calor desde o reservatório quente até o dissipador, identificando as restrições térmicas dominantes do sistema. As propriedades físicas adotadas podem ser vistas a seguir na Tabela 2, a resistência térmica da base do dissipador e da parede do recipiente ambos de alumínio foram consideradas aproximadamente iguais.

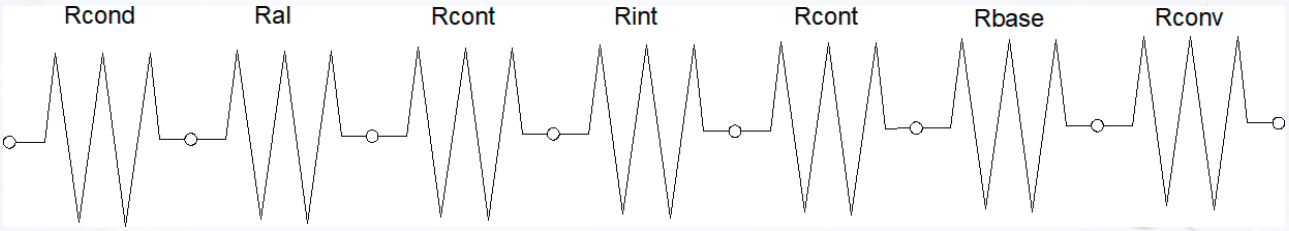
Tabela 2 – Propriedades físicas utilizadas

Material	Propriedade	Símbolo	Valor	Unidade
Alumínio	Condutividade térmica	kal	205	W/m·K
Contato térmico (com pressão)	Resistência térmica de contato	Rcont	0,020	K/W

Peltier TEC1-12706	Resistência térmica interna	Rint	0,95	K/W
Peltier TEC1-12706	Coeficiente de Seebeck	α	355 × 10^-6	V/K
Dissipador de alumínio	Resistência por convecção	Rconv	0,525	K/W
Água	Resistência por condução	Rcond	0,35	K/W
Base de alumínio/base dissipador	Resistência térmica (condução)	Rbase = Ral	0,03	K/W

A resistência térmica total entre o lado quente (95 °C) e o lado frio do dissipador (18 °C) foi obtida pela soma das resistências em série no caminho principal de condução, conforme ilustrado na figura 3:

Figura 3: Resistências Térmicas



Rtotal = Rcond+Ral+Rcont+Rint+Rcont+Rbase+Rconv = 1,925 K/W

A eficiência do módulo termoelétrico foi determinada a partir da relação entre a potência elétrica gerada e o fluxo de calor total que atravessa o sistema. O fluxo de calor Q foi estimado utilizando o modelo de resistências térmicas em série, considerando a diferença de temperatura entre o reservatório quente (95°C) e o dissipador frio (18 °C), e a resistência térmica total do sistema (1,925 K/W), obtendo-se:

$$Q = 77/1{,}925 = 40\ W$$

A potência elétrica (Pe) medida experimentalmente foi 2,64 W (medida em um único módulo Peltier). A partir desses valores, a eficiência global (n) do TEG foi calculada como:

$$n = Pe/Q = 0{,}066 = 6{,}6\%$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O módulo TEC1-12706, usado como gerador, alcançou 2,06 V, 1,28 A e 2,64 W sob um gradiente térmico de aproximadamente 77 K, desempenho adequado para sistemas pequenos com convecção forçada. A modelagem térmica mostrou que os coolers reduziram a resistência convectiva do dissipador para cerca de 0,525 melhorando a transferência de calor e a potência. As resistências de condução e de contato foram pequenas frente à convectiva, conforme esperado para arranjos compactos com boas interfaces.

A eficiência global de aproximadamente 6,6% está na faixa típica de módulos de Bi_2Te_3 com resfriamento ativo. O coeficiente de Seebeck médio obtido (45 mV/K por módulo, ou 355 µV/K por par) alinhou-se aos valores teóricos, confirmando a consistência entre experimento e modelo.

Os cálculos teóricos (realizados no software Octave) previram 2,90 W, 1,33 A e 2,18 V, superando os valores medidos em cerca de 9%. Essa discreta diferença, coerente, deve-se às simplificações do modelo idealizado (propriedades constantes, interfaces perfeitas), enquanto o sistema real apresenta perdas por contato, irregularidades geométricas, variações de convecção e resistências parasitas. A proximidade entre os resultados valida a modelagem como uma descrição confiável do comportamento do TEG.

5. CONCLUSÕES

O estudo confirmou que o módulo termoelétrico TEC1-12706, associado a dissipadores e coolers, converte gradientes térmicos em energia elétrica de forma estável, obtendo 2,64 W e eficiência de 6,6%, valores coerentes com a modelagem teórica. A resistência convectiva mostrou-se determinante para o desempenho, enquanto o desperdício de área de contato limitou o diferencial de temperatura disponível.

Para trabalhos futuros, recomenda-se investigar estratégias para melhor aproveitamento do calor, redução da resistência convectiva e aprimoramento do resfriamento, a fim de elevar o ΔT efetivo e a potência gerada.

6. REFERÊNCIAS

VELMRE, Enn. **Thomas Johann Seebeck and his contribution to the modern science and technology**. 2010 12th Biennial Baltic Electronics Conference, Tallinn, Estônia, 2010, pp. 17-24.

GOLDSMID, H. J. ***Introduction to Thermoelectricity***. New York: Springer, 2010.

ROWE, D. M. **Thermoelectrics Handbook: Macro to Nano**. Boca Raton: CRC Press, 2006.

INCROPERA, Frank P. et al. ***Fundamentos de transferência de calor e de massa***. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

BEJAN, Adrian. ***Convection Heat Transfer***. 4. ed. New Jersey: Wiley, 2013.

ÇENGEL, Yunus A. ***Transferência de calor e massa: uma abordagem prática***. Rio de Janeiro: McGraw-Hill, 2015.

YOVANOVICH, M. M. ***Thermal Contact Resistance: Theory and Applications***. In: *Encyclopedia of Thermal Packaging*. Singapore: World Scientific, 2013. p. 1-67.

VIEGAS, CARVALHO, J. V. S. VENDRAMIN, P. E. ***Análise da transferência de calor por convecção natural em aletas planas retangulares***. In: CONGRESSO REGIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 2., 2007, Santa Maria.

37 VISUALIZAÇÃO DE DADOS EM SAÚDE MENTAL DO MUNICÍPIO DE SANTA MARIA RS: APLICATIVO EM SHINY

RESUMO

Este estudo teve como objetivo desenvolver um aplicativo interativo em Shiny para a visualização de dados locais de saúde mental do município de Santa Maria (RS). Foram utilizados dados provenientes do sistema municipal de saúde, abrangendo relatórios mensais de consultas por unidade e grupos de diagnósticos da CID-10 (Capítulo F), referentes a pacientes com 18 anos ou mais, no período de janeiro a junho de 2025. A manipulação e análise dos dados foram realizadas na linguagem R (versão 4.3.1). O aplicativo resultante permite explorar de forma interativa o número de atendimentos por unidade de saúde e perfil diagnóstico, promovendo maior transparência e apoio à gestão em saúde mental. A ferramenta mostrou-se eficiente na integração e visualização de informações, consolidando-se como um recurso estratégico para o monitoramento de indicadores e o aprimoramento das políticas públicas municipais.

Palavras-chave: Saúde mental; vigilância em saúde; visualização de dados.

Lucas Rossini Belmonte[1]; Luciano Araldi[1]; Luciane Flores Jacobi[1]; João Pedro Gonçalvez Pacheco[1]; Janine Bosi Tonel[1]; Elton Rogerio Teixeira Jacobi[2]; Caroline de Oliveira Salvati[2]

1 Universidade Federal de Santa Maria – Campus Sede, Rio Grande do Sul, Brasil.
2 Prefeitura Municipal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

ABSTRACT

This study aimed to develop an interactive Shiny application for visualizing local mental health data from the municipality of Santa Maria, Brazil. Data were obtained from the municipal health system, comprising monthly reports of consultations by health unit and ICD-10 diagnostic groups (Chapter F), referring to patients aged 18 years or older, from January to June 2025. Data processing and analysis were performed using the R programming language (version 4.3.1). The resulting application enables interactive exploration of the number of consultations per health unit and diagnostic profiles, promoting greater transparency and supporting mental health management. The tool proved effective in integrating and visualizing information, establishing itself as a strategic resource for monitoring indicators and improving municipal public health policies.



Keywords: Mental health; health surveillance; data visualization

1. INTRODUÇÃO

A visualização de dados tem se tornado uma ferramenta indispensável na saúde pública, ao permitir a tradução de informações complexas em formatos acessíveis que apoiam a tomada de decisão[1]. No campo da saúde mental, essa abordagem possibilita identificar padrões e desigualdades, além de promover maior compreensão e engajamento entre gestores, profissionais e a população[2].

Representações visuais bem projetadas reduzem a carga cognitiva, aprimoram o entendimento e ampliam a eficácia das decisões em políticas públicas[1], contudo, muitas representações ainda são estáticas e limitam a exploração interativa, restringindo o potencial analítico dos dados. No contexto da saúde mental, visualizações interativas têm mostrado impacto positivo no autocuidado e na adesão terapêutica.

Diante desse cenário, o objetivo desta pesquisa é desenvolver um aplicativo em Shiny voltado à visualização dos dados locais de saúde mental, buscando integrar informações de diferentes fontes e apresentá-las de forma interativa, contribuindo para o monitoramento e o aprimoramento das políticas públicas no município.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizaram-se dados de consultas do sistema de saúde municipal de Santa Maria (RS) de janeiro a junho de 2025, compreendendo pacientes adultos (≥18 anos) com diagnósticos do Capítulo F da CID-10. Os relatórios mensais foram processados conforme o código do Quadro 1.

Quadro 1 - Leitura do Relatório

```
Library(readxl)
Relatório_por_mês_Consultas_por_unidade_e_Grupo_de_CID_Maiores_de_18_anos <- read_excel("C:/Users/lucas/OneDrive/Desktop/Pet-Saúde/Relatório por mês Consultas por unidade e Grupo de CID Maiores de 18 anos.xlsx") View(Relatório_por_mês_Consultas_por_unidade_e_Grupo_de_CID_Maiores_de_18_anos)
```

Fonte: Os autores

A manipulação e análise dos dados foram realizadas na linguagem R (versão 4.3.1). O processo incluiu a separação das unidades básicas de saúde (UBS) e dos serviços especializados (policlínicas e CAPS), conforme código descrito no Quadro 2, bem como a criação de variáveis *dummy* para classificar os transtornos mentais e comportamentais conforme a CID-10 (Código descrito no Quadro 3).

Quadro 2 - Separação das unidades básicas de saúde (UBS) e dos serviços especializados (policlínicas e CAPS)

```
unidades_dadospet <- dadospet |> filter(grepl("UNIDADE", Prestador, ignore.case = TRUE))
policaps <- dadospet |> filter(grepl("POLICLINICA|CAPS|PRONTO|ACOLHE|CEREST|ROSARIO|TREZE|SECRETARIA|CEO", prestador, ignore.case = TRUE))
```

Fonte: Os autores

Quadro 3 - criação de variáveis *dummy*

```
dadospet_com_cid <- dadospet |> mutate( # Variáveis dummy para cada categoria F00-F09 - Transtornos mentais orgânicos = as.integer(str_detect(CID, "^F0[0-9]")), F10-F19 - Transtornos mentais por uso de substâncias = as.integer(str_detect(CID, "^F1[0-9]")), F20-F29 - Esquizofrenia e transtornos psicóticos = as.integer(str_detect(CID, "^F2[0-9]")), F30-F39 - Transtornos do humor = as.integer(str_detect(CID, "^F3[0-9]")), F40-F49 - Transtornos neuróticos e relacionados ao estresse = as.integer(str_detect(CID,"^F4[0-9]")), F50-F59 - Síndromes comportamentais = as.integer(str_detect(CID, "^F5[0-9]")), F60-F69 - Transtornos da personalidade = as.integer(str_detect(CID, "^F6[0-9]")), F70-F79 - Retardo mental = as.integer(str_detect(CID, "^F7[0-9]")), F80-F89 - Transtornos do desenvolvimento = as.integer(str_detect(CID, "^F8[0-9]")), F90-F98 - Transtornos comportamentais da infância = as.integer(str_detect(CID, "^F9[0-9]")),
```

Fonte: Os autores

O aplicativo foi desenvolvido em R Shiny, integrando interface e servidor (Quadro 4). A interface (fluidPage()) permite filtrar dados por tipo de unidade, mês e grupo de diagnóstico, exibindo como resultados um gráfico interativo (com o pacote *plotly*) e uma tabela dinâmica com totais filtrados. O servidor implementa reatividade e atualização automática dos filtros por meio das funções observe(), updateSelectInput() e observeEvent().

Quadro 4 - Interface e servidor

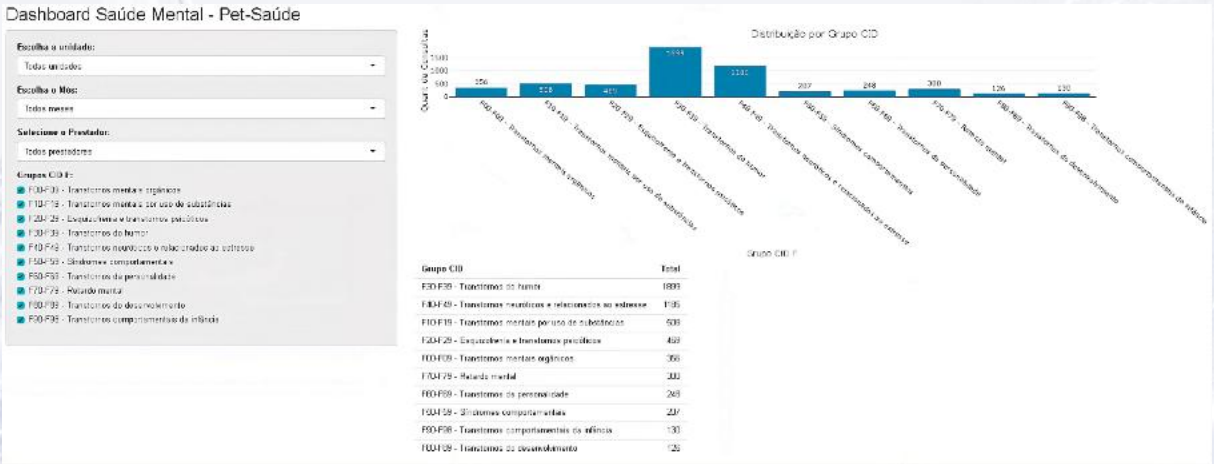
```
        ui <- fluidPage(
          titlePanel(«Dashboard Saúde Mental - Pet-Saúde»),
          sidebarLayout(
            sidebarPanel(
              selectInput(«tipo», «Escolha a unidade:»,
                          choices = c(«Todas unidades», «UBS›s», «Policlinicas/CAPS»)),
              selectInput(«mes», «Escolha o Mês:»,
                          choices = c(«Todos meses», «jan», «fev», «mar», «abr», «mai», «jun»,
«jul», «ago»)),
                      selectInput(«prestador», «Selecione o Prestador:», choices = «Todos
prestadores»),
              checkboxGroupInput(«cid_grupos», «Grupos CID F:»,
                                 choices = NULL)
            ),
            mainPanel(
              plotlyOutput(«grafico»),
              tableOutput("tabela")
            )
          )
        )
```

Fonte: Os autores

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O aplicativo em Shiny foi desenvolvido com sucesso, permitindo a visualização interativa dos dados de saúde mental do município. A ferramenta possibilita acompanhar o número de consultas realizadas em cada unidade de saúde (Figura 1), oferecendo uma representação clara e acessível das informações, favorecendo a análise local e o suporte à tomada de decisões em políticas públicas.

Figura 1: Página inicial do usuário do aplicativo.



Fonte: Os autores

Os transtornos de ansiedade generalizada (F41.1) e os episódios depressivos (F32 e variações) corresponderam a mais de 60% dos registros analisados, em consonância com a Organização Mundial da Saúde, que aponta a depressão como uma das principais causas de incapacidade globalmente. O aplicativo desenvolvido refletiu essa realidade epidemiológica local, permitindo identificar maior concentração de casos na Policlínica de Saúde Mental e no CAPS II Prado Veppo, reforçando seu papel como polos de referência, enquanto a presença de diagnósticos semelhantes nas UBS evidencia a relevância da atenção primária na rede de cuidado em saúde mental[3].

4. CONCLUSÕES

O presente estudo alcançou seu objetivo ao desenvolver um aplicativo interativo em Shiny para a visualização dos dados de saúde mental do município de Santa Maria-RS. A ferramenta demonstrou eficácia ao consolidar informações dispersas em visualizações dinâmicas e acessíveis, permitindo identificar o perfil epidemiológico da população adulta, otimizar a alocação de recursos por unidade de saúde e promover transparência e acesso à informação para profissionais, gestores e pesquisadores. O aplicativo também oferece perspectivas futuras promissoras, como a expansão da base de dados para incluir variáveis adicionais, atualização contínua para análise temporal e desenvolvimento de alertas automáticos para mudanças significativas nos atendimentos.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o auxílio financeiro do Ministério da Saúde, sob forma de bolsas do Programa de Educação pelo Trabalho para a Saúde: Informação e Saúde Digital (PET SAÚDE/I&SD).

6. REFERÊNCIAS

1. PARK, S. et al. Impact of data visualization on decision-making and its implications for public health practice: a systematic literature review. Informatics for Health and Social Care, 2021. DOI: https://doi.org/10.1080/17538157.2021.1982949.

2. OFORI, M. A. et al. Visual communication of public health data: a scoping review. Frontiers in Digital Health, v. 7, n. 1555231, 2025. DOI: https://doi.org/10.3389/fdgth.2025.1555231.

3. PREFEITURA DE SANTA MARIA. Prefeitura investe R$ 1,37 milhão em saúde mental com o primeiro residencial terapêutico do município. Santa Maria, 2024. Disponível em: https://www.santamaria.rs.gov.br/saude/noticias/28763-prefeitura-investe-r--1-37-milhao-em-saude--mental-com-o-primeiro-residencial-terapeutico-do-municipio. Acesso em: 27 out. 2025.

38 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NA COMUNIDADE DA UFSM-CS

RESUMO

Este estudo apresenta os resultados de uma pesquisa que buscou compreender os fatores que influenciam a adoção de sistemas de energia solar fotovoltaica pela comunidade acadêmica da Universidade Federal de Santa Maria no Campus Cachoeira do Sul (UFSM-CS). A metodologia envolveu a aplicação de um questionário online, obtendo 70 respostas de estudantes, professores e técnicos-administrativos. Os resultados indicam uma baixa taxa de adoção da tecnologia, com apenas 20% dos participantes possuindo o sistema em suas residências. Para quem não possui o sistema de geração, os principais obstáculos são o alto custo inicial de instalação e o fato de residirem em imóveis alugados. Em contrapartida, para os que já utilizam o sistema, a principal motivação foi a economia na conta de energia, com relatos de redução de até 90% nos gastos. Conclui-se que, apesar do grande interesse futuro na tecnologia, a sua expansão na comunidade local depende da superação de barreiras financeiras e estruturais, destacando-se a necessidade de mais incentivos governamentais.

Palavras-chave: Energia solar; fotovoltaica; tecnologia; UFSM.

Vitória Gonçalves da Silva[1];
Lucinéia Fabris[2];
Paula Trindade da Silva Selbach[3]

1 Acadêmica do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria - Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.
2 Orientadora, Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.
3 Coorientadora, Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

ABSTRACT

This study presents the results of a survey that sought to understand the factors influencing the adoption of solar photovoltaic energy systems by the academic community at the Federal University of Santa Maria, Cachoeira do Sul Campus (UFSM-CS). The methodology involved the application of an online questionnaire, obtaining 70 responses from students, professors, and administrative staff. The results indicate a low adoption rate of the technology, with only 20% of the participants having the system in their residences. For those who do not have the generation system, the main obstacles are the high initial installation cost and the fact that they reside in rented properties. In contrast, for those who already use the system, the main motivation was the savings on their energy bill, with reports of up to a 90% reduction in expenses. It is concluded that, despite the great future interest in the technology, its expansion in the local community depends on overcoming financial and structural barriers, highlighting the need for more government incentives.

Keywords: Solar energy; photovoltaic; technology; UFSM.

1. INTRODUÇÃO

A matriz elétrica brasileira apresenta uma característica histórica de dependência dos recursos hídricos, sendo composta majoritariamente por usinas hidrelétricas que condicionam a geração de energia aos regimes de chuvas para a manutenção dos níveis dos reservatórios. Este cenário expõe o sistema a vulnerabilidades: em períodos de estiagem e seca, torna-se necessário o acionamento de usinas termoelétricas. Esta alternativa, além de elevar o custo da energia para o consumidor final, gera um impacto ambiental negativo significativo devido à emissão de gases de efeito estufa

Nesse contexto de crise hídrica e busca por sustentabilidade, torna-se fundamental a diversificação da matriz elétrica nacional através da inserção de energias renováveis, visando garantir a segurança energética e a sustentabilidade do Sistema Interligado Nacional (SIN). Dentre as alternativas, a energia solar fotovoltaica destaca-se como uma solução promissora, dada a localização geográfica privilegiada do Brasil, que possui elevados índices de irradiação solar durante todo o ano, conferindo-lhe um alto potencial energético.

Contudo, a transição para este modelo enfrenta desafios. A literatura aponta que, mesmo diante do vasto potencial, a expansão da energia solar é freada por obstáculos técnicos, econômicos e políticos. O alto investimento inicial necessário para a aquisição e instalação dos módulos fotovoltaicos, somado a questões tributárias e à assimetria de informações, são barreiras frequentes.

Estudos como o de Neres (2019) corroboram essa visão, ressaltando que, embora a tecnologia seja viável e sustentável, as barreiras econômicas e políticas dificultam sua inserção em larga escala na sociedade. No mesmo sentido, Silva e Araújo (2022) identificam que o custo inicial de instalação permanece como um dos principais entraves para a democratização do acesso à tecnologia. Adicionalmente, Rosa e Gasparin (2016) complementam a discussão ao apontarem que as barreiras institucionais e a complexidade tributária geram dificuldades adicionais à popularização da geração distribuída, especialmente no ambiente residencial.

O presente estudo foca na cidade de Cachoeira do Sul, município de porte médio na região central do Rio Grande do Sul, com população estimada em 80 mil habitantes e PIB per capita de aproximadamente R$ 43.440,00. A cidade, que desde 2014 sedia um campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), apresenta um fluxo populacional e uma diversidade econômica que configuram um cenário propício para a análise da expansão desta tecnologia.

Diante do exposto, esta pesquisa justifica-se pela necessidade de compreender a dinâmica local de adesão a novas tecnologias energéticas. O estudo busca responder: **quais fatores influenciam a decisão da comunidade da UFSM-CS em adotar ou não sistemas de energia fotovoltaica em suas residências?.** O objetivo central é analisar esses fatores determinantes, fornecendo dados que subsidiem estratégias para fomentar a adoção da energia solar na região.

2. MÉTODO

Trata-se de uma pesquisa descritiva com abordagem quantitativa, realizada por meio de levantamento de dados (*survey*). A coleta de dados ocorreu entre os dias 10 e 18 de outubro de 2025.

Instrumento e Procedimento de Coleta

Foi aplicado um questionário estruturado online, desenvolvido na plataforma *Google Forms*. O instrumento foi composto majoritariamente por perguntas fechadas para facilitar a tabulação e análise estatística. O questionário foi estruturado em quatro seções principais:

1. Perfil socioeconômico dos respondentes;
2. Nível de conhecimento sobre energia solar fotovoltaica;
3. Status de utilização da tecnologia (possuidores vs. não possuidores);
4. Motivações e barreiras para a adoção.

A divulgação do instrumento ocorreu através de grupos de comunicação (*WhatsApp*) envolvendo estudantes, professores e técnicos-administrativos da UFSM-CS.

Amostra

A amostragem foi definida por conveniência, composta por membros da comunidade acadêmica que participaram voluntariamente. A amostra final consistiu em 70 respondentes, residentes majoritariamente no município de Cachoeira do Sul, com participação minoritária de residentes em municípios vizinhos.

Análise dos Dados

Os dados foram organizados e tabulados utilizando o software *Microsoft Excel*. A análise quantitativa envolveu estatística descritiva para classificar o nível de conhecimento da comunidade, calcular as taxas de adesão e identificar padrões de comportamento. Buscou-se correlacionar as respostas para compreender profundamente as barreiras percebidas e os fatores motivacionais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A pesquisa contou com a participação de 70 membros da comunidade acadêmica. A análise dos dados permite traçar um panorama sobre a percepção e a utilização da energia solar fotovoltaica por este público.

Taxa de Adoção e Perfil dos Usuários

Conforme apresentado na Tabela 1, observou-se uma baixa penetração da tecnologia na amostra pesquisada.

Tabela 1: Adoção de Energia Solar na Comunidade UFSM-CS.

Situação	N° de Respondentes	Porcentagem (%)
Não possuem sistema fotovoltaico	56	80%
Já possuem sistema fotovoltaico	14	20%
Total	70	100%

Fonte: Dados da pesquisa.

Apenas 20% dos participantes já adotaram a tecnologia, evidenciando que, apesar do potencial solar da região, a adesão prática ainda é incipiente. Entre os usuários que possuem o sistema, 100% das instalações são do tipo *On-grid* (conectadas à rede elétrica). Quanto à forma de aquisição, 50% realizaram o pagamento à vista e 42,9% optaram por financiamento bancário.

Barreiras à Adoção (Não Usuários)

Ao investigar os motivos que impedem a adesão por parte da maioria (80%), foram identificados obstáculos estruturais e financeiros significativos. A Tabela 2 resume as principais barreiras citadas.

Tabela 2: Principais obstáculos para não adoção.

Obstáculo Citado	Relevância
Residência em imóvel alugado	Alto (46,4%)
Custo inicial de instalação	Alto (44,6%)
Falta de prioridade de investimento	Médio
Incerteza sobre *payback*	Baixo
Inviabilidade técnica (sombra/espaço)	Baixo

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da pesquisa.

Os resultados indicam que a condição de moradia "imóvel alugado" e o "custo inicial elevado" são os fatores preponderantes e tecnicamente empatados como as maiores barreiras. Tais achados estão alinhados com Neres (2019) e Silva e Araújo (2022), que apontam as barreiras econômicas como um grande entrave, mas o presente estudo destaca a relevância da barreira contratual do aluguel no contexto universitário/local.

É importante notar que o nível de conhecimento técnico não parece ser uma barreira primária: a maioria dos não usuários classifica seu conhecimento como «Básico» ou «Intermediário». Além disso, o interesse futuro é expressivo: 75% dos que não possuem o sistema afirmaram ter interesse em instalá-lo, indicando uma demanda reprimida por questões financeiras e de moradia.

Motivações e Benefícios (Usuários)

Para o grupo que já transpôs as barreiras iniciais, a motivação econômica é soberana. Cerca de 85,7% dos usuários declararam que a "Economia na conta de energia" foi o fator decisivo.

Os dados de performance financeira corroboram essa decisão. Conforme relatado pelos participantes, a redução na fatura de eletricidade é significativa: 35,7% dos usuários relataram redução entre 61% e 90% nos gastos; Houve relatos de economia superior a 90%.

Além da redução de custos, a "Valorização do imóvel" e a "Sustentabilidade" foram citadas como vantagens percebidas secundárias.

Percepção sobre Políticas Públicas

Houve consenso entre os dois grupos (usuários e não usuários) sobre a insuficiência de incentivos estatais. Ambos concordam que a ampliação de incentivos governamentais

e linhas de crédito acessíveis são fundamentais para democratizar o acesso à energia solar, validando a hipótese de que políticas públicas são essenciais para superar as barreiras de entrada identificadas.

4. CONCLUSÕES

O presente estudo analisou os fatores que influenciam a adoção da energia solar fotovoltaica na comunidade da UFSM-CS. Os dados revelam um cenário paradoxal: existe um alto interesse e reconhecimento dos benefícios da tecnologia, porém a taxa de conversão em instalações reais permanece baixa (20%).

Conclui-se que os principais fatores limitantes são a residência em imóveis alugados e o alto investimento inicial, que, juntos, impedem a maior parte da comunidade de adotar a tecnologia. Esses resultados reforçam a literatura da área, mas adicionam uma camada importante sobre a realidade habitacional da comunidade acadêmica.

Por outro lado, a tecnologia provou-se extremamente eficaz para quem a adota, cumprindo a promessa de redução drástica nos custos com eletricidade e gerando satisfação entre os usuários.

Para alterar este quadro e aproveitar o potencial solar de Cachoeira do Sul, sugere-se a criação de políticas de incentivo mais robustas. Linhas de financiamento com juros reduzidos e novos modelos de negócios que contemplem inquilinos (como a geração compartilhada ou assinatura de energia solar) poderiam destravar o potencial de consumo desta comunidade, acelerando a transição energética local.

5. REFERÊNCIAS

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cachoeira do Sul**. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/cachoeira-do-sul.html. Acesso em: 9 out. 2025.

NERES, Aureo Rodrigo Ribeiro. **A energia solar fotovoltaica: as vantagens e desvantagens**. 2019. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade Pitágoras, São Luís, 2019. Disponível em: https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/25325/1/AUREO+RODRIGO+RIBEIRO+NERES_ATIVIDADE4.pdf. Acesso em: 9 out. 2025.

ROSA, Antonio Robson Oliveira da; GASPARIN, Fabiano Perin. Panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 7, n. 2, p. 140-147, 2017. Disponível em: https://rbens.org.br/rbens/article/view/157. Acesso em: 9 out. 2025.

SILVA, Heitor Marques Francelino da; ARAÚJO, Francisco José Costa. Energia solar fotovoltaica no Brasil: uma revisão bibliográfica. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, São Paulo, v. 8, n. 3, 2022. Disponível em: https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/4654. Acesso em: 9 out. 2025.

39 PROTÓTIPO DE DESUMIDIFICADOR TERMOELÉTRICO INTEGRADO A SISTEMA DE IRRIGAÇÃO DOMÉSTICA

RESUMO

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um protótipo que integra um desumidificador termoelétrico, baseado no efeito Peltier, a um sistema de reaproveitamento da água coletada para irrigação de pequenas hortas. O controle da umidade do ar em ambientes internos é essencial e a irrigação de hortas domésticas é uma prática sustentável. O dispositivo funcionará a partir do resfriamento localizado do ar, promovendo a condensação da umidade, onde a água obtida é armazenada e direcionada para irrigação. A proposta alia a melhoria da qualidade do ar com a reutilização de recursos. A metodologia envolve a construção e testes experimentais do protótipo com medições de variáveis térmicas e de vazão de água. Busca-se apresentar uma alternativa eficiente e sustentável aos desumidificadores convencionais, podendo chegar a 5,0 ml/h em dias com umidade relativa alta.

Palavras-chave: Qualidade do ar; Condensação da umidade; Sustentabilidade; Efeito Peltier.

Tauan Alison Mundt[1]; Maria Clara Burgues Nepomuceno[1]; Pedro Antônio Pereira do Carmo[1]; Cristiano Frandalozo Maidana[1]; André Francisco Caldeira[1]; Charles Rech[1]

1 Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

ABSTRACT

This work proposes the development of a prototype that integrates a thermoelectric dehumidifier, based on the Peltier effect, with a system for reusing the collected water to irrigate small vegetable gardens. Controlling air humidity in indoor environments is essential, and irrigating home gardens is a sustainable practice. The device will operate through localized air cooling, promoting moisture condensation, with the collected water being stored and directed for irrigation. The proposal combines improved air quality with resource reuse. The methodology involves the construction and experimental testing of the prototype, including measurements of thermal variables and water flow rate. The aim is to present an efficient and sustainable alternative to conventional dehumidifiers, with the potential to reach 5.0 mL/h on days with high relative humidity.

Keywords: Indoor air quality; Humidity condensation; Sustainable water reuse; Peltier effect.

1. INTRODUÇÃO

O controle da umidade do ar em ambientes internos é uma necessidade para a saúde e a conservação de materiais[3]. Paralelamente, a prática da irrigação de hortas domésticas em residências e apartamentos tem crescido, alinhada a conceitos de sustentabilidade e alimentação saudável.

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um protótipo que integra duas soluções: um desumidificador termoelétrico, que opera com base no efeito *Peltier*, e um sistema de reaproveitamento da água coletada, direcionando-a para a irrigação doméstica. O objetivo é aliar a melhoria da qualidade do ar interno com a reutilização eficiente de recursos hídricos.

Revisão Bibliográfica

O efeito Peltier foi observado por Jean Charles Athanase Peltier no século 19, após o descobrimento do efeito Seebeck[1], que consiste basicamente na geração de um gradiente de temperatura, baseado na junção de dois materiais metálicos diferentes, proveniente de uma diferença de potencial em um circuito fechado[4].

Uma pastilha de Peltier é formada por duas placas de cerâmica, que funcionam como as faces quente e fria, além de dois semicondutores distintos, tipo P e tipo N ligados em série[6]. Essas placas também são conhecidas como pastilhas termoelétricas, ilustrada na Fig.1a, sendo geralmente montadas, para melhorar a eficiência e evitar superaquecimento[5], como na Figura 1b:

Figura 1: (a) Esquema de um funcionamento de uma pastilha Peltier. (b) Esquema de uma pastilha Peltier com ventiladores e dissipadores



(a) (b)

Fonte: refirgeração.net

Outro conceito importante é o ponto de orvalho, definido como a temperatura na qual o vapor d'água presente no ar começa a se condensar. A eficiência da pastilha depende diretamente da diferença entre a temperatura da superfície fria e o ponto de orvalho[2].

Metodologia e Componentes

A Fig. 2 permite identificar os componentes centrais selecionados para a montagem do protótipo desenvolvido:

a. **Módulo Termoelétrico (Pastilha Peltier):** O componente principal é uma pastilha Peltier, modelo TEC1-12706**,** de potência real máxima de 35 W.

b. **Sistema de Dissipação:** Na face quente da pastilha, foi instalado um dissipador de calor com ventoinha integrada, essencial para manter a eficiência térmica. A face fria opera com um dissipador menor para facilitar a condensação da umidade do ar.

c. **Sistema de Ventilação Forçada:** Duas ventoinhas (*fans*) adicionais são usadas com o objetivo de forçar o ar ambiente úmido a passar pelo dissipador frio (otimizando a condensação).

d. **Estrutura e Dutos (Chassi):** A estrutura foi montada com peças impressas em 3D que direcionam o fluxo de ar e suportam os componentes. O uso de impressão 3D facilita a obtenção de um "sistema compacto".

Figura 2: Foto do protótipo montado.



Fonte: Autores

Princípio de Funcionamento

O dispositivo funciona através do resfriamento localizado do ar. Uma ventoinha força o ar úmido do ambiente a passar pelas aletas do dissipador frio (acoplado à pastilha Peltier). Ao entrar em contato com a superfície fria, o vapor de água presente no ar condensa-se, transformando-se em água líquida. Essa água é coletada e armazenada em um reservatório acoplado. Posteriormente, a água deste reservatório é direcionada para um recipiente, de onde poderá ser utilizada para a "irrigação de vasos e hortas residenciais".

2. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram realizados três testes com a pastilha, um em dia mais úmido e outro com menor umidade relativa, para assim saber o funcionamento nesses respectivos dias.

No dia mais úmido foi realizado o teste em um período de 3 horas, a uma potência elétrica de 24,5 W. O dispositivo foi ligado na fonte e antes de realizar as medições, foi considerado um tempo de estabilidade de 10 minutos. Os principais resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Quantidade de água gerada e condições meteorológicas.

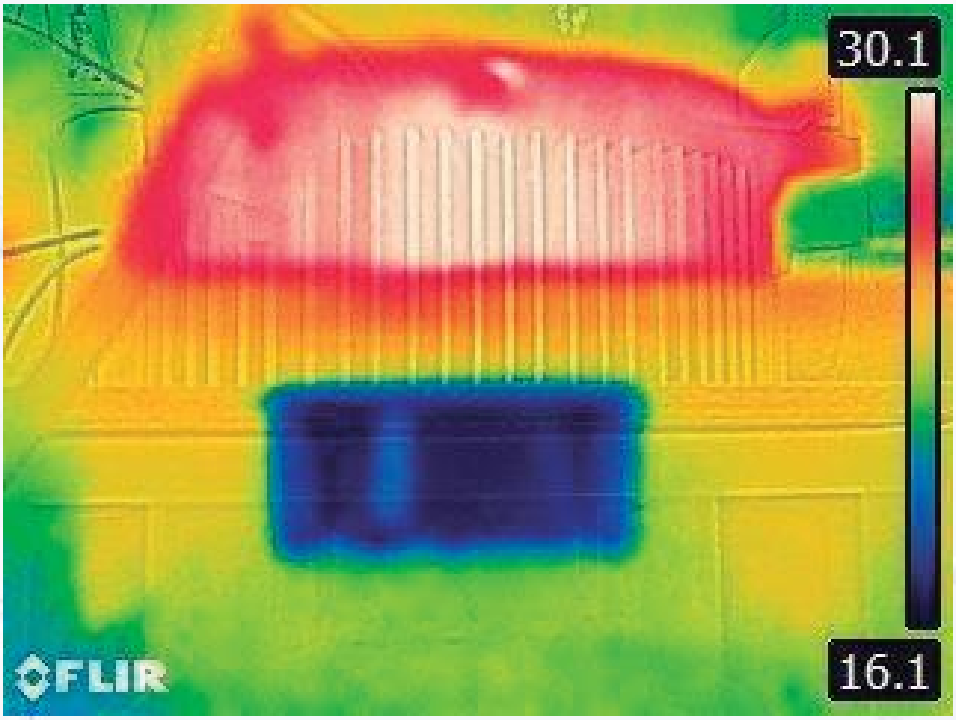
	Potência de 24,5 W	Potência de 31 W
Tensão	9,8 V	11,67 V
Corrente	2,5 A	2,65 A
Umidade inicial	76%	53 %
Umidade final	75%	76%
Temperatura inicial	23,3°C	23,5°C
Temperatura final	23,6°C	14,6°C
Ponto de orvalho	18,5	
Massa de água produzida	15 g	32 g
Vazão mássica	5,0 g/h	3,5 g/h

A Tab. 1 detalha as variáveis elétricas e termodinâmicas monitoradas. Observa-se que, para a potência de 24,5 W, a tensão de operação se manteve em 9,8 V com uma corrente de 2,5 A. Um dado crucial para o sucesso da condensação é o Ponto de Orvalho, registrado em 18,5°C. Como a temperatura final da face fria atingiu valores inferiores a este ponto (vide Figura 3, onde a mínima registrada foi de 16,1°C), o sistema conseguiu promover a mudança de fase do vapor d'água, resultando na coleta de 15 g de água no período.

Já no segundo teste, com o aumento da potência para 31 W (tensão de 11,67 V), houve um incremento significativo na diferença de temperatura entre as faces. Contudo, nota-se que a umidade relativa inicial era substancialmente menor (53%), o que impactou a taxa de condensação, resultando em uma vazão mássica inferior (3,5 g/h) comparada ao primeiro cenário (5,0 g/h). Isso corrobora a dependência direta do rendimento do dispositivo em relação às condições higrométricas do ambiente.

As medições de temperatura nos lados quente e frio do dispositivo foram determinadas por uma câmera termográfica desenvolvido pela FLIR (modelo FLIR E6), conforme apresentado na Figura 3:

Figura 3: Medições obtidas por câmera termográfica FLIR E6.



Na Figura 3 observa-se que a parte quente atingiu em torno de 30,1°C e a parte fria atingiu 16.1°C.

No dia menos úmido, foram realizados 2 testes, no período da tarde com 43% de umidade. Foi constatado que após 2 horas com o protótipo ligado na fonte a uma potência de 31 W, não gerou nenhuma gota de água. Para confirmar este efeito, o segundo teste foi realizado no período noturno com duração de 9 horas, onde a umidade foi aumentando no decorrer do tempo de modo assim a gerar uma quantidade mais significativa de água, com potência de 31W.

Os resultados obtidos com o protótipo desenvolvido indicam que o sistema opera de forma satisfatória em umidades relativas superiores a 50%, alinhando-se às recomendações da OMS, para um ambiente saudável e confortável o ideal é uma umidade entre 50% e 60%.

3. CONCLUSÃO

Em síntese, a intervenção promove a qualidade do ar interno ao reduzir a umidade, atingindo um nível adequado sem ultrapassar os limites recomendados. Paralelamente, viabiliza a captação de recursos hídricos, permitindo seu aproveitamento. A integração entre controle de umidade e reaproveitamento hídrico demonstra potencial para aplicações sustentáveis em pequena escala, o que ilustra um benefício duplo: otimização ambiental e reaproveitamento de recursos.

4. REFERÊNCIAS

FERNANDES, Jainne Daniele. Refrigeração utilizando pastilhas de efeito Peltier. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2010. Disponível em: https://www.redalyc.org/pdf/4815/481549220003.pdf. Acesso em: 23 out. 2025.

INCROPERA, Frank P. et al. Fundamentos de transferência de calor e de massa. 7. ed. São Paulo: LTC, 2014. ISBN: 9788521625049.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE; ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Diretrizes globais de qualidade do ar da OMS: partículas inaláveis ($MP_{2,5}$ e MP_{10}), ozônio, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre e monóxido de carbono: resumo executivo. Washington, D.C.: OPAS, 2021. Disponível em: https://iris.paho.org/handle/10665.2/54963. Acesso em: 29 out. 2025.

RICHMOND, P. E. The Peltier Effect. Department of Education, University of Southampton. IOP Publishing Ltd. Physics Education, Volume 1, Edição 3, p. 145, 1996. Disponível em: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9120/1/3/301. Acesso em: 22 out. 2025.

SILVA, Thaynara. Utilização do efeito Peltier para resfriamento de ambientes. Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2021. Disponível em:

https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/34119/4/Utiliza%C3%A7%C3%A 3oEfeitoPeltier.pdf. Acesso em: 26 out. 2025.

THUALFAQIR, J. Kadhim et al. Experimental study of atmospheric water collection powered by solar energy using the Peltier effect. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, v. 671, n. 1, p. 012155, 2020. DOI: 10.1088/1757-899X/671/1/012155. Disponível em: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/671/1/012155. Acesso em: 26 out. 2025.

VOUGE, Vanilton. Refrigeração eletrônica, as pastilhas termoelétricas. Refrigeração.net, 04 set. 2024. Disponível em: https://refrigeracao.net/topicos/refrigeracao_eletronica. Acesso em: 23 out. 2025.

40 JOGOS MATEMÁTICOS: UMA FORMA LÚDICA DE ENTENDER A MATEMÁTICA

RESUMO

Reconhece-se que o aprendizado das operações matemáticas frequentemente enfrenta obstáculos na compreensão dos conteúdos, o que pode gerar desinteresse e dificultar a fixação do conhecimento. Diante desse cenário, o presente trabalho, vinculado ao Projeto de Extensão *Jogos Matemáticos Sustentáveis: Inovação com Impressão 3D e Materiais Alternativos no Ensino de Matemática*, teve como objetivo principal desenvolver jogos didáticos como ferramentas lúdicas e concretas para o ensino dessas operações. A metodologia adotada foi a Pesquisa de Desenvolvimento, estruturada em uma revisão bibliográfica para fundamentação teórica junto à Base Nacional Comum Curricular (BNCC), seguida da confecção dos jogos a partir de materiais de baixo custo e fácil acesso, como tampinhas plásticas e papelão. Os resultados consistiram na materialização de cinco protótipos funcionais: *Caminho das Operações: Adição e Subtração, Tabuleiro da Multiplicação, Páginas da Multiplicação e Tabuleiro da Divisão*. Estes demonstraram a viabilidade e o potencial pedagógico desses recursos como alternativa para enriquecer as práticas docentes, oferecendo um material lúdico, durável e diretamente alinhado aos princípios da Educação Ambiental.

Palavras-chave: Jogos matemáticos, materiais alternativos, operações matemáticas.

Laura Brites Adolpho[1];
João Marcos de Lara Bittencourt[1];
Ana Luisa Soubhia[1]

1 Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

ABSTRACT

It is recognized that learning mathematical operations often faces obstacles in understanding the content, which can lead to a lack of interest and difficulties in knowledge retention. In this context, this study, linked to the Extension Project *Sustainable Mathematical Games: Innovation with 3D Printing and Alternative Materials in Mathematics Teaching*, aimed to develop educational games as playful and concrete tools for teaching these operations. The methodology adopted was Development Research, structured through a literature review to provide theoretical grounding based on the Brazilian Common National Curriculum Base (BNCC), followed by the creation of games using low-cost and easily accessible materials, such as plastic bottle caps and cardboard. The results comprised the production of five functional prototypes, including *Path of Operations: Addition and Subtraction*, *Multiplication Board*, *Multiplication Pages*, and *Division Board*. These prototypes demonstrated the feasibility and pedagogical potential of such resources as alternatives to enrich teaching practices, offering playful, durable materials directly aligned with the principles of Environmental Education.

Keywords: mathematical games, alternative materials, mathematical operations.

1. INTRODUÇÃO

Embora essencial na educação básica, a Matemática ainda representa um desafio para alunos das séries iniciais, especialmente na compreensão das operações básicas. Reconhecendo as limitações das abordagens tradicionais, os jogos educativos surgem como uma metodologia ativa e envolvente. Segundo Barros e Angelim (2018), o uso de jogos favorece o desenvolvimento mental e intelectual, estimulando o raciocínio lógico e a resolução de problemas.

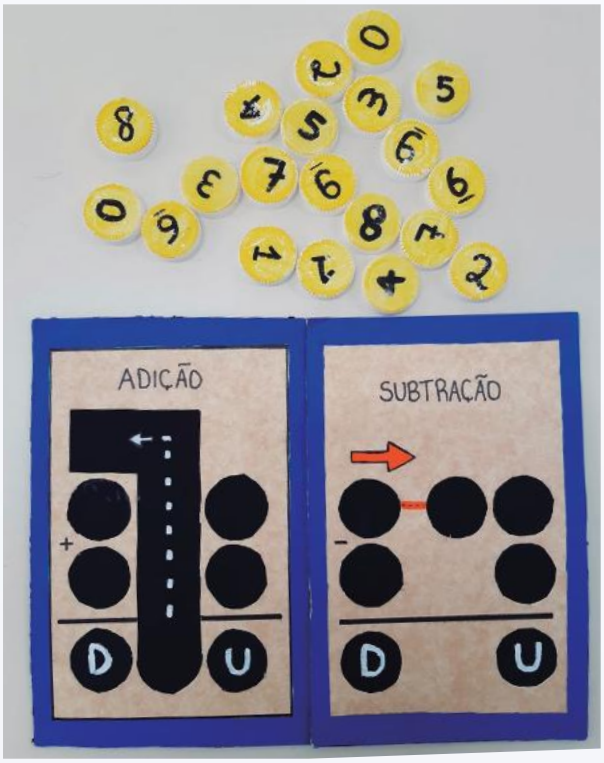
Assim, este trabalho propõe a criação de jogos matemáticos vinculados ao Projeto de Extensão *Jogos Matemáticos Sustentáveis: Inovação com Impressão 3D e Materiais Alternativos no Ensino de Matemática*, utilizando materiais alternativos que facilitam sua replicação em escolas com poucos recursos e integram a Matemática aos princípios da Educação Ambiental e da sustentabilidade.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa que fundamenta a criação dos jogos didáticos confeccionados é uma abordagem qualitativa e se enquadra metodologicamente como uma Pesquisa de Desenvol-

vimento de Produtos Educacionais. Os jogos não são mera diversão, mas uma poderosa ferramenta para desenvolver o raciocínio e a Resolução de Problemas, pois ele valoriza o processo de estratégia do aluno sobre a obtenção da resposta final. Desta forma foi realizada uma análise documental da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), garantindo que cada jogo criado estivesse diretamente alinhado às habilidades e competências exigidas para o Ensino Fundamental, para a confecção de cada um dos jogos, foram buscados alguns materiais alternativos e recicláveis, tornando o processo de aprendizagem mais lúdico e também com viés na sustentabilidade.

Figura 1: Caminho da Adição e Subtração



Para o desenvolvimento do jogo Caminho da Adição e Subtração (Figura 1), foram utilizados papelão, caixa de cereais, tampinhas de garrafa e tinta guache. O tabuleiro, feito em papelão de 17 × 20 cm, foi pintado e recebeu o recorte de uma caixa de cereais. Foram utilizadas vinte tampinhas, pintadas e numeradas de 0 a 9, com duas de cada número. Para a adição, o jogador usa as tampinhas para demonstrar o cálculo e, soma os valores começando pela unidade e coloca o resultado na linha inferior; se a soma das unidades for 10 ou mais, ele deve levar o valor da dezena para a coluna seguinte. Para a subtração, o jogador deve subtrair coluna por coluna, começando pela unidade; e se for necessário, ele deve emprestar uma dezena da coluna vizinha para realizar a operação. Assim permitindo que os alunos visualizem e pratiquem de forma correta as operações.

No Tabuleiro da Multiplicação, foram empregados papelão, tampinhas e dois elásticos. O papelão, de 38,5 × 38,5 cm, foi dividido em 81 quadrados numerados. Nas bordas superior e esquerda, foram coladas tampinhas numeradas de 1 a 9; nas demais bordas,

tampinhas coloridas sem números. Os elásticos são posicionados sobre os números a serem multiplicados, e o ponto de cruzamento indica o resultado (Figura 2).

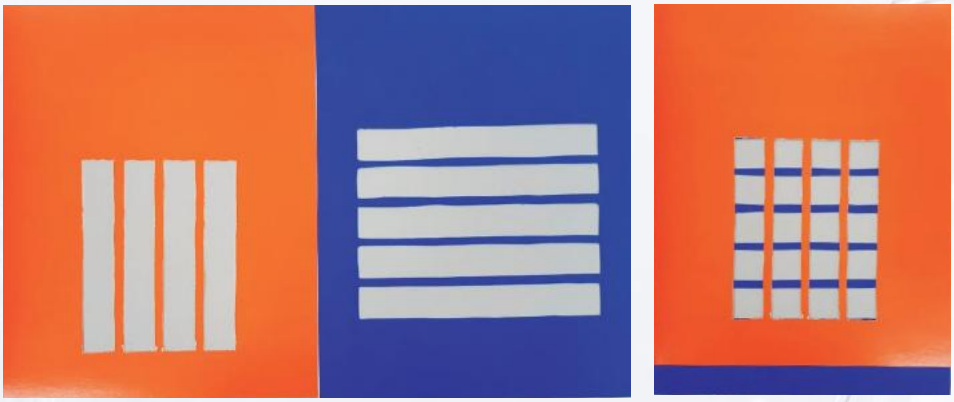
O jogo Páginas da Multiplicação (Figura 3) foi confeccionado com folhas coloridas de 20 × 25 cm, cortadas em colunas de 1 a 9, espaçadas em 0,5 cm. Ao sobrepor as folhas correspondentes à multiplicação desejada, o número de quadrados formados representa o resultado.

Para o Tabuleiro da Divisão foi utilizado papelão, rolo de papel, tiras de papéis coloridos, restantes do jogo Páginas da Multiplicação, e tinta. Ao ser fornecido um cálculo o aluno utiliza as tiras de papéis dividindo-as em rolos de papéis numerados, assim obtendo a resposta de sua divisão conforme a Figura 2.

Figura 2: Tabuleiro da Multiplicação e da Divisão



Figura 3: Páginas da Multiplicação



RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados consistiram na materialização de cinco protótipos, todos confeccionados principalmente com materiais alternativos. Estes jogos educacionais confirmam a viabili-

dade técnica da criação de materiais didáticos a baixo custo. Os jogos incentivam a resolução de problemas e o raciocínio matemático, ao modelar conceitos matemáticos abstratos em ações concretas e manipuláveis. Essa abordagem está de acordo com Dante (2009), que valoriza o processo de formulação de estratégias sobre a obtenção da resposta final. Além do benefício pedagógico, a utilização de sucata (Gitirana, 2018) consolida a dimensão da sustentabilidade do projeto, oferecendo aos professores uma solução prática, ética e replicável para a carência de recursos na escola.

CONCLUSÕES

Mediante a metodologia de Pesquisa de Desenvolvimento, os objetivos de criação e prototipagem foram plenamente alcançados, resultando em 5 jogos matemáticos, confirmando assim, a viabilidade técnica e pedagógica de construir materiais didáticos a partir da utilização de materiais alternativos.

Os jogos fornecem uma alternativa concreta para o ensino das operações, estimulando o raciocínio processual e a resolução de problemas, essenciais para a formação do pensamento matemático do aluno. O uso de materiais recicláveis reforça a responsabilidade ambiental na formação de professores, demonstrando que o problema da escassez de recursos pode ser superado com criatividade e sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

BARROS, Marcelo Lopes Leão; ANGELIM, Clenilson Panta. **O Uso dos Jogos no Ensino da Matemática**. ID online, Revista de psicologia, [S. l.], v. 12, n. 39, p. 452–458, 2018. DOI: 10.14295/idonline.v12i39.1004. Disponível em: https://idonline.emnuvens.com.br/id/article/view/1004. Acesso em: 6 out. 2025.

BRASIL. **Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular (BNCC**). Brasília, DF: MEC, 2018. Disponível em: https://basenacionalcomum.mec.gov.br/. Acesso em: 5 out. 2025.

DANTE, Luiz Roberto. **Formulação e resolução de problemas de matemática: teoria e prática.** São Paulo: Ática, 2009.

GITIRANA, Verônica et al. (org.). **Jogos com sucata na educação matemática**. Recife: NEMAT: Ed. UFPE, 2018.

41 GANHO DE PESO DE TERNEIROS EM FUNÇÃO DA COR DO PELAME E DAS CONDIÇÕES DE AMBIÊNCIA DO PIQUETE

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o conforto térmico e o ganho de peso de terneiros em pré-desmame em função da cor do pelame e das condições de piquete, no período de outono de 2025, em Cachoeira do Sul. Os resultados demonstram que no piquete 2 (com sombra), os animais apresentaram menores valores da temperatura da superfície corporal e ganho médio de peso 75% superior aos animais que permaneceram no piquete 1 (sem sombra). Os animais Angus (preto), tiveram maiores valores de temperatura da superfície corporal e um ganho médio de peso 23% inferior os animais Braford (vermelho).

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the thermal comfort and weight gain of pre-weaning calves according to coat color and paddock conditions in the fall of 2025, in Cachoeira do

Palavras-chave: Terneiros, bem-estar animal, conforto térmico.

Diogo André Schmidt[1];
Zanandra Boff de Oliveira[1]

1 GEPAB- Grupo de pesquisa em Biometeorologia, Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

Sul. The results show that in paddock 2 (with shade), the animals had lower body surface temperature values and an average weight gain 75% higher than those in paddock 1 (without shade). The Angus (black) calves had higher body surface temperature values and an average weight gain 23% lower than the Braford (red) calves.

Keywords: Calves, animal welfare, thermal comfort.

1. INTRODUÇÃO

O conforto térmico para bovinos refere-se à faixa de temperatura ambiente em que os animais não sofrem estresse por frio ou calor excessivo. É fundamental para a saúde, bem-estar e produtividade dos animais. Para bovinos de corte, essa faixa ideal geralmente está entre 18°C e 26°C, com temperaturas críticas inferior (TCI) de 5°C e superior (TMS) de 35°C. A partir de 35ºC, os mecanismos de compensação começam a falhar, acarretando rápido aumento da temperatura retal e declínio na ingestão de alimentos, produção de leite e peso corporal[1]. Por outro lado, no frio os animais usam mais energia para manter a temperatura corporal, desviando a energia que seria utilizada para o crescimento, desenvolvimento do sistema imunológico e outras funções vitais. Os limites de temperatura do ar para terneiros de 10, 18 a 21 e 26 °C, para temperatura crítica inferior TCI (°C), zona de conforto térmico ZCT (°C) e temperatura crítica superior TCS (°C), respectivamente[2].

Além disso, a cor da pelagem bovina, junto com outras características como a espessura do pêlo e o tipo de pele, tem um papel fundamental na adaptação dos animais ao ambiente e no seu conforto térmico, especialmente em climas quentes e/ou secos. Raças zebuínas são melhor adaptadas à climas tropicais. Enquanto raças taurinas são adaptadas a climas mais amenos, podem ter pelagens mais longas e escuras, o que pode ser menos adequado em climas quentes, especialmente em sistemas de criação a pasto[1].

Garantir sombra, ventilação adequada e acesso à água fresca são estratégias essenciais para o bem-estar e a eficiência da produção. As árvores são essenciais para interceptar diretamente a luz solar, porém cada espécie vegetal tem características diferentes, [3]existem espécies que podem baixar a temperatura entre 2 a 3ºC em céu aberto, porém já foram registradas reduções de até 9ºC. Diante das condições climáticas adversas, o uso de sombras para animais é uma estratégia essencial para mitigar os efeitos das mudanças climáticas, proporcionando conforto térmico e melhorando o bem-estar animal. Entretanto, a expansão da pecuária de corte em áreas que no verão são cultivadas com soja no RS, fez com que houvesse a supressão das sombras naturais, motivando a necessidade de mais pesquisas que retomem essa importância. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o conforto térmico e o ganho de peso de terneiros em pré-desmame em função da cor do pelame e das condições de piquete, no período de outono de 2025, em Cachoeira do Sul.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Agropecuária Schmidt, localizada na região da Estrada Sepé N°75- Capané com latitude -30.10º de longitude -52.96º, município de Cachoeira do Sul - RS. Os tratamentos avaliados constituíam de dois piquetes, o piquete 1 com condições limitadas ao bem-estar animal (sem sombra) e o piquete 2 com condições mais favoráveis (com sombra natural) e duas raças bovinas com cores distintas do pelame: Braford (vermelho) e Angus (preto).

O Piquete 1 com 6,5 ha, possuiu área reduzida/ praticamente nula de sombra natural. A disponibilidade de água por reserva natural (sanga). Já, o piquete 2 de 6,0 ha possuiu áreas de sombreamento natural pelas espécies *Eucalyptus* e *Ficus Carica,* além de boa disponibilidade de água com um açude e reserva natural (sanga). Ambos os piquetes possuíram como principal oferta de pasto o rebrote da forrageira cultivada Áries II (braquiária). A altura de pasto de entrada dos animais foi praticamente a mesma nos dois piquetes (aproximadamente 30 cm). O lote com 12 terneiros, das raças Braford (6) e Angus (6), foi separado e os terneiros pesados individualmente em balança mecânica da marca Cauduro, cada um foi identificado a partir de brincos com numeração de 051 a 062. Posteriormente, foram alocados aleatoriamente com suas respectivas mães nos piquetes já caracterizados. Sendo 3 terneiros Braford e 3 Angus, para cada piquete.

Os animais permaneceram nos piquetes por 29 dias (pré-desmame), de 26/04/2025 a 24/05/2025, período de outono, cujos dados meteorológicos para a caracterização do período foram obtidos da estação meteorológica da UFSM CS – grupo Metos, localizada cerca de 26 km do local. Nos piquetes, foram instalados sensores tipo datalloger E-log U, para monitorar a temperatura do ar no intervalo de 5 em 5min, durante o período compreendido entre 5 e 10/05. Os sensores foram fixados em estacas com altura de 1,5m. A temperatura superficial corporal (TSC) dos terneiros foi coleta da superfície do lombo e da e da tábua do pescoço, por meio de termômetro infravermelho (modelo laser digital industrial), com determinações em dias e horários variáveis, após fez-se a média das observações por raça e por piquete.

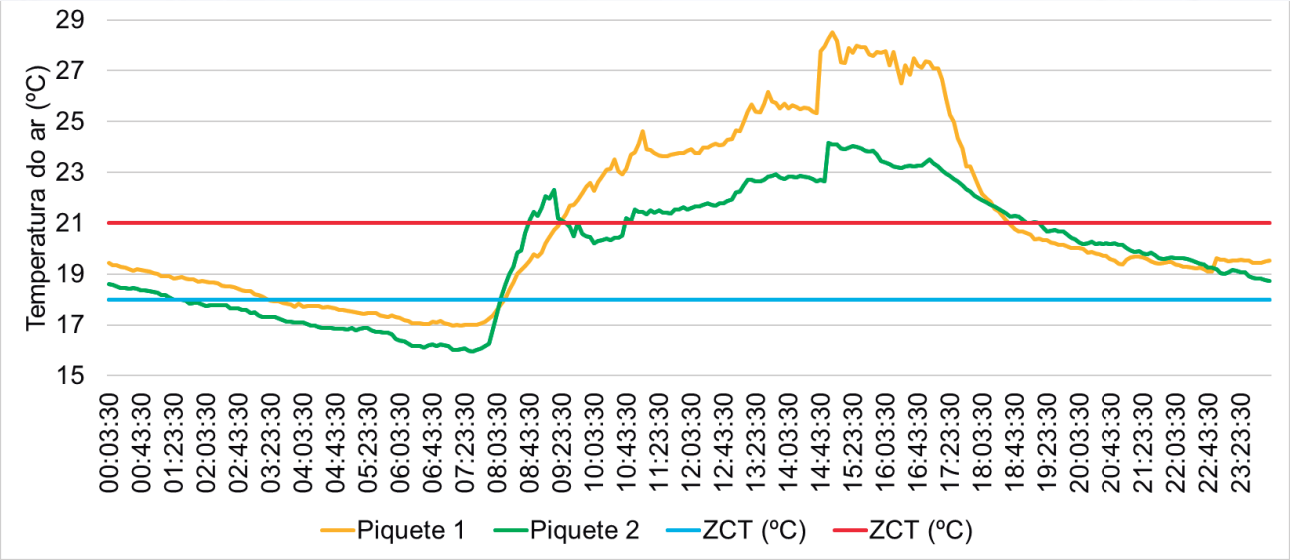
No final do período os animais foram conduzidos novamente ao cento de manejo para a pesagem. A comparação das variáveis ganho de peso médio e TSC, foi realizada pelo "Teste t" de Student ($p < 0,05$) para duas amostras pareadas, comprando de forma isolada piquetes e raças.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As condições de temperatura do ar (Estação metrológica) no período de condução do experimento (26/04/2025 a 24/05/2025), foi de elevada amplitude térmica, com valores entre 7,1 a 30,1ºC, indicando que a temperatura ficou fora da ZCT dos animais. No período de análise dos piquetes (entre 5 e 10/05), a amplitude térmica média diária foi de 17

a 28ºC no piquete 1 e no piquete 2, essa variação foi entre 16 e 24ºC (Figura 1). Nota-se que, a sombra além de reduzir os picos de temperatura elevada em até 5ºC (próximo às 15 h), também contribui para a atenuação do frio entre 18 e 23 h e entre 08 e 10 h, funcionando com um abrigo aos animais, corroborando com estudos já publicados1. Ainda assim, mesmo com sombra a temperatura do ar ficou fora da ZCT dos animais, principalmente na parte da tarde, caracterizando desconforto a estresse calórico, que foi mais acentuado no piquete 1.

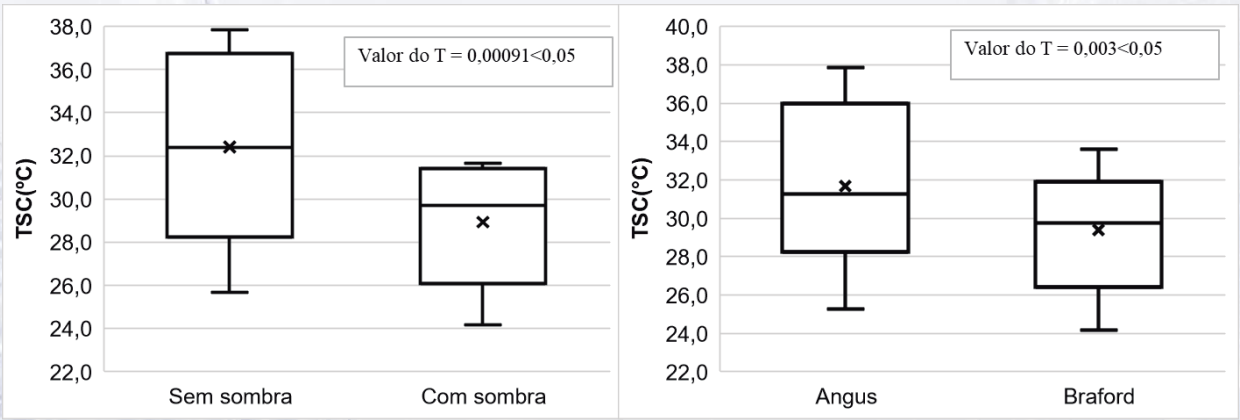
Figura 1: Temperatura do ar média horária (entre 5 e 10/05) para os piquetes 1 (sem sombra) e 2 (com sombra).



Fonte: autores

A média das observações da TSC do plantel avaliado (Figura 2), indica maior amplitude e valores mais elevados no piquete 1 e para animais da raça Angus. A cor da pelagem e características do pelame influenciam no desempenho dos animais em temperaturas altas, pois pelagens mais escuras, como a preta, possuem uma elevada absorbância de calor[4].

Figura 2: Valores médios das observações da temperatura da superfície corporal (TSC) para animais da raça Angus e Braford em piquete com e sem sombra.



Fonte: autores

Assim, o ganho médio de peso no período do plantel (Figura 3), foi de 15,2 kg no piquete 2 (com sombra) e de 8,8 kg no piquete 1 (sem sombra). No piquete com sombreamento natural, o ganho médio de peso dos animais foi de 0,53 kg dia^{-1}, independente da raça avaliada. Enquanto, que no piquete sem sombreamento natural, os animais da raça Braford (pelame vermelho), apresentaram um ganho de peso médio de 0,40 kg dia^{-1}, sendo este maior que o ganho médio de 0,19 kg dia^{-1} dos animais da raça Angus (pelame preto).

Figura 3: Valores do ganho de peso médio (29 dias) para animais da raça Angus e Braford em piquete com e sem sombra.



Fonte: autores

4. CONCLUSÕES

Os resultados demonstram que no piquete 2 (com sombra), os animais apresentaram menores valores da temperatura da superfície corporal e ganho médio de peso 75% superior aos animais que permaneceram no piquete 1 (sem sombra). Os animais Angus (preto), tiveram maiores valores de temperatura da superfície corporal e um ganho médio de peso 23% inferior os animais Braford (vermelho). Demonstrando assim, a importância do sombreamento natural para a maximização da produtividade bovina na região de estudo.

5. REFERÊNCIAS

ALVES, F. V.; LAURA, V. A.; ALMEIDA, R. G. de; KARVATTE JUNIOR, N. **Conforto térmico e bem-estar animal em pastagem: um desafio para a pecuária tropical.** Artigo em anais e proceedings. Embrapa Gado de Corte, 2017. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1080585/conforto-termico-e-bem-estar-animal-em-pastagem-um-desafio-para-a-pecuaria-tropical. Acesso em 06 jun. 2025.

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais – Conforto animal**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2010. 246p.

ROSSO, G. **Pelagem tem influência direta na adaptação de bovinos às mudanças climáticas**. Embrapa Pecuária Sudeste, 2024, Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/92788082/pelagem-tem-influencia-direta-na-adaptacao-de-bovinos-as-mudancas-climaticas#

SILVA, R. G.; LA SCALA, N; TONHATI, H. Radiative Properties of the Skin and Haircoat of Cattle and Other Animals. **American Society of Agricultural Engineers**, p. 913-918, 2003.

42 IMPACTOS DA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ETo – FAO PM) NO BALANÇO HÍDRICO DA SOJA IRRIGADA EM DUAS SAFRAS

RESUMO

A evapotranspiração de referência (ETo) é um componente crucial para o cálculo do balanço hídrico. Dessa forma, objetivou-se estimar e comparar a ETo pelo método padrão (FAO-PM) com dados meteorológicos completos (ETo I) e somente com dados de temperatura (ETo II), após isso, comparar o impacto da ETo I e II no balanço hídrico da soja, para as safras 2023-24 (El Niño) e 2024-25 (La Niña). A superestimativa ETo II resultou no incremento de 18% (2023-24) e 26% (2024-25) na lâmina de irrigação suplementar necessária para a cultura da soja. Recomenda-se calcular a ETo - FAO PM com dados completos para uma maior assertividade na estimativa da necessidade hídrica das culturas agrícolas e recomendações mais precisas da lâmina de irrigação.

Palavras-chave: Manejo da irrigação, sustentabilidade, Glycine max (L.).

Zanandra Boff de Oliveira[1]; Beatriz Mariana[1]; Rafaela Richardt Piazza [1]; Rafael Rohrs Borges[1]; Rafaela Fauth Bisol[1]; Bruno Gabriel Mayerhofer[1]; Ana Luíza Canto da Silva[1]

1 GEPAB- Grupo de pesquisa em Biometeorologia, Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

ABSTRACT

Reference evapotranspiration (ETo) is a crucial component for calculating the water balance. Therefore, the objective was to estimate and compare ETo using the standard method (FAO-PM) with complete meteorological data (ETo I) and only with temperature data (ETo II). Afterward, compare the impact of ETo I and II on the soybean water balance for the 2023-24 (El Niño) and 2024-25 (La Niña) harvests. The research overestimated ETo II by increasing the supplementary supervision depth required for soybean crops by 18% (2023-24) and 26% (2024-25). It is recommended to calculate ETo-FAO PM with complete data for greater assertiveness in estimating crop water needs and more accurate control depth recommendations.

Keywords: Irrigation management, sustainability, *Glycine max* (L.).

1. INTRODUÇÃO

A estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) é crucial para o planejamento e manejo da irrigação. Com a ETo, é possível estimar a quantidade de água a cultura necessita e quando ela precisa ser irrigada, ajudando a dimensionar os sistemas de irrigação de forma adequada e a evitar o desperdício de recursos hídricos. O grande avanço na ciência para a estimativa da evapotranspiração foi a publicação do boletim FAO 56[1]. No documento foi parametrizado o método Penman-Monteith FAO (FAO-PM) para a estimativa da ETo. Este é o método definido como padrão com a maior probabilidade de acertos em uma ampla variedade de locais e climas [2,3].

Para realização da estimativa, este método requer dados meteorológicos de radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento[1]. Alguns estudos comprovam a precisão do método, mesmo na indisponibilidade de algum dado meteorológico, conforme relatado nos trabalhos[3,4,5]. Por exemplo, em casos de ausência de dados medidos de radiação solar, os mesmos podem ser estimados a partir de dados de temperatura, que é o elemento meteorológico mais disponível em estações meteorológicas[1]. As estações compactas medem a temperatura do ar através de sensores integrados, oferecendo facilidade de mensuração com baixo custo. Além disso, a previsão meteorológica informa a temperatura com precisão e pode ser uma alternativa para a aquisição de dados para posterior cálculo da ETo em tempo real e futuro[5].

Nesse sentido, o software CROPWAT, que utiliza informações e metodologias de cálculo baseadas no boletim FAO 56[1], pode ajudar a calcular a necessidade hídrica das culturas, estimar a demanda de irrigação e otimizar o uso da água, utilizando dados de solo, clima e cultura para melhorar o manejo hídrico.

Dentre as culturas agrícolas, a soja destaca-se por sua importância econômica, social e ambiental para o Rio Grande do Sul, sendo um dos principais produtos agrícolas do estado e um grande gerador de empregos e riqueza. Dessa forma, objetivou-se estimar e comparar a ETo pelo método padrão (FAO-PM) com dados meteorológicos completos (ETo I) e somente com dados de temperatura (ETo II), após isso, comparar o impacto da ETo I e II no balanço hídrico da soja simulado pelo CROPWAT, para as safras 2023-24 (El Niño) e 2024-25 (La Niña).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A modelagem foi realizada a partir de dados observados durante a realização de experimento de campo com a cultura da soja nas safras 2023/24 e 2024/25. Os experimentos foram instalados na área da UFSM Cachoeira do Sul (long.de -52,96 º, lat.de -30,01º e alt.de 79,2 m), em solo classificado como Argissolo Vermelho. A cultivar BMX Zeus IPRO (GMR 5.5) foi semeada no dia 28/11/23 e a cultivar Brasmax Titanium TF I2X (GMR 5.6) foi semeada no dia 21/11/24.

A irrigação foi por um sistema de gotejamento superficial instalado na entrelinha de cultivo, com espaçamento entre emissores de 0,20 m. O manejo da irrigação baseou-se no balanço hídrico do solo, para uma fração de esgotamento de 40 mm da capacidade de água disponível no solo (CAD). Os dados meteorológicos e a ETo I (FAO-PM) foram obtidos de uma estação automática (Metos-Brasil) instalada a cerca de 50 m do local do experimento. A evapotranspiração da cultura (ETc) foi calculada pela multiplicação da ETo com o Kc simples[1].

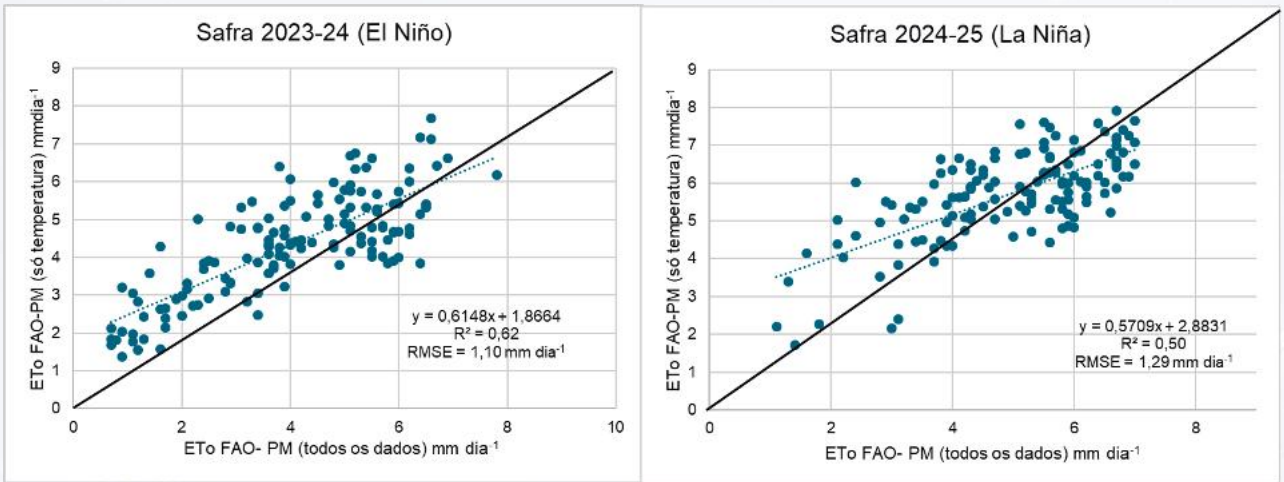
Os dados obtidos à campo (solo, cultura, chuva e ETo I) serviram para a alimentar o software CROPWAT que foi rodado com estes parâmetros observados. Assim, obteve-se o balanço hídrico com dados de ETo I. Posteriormente, calculou-se a ETo II com o próprio CROPWAT, apenas informando dados de temperatura (máxima e mínima) e rodou-se novamente o software (solo, cultura, chuva, ETo II). Os dados de ETo I e II foram comparados por indicadores estatísticos, como o coeficiente de determinação (R^2) e o erro quadrático médio (RMSE). Também, realizou-se a análise de correção de correlação de Pearson para verificar o grau de relação entre a ETo I e as variáveis metrológicas de entrada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 1 apresenta a relação 1:1 entre os dados de ETo I e II, para as duas safras avaliadas. Há uma tendência de superestimativa da ETo II para valores entre 1 e 6 mm dia^{-1}, que predominam na maior parte do ciclo de desenvolvimento da soja. Enquanto, para valores mais elevados (> 6 mm dia^{-1}), pode haver um subestimativa da ETo II. Nota-se uma melhor distribuição dos dados em relação à linha 1:1 e um menor valor de RMSE no ano de

2023-24 (El Niño), possivelmente em função de uma menor variação da temperatura do ar ao longo do ciclo. Visto que, no ano agrícola 2024-25, tiveram várias ondas de calor e temperatura elevadas (>35ºC) foram registrados em 24% do ciclo. Enquanto, no ano anterior essa marca foi atingida em 12% do período.

Figura 1: Comparação entre a ETo – FAO PM calculada com todos os dados (ETo I) e apenas com dados de temperatura (ETo II), em duas safras.



Fonte: autores

Tabela1- Coeficiente de correlação e intensidade da relação entre a ETo I e as variáveis meteorológicas.

Relação ETo FAO -PM (dados completos) e variáveis meteorológicas		
2023-24		
Variável meteorológica	**Valor de "r"**	**Intensidade da relação**
Radiação solar global (w m^{-2})	+0,9	muito forte
Temperatura máxima (°C)	+0,8	forte
Temperatura mínima (°C)	-0,1	nula
Dif. entre temperatura máxima e mínima (°C)	+0,8	forte
Velocidade do vento (m s^{-1})	0,0	nula
Umidade relativa média do ar (%)	-0,8	forte
2024-25		
Variável meteorológica	**Valor de "r"**	**Intensidade da relação**
Radiação solar global (w m^{-2})	+0,9	muito forte
Temperatura máxima (°C)	+0,7	moderada
Temperatura mínima (°C)	0,0	nula
Dif. entre temperatura máxima e mínima (°C)	+0,7	moderada
Velocidade do vento (m s^{-1})	+0,3	nula
Umidade relativa média do ar (%)	-0,8	forte

Fonte: autores

Essa superestimativa da ETo II pode ser explicada em função da sensibilidade do método (FAO-PM) às demais variáveis meteorológicas e não apenas a temperatura (Tabela 1). Corroborando com o estudo[6] que identificou a radiação solar, a temperatura máxima do ar e a umidade relativa, como os principais fatores de influência positiva na ETo, especialmente nos climas Tropical e Subtropical. A utilização da ETo II no balanço hídrico, resultou em um aumento de 30 e 90 mm na lâmina de irrigação suplementar para as safras 2023-24 e 2024-25, respectivamente (Tabela 2). Esse tipo de recomendação contribui para redução da eficiência do uso da água pela cultura e pode gerar desperdício de água.

Tabela 2- Parâmetros do balanço hídrico simulado utilizando a ETo I (dados completos) e a ETo II (somente temperatura).

	ETo I	ETo II	ETo I	ETo II
Parâmetros do balanço hídrico	**2023-24**		**2024-25**	
Chuva acumulada (mm)	564	564	354	354
ETo acumulada (mm)	557	602	664	768
ETc acumulada (mm)	461	488	591	682
Irrigação acumulada (mm)	165	195	345	435

Fonte: autores

4. CONCLUSÕES

A superestimativa da evapotranspiração de referência (ETo-FAO PM) calculada com apenas dados de temperatura resultou no incremento de 18% (2023-24) e 26% (2024-25) na lâmina de irrigação suplementar necessária para a cultura da soja.

Recomenda-se calcular a ETo - FAO PM com dados completos (radiação solar, temperatura, umidade e vento) para uma maior assertividade na estimativa da necessidade hídrica das culturas e recomendações mais precisas da irrigação.

5. REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G et al. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 300 p.

BARROS, V. R et al. Avaliação da evapotranspiração de referência na Região de Seropédica, Rio de Janeiro, utilizando lisímetro de pesagem e modelos atemáticos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, n.2, p.198-203, 2009.

ROCHA, E.J.T et al. Estimativa da ETo pelo modelo Penman-Monteith FAO com dados mínimos integrada a um Sistema de Informação Geográfica. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.1, p.75-83, 2011.

CAI, J. et al. Estimating reference evapotranspiration with FAO Penman-Monteith equation using daily weather forecast messages. **Agriculture and Forest Meteorology**, v. 145, n. 01/02, p. 22-35, 2007.

OLIVEIRA, Z.B. Estimativa da evapotranspiração a partir de dados diários de previsão meteorológica. **Tese** (doutorado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Santa Maria, p.95, 2015.

MORO, I.P. et al. Influência dos Elementos Meteorológicos na Evapotranspiração de Referência Diária. **Revista brasileira de meteorologia,**v. 40, 2025.

43 CONHECIMENTOS DA COMUNIDADE DA ESCOLA TAUFIK GERMANO SOBRE PLANTAS MEDICINAIS

RESUMO

Esta pesquisa foi realizada pelos estudantes do 5º ano da EMEF Taufik Germano sobre os conhecimentos da comunidade escolar a respeito de plantas medicinais. O estudo surgiu nas aulas de Ciências e Ensino Religioso, quando as crianças investigavam a relação entre plantas medicinais, saberes e crenças populares. A partir disso, formulou-se o problema da pesquisa: o que as pessoas da comunidade da escola Taufik Germano sabem sobre plantas medicinais? O objetivo geral foi compreender os saberes sobre plantas medicinais presentes na comunidade, enquanto os objetivos específicos incluíram: identificar quais plantas são cultivadas nas casas; analisar se esses saberes são passados de geração em geração; compreender como as plantas são utilizadas no cotidiano. A metodologia envolveu a aplicação de um questionário online pelo Google Forms, elaborado coletivamente pelos alunos e compartilhado nos grupos de WhatsApp das famílias dos estudantes do 5º ao 9º ano, e duas entrevistas narrativas com membros da comunidade. A análise dos dados indicou que os conhecimentos sobre plantas medicinais provêm, principalmente, de pais e avós, sendo o chá a forma mais comum de uso. Algumas hipóteses da pesquisa foram confirmadas,

Palavras-chave: Plantas medicinais; Saberes populares; Comunidade escolar.

Melaine Santos da Silva Penha[1]

1 Secretaria Municipal de Educação, Escola Municipal de Ensino Fundamental Taufik Germano, Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

como os tipos de plantas e suas formas de preparo, outras, como horários específicos para uso e ligação com práticas religiosas, não foram evidenciadas. A pesquisa evidencia a importância de valorizar os saberes locais e fortalecer a troca de conhecimento entre escola e comunidade, permitindo que o aprendizado seja construído de forma coletiva e que práticas culturais e tradicionais sejam reconhecidas e preservadas.

ABSTRACT

This study was conducted by 5th grade students at EMEF Taufik Germano and investigated the community's knowledge about medicinal plants. The research emerged from Science and Religious Education classes, in which students explored the relationship between medicinal plants, local knowledge, and popular beliefs. The central question guiding the study was: *What do members of the Taufik Germano school community know about medicinal plants?* The general objective was to understand the knowledge present in the community, supported by specific aims such as identifying which plants are cultivated at home, analyzing whether such knowledge is transmitted across generations, and understanding how these plants are used in daily life. The methodology included an online questionnaire created using Google Forms and shared with families of students from 5th to 9th grade, as well as two narrative interviews with community members. Data analysis indicated that knowledge about medicinal plants originates mainly from parents and grandparents, with teas being the most common form of use. While some hypotheses were confirmed—such as the types of plants and preparation methods—others, like specific usage times or connections with religious practices, were not evidenced. The study highlights the importance of valuing local knowledge and promoting knowledge exchange between school and community, fostering collective learning and the preservation of cultural and traditional practices.

Keywords: Medicinal plants; popular knowledge; school community.

1. INTRODUÇÃO

Esta pesquisa surgiu nas aulas de Ciências e de Ensino Religioso, em uma turma do 5º ano, da EMEF Taufik Germano, da cidade de Cachoeira do Sul - RS, composta por 22 crianças curiosas e atentas às relações entre plantas medicinais, saberes populares e crenças que fazem parte do cotidiano de suas famílias. Os diálogos em sala despertaram o desejo em compreender para além dos muros da escola e investigar o que as pessoas que vivem em localidades como Passo do Moura, Rincão dos Menezes, Guajuviras, Capão da Cruz, Rincão dos Kiefer, entre outras sabem sobre o uso das plantas medicinais.

A partir dessas reflexões, surge o problema de pesquisa: o que a comunidade da Escola Taufik Germano sabe sobre plantas medicinais? Objetivo geral: Compreender quais são os saberes sobre plantas medicinais que as pessoas da comunidade da escola Taufik Germano sabem. Objetivos específicos: Conhecer quais plantas medicinais essas pessoas cultivam em suas casas; Analisar se seus saberes passam de geração em geração; Entender de que forma as pessoas usam as plantas medicinais em suas casas. A escolha desse tema surgiu da própria experiência dos estudantes, que reconhecem nas práticas de suas famílias a presença constante das plantas, especialmente na preparação de chás. Mas, ao mesmo tempo, havia a vontade de ampliar e relacionar esses saberes com outros conhecimentos construídos na escola. Assim, esta pesquisa também se tornou um convite à valorização da cultura local e à partilha de memórias, práticas e histórias.

Ao longo das aulas, as crianças foram construindo as seguintes hipóteses: que cada planta tem um benefício próprio para a saúde; que cada uma guarda uma forma específica de uso; que existiria um horário certo para consumir os chás; e que os conhecimentos sobre plantas estão ligados às crenças e passam de geração em geração. Essas hipóteses foram construídas através de muitas pesquisas e conhecimentos construídos ao longo das aulas, abrindo caminho para a investigação e também para experiências vividas na própria escola.

Figura 1: Plantação mandala dos chás na horta da escola



Fonte: Arquivo pessoal

Como continuação do trabalho de pesquisa, criamos a Mandala dos Chás, cultivada na horta escolar, que se transformou em um espaço vivo de aprendizagem e de trocas. Dela nasceu a Mandala das Lembranças, em que os cheiros e sabores dos chás despertaram recordações afetivas das crianças, aproximando conhecimento e memória. Também produzimos sabão artesanal, chamado de "saberes em barra", feito com poejo, espinheira-santa e alecrim, plantas associadas a cuidados como cicatrização, energia e proteção. Realizamos ainda escalda-pés coletivos, trazendo o tema do autocuidado e a reflexão sobre saúde e bem-estar.

Além disso, a pesquisa atravessou as áreas do conhecimento e se transformou em jogos matemáticos, em momentos de escrita e em um livro coletivo sobre plantas medicinais, registrando nomes científicos e benefícios, fortalecendo o letramento científico nos Anos Iniciais. Mais do que respostas, este estudo trouxe a certeza de que a escola é um espaço de encontros, onde os saberes populares e comunitários se entrelaçam com os saberes escolares, permitindo que aprendamos uns com os outros. Ao valorizar as plantas medicinais e os conhecimentos que as acompanham, aprendemos também a valorizar a cultura, a memória e a vida da nossa comunidade.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa adotou uma abordagem quali-quanti (mista). A perspectiva quantitativa envolveu a aplicação de um questionário online via Google Forms, com 10 perguntas, que obteve 23 respostas de famílias de alunos do 5º ao 9º ano. O instrumento abordou aspectos como local de residência, plantas cultivadas, formas de uso, transmissão de saberes e crenças relacionadas às plantas medicinais. A abordagem qualitativa se deu por meio de duas entrevistas narrativas com membros da comunidade. Como destacam Creswell e Clark (2013), essa articulação possibilita uma compreensão mais ampla e profunda da realidade, conjugando a objetividade dos números com a interpretação das narrativas.

Na perspectiva qualitativa, realizamos entrevistas narrativas com duas pessoas da comunidade. Um homem de 77 anos, morador da localidade Capão da Cruz, Estrada da Água Morna, há 11 anos, e uma mulher de 62 anos, moradora da mesma localidade desde o seu nascimento. Essa combinação de instrumentos

permitiu integrar dados quantitativos, que revelam padrões e frequências, e dados qualitativos, que evidenciam experiências, memórias e significados, proporcionando uma compreensão ampla e sensível dos saberes da comunidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise do questionário mostra que os participantes residem em diferentes localidades próximas à Escola Taufik Germano, incluindo Capão da Cruz, o qual foi o mais votado

com 43,5%, Rincão dos Menezes, Passo do Moura, entre outras. As plantas mais citadas no questionário foram alecrim (30,4%), boldo (26,1%) e hortelã (17,4%). A forma de uso mais comum foi o chá (87%).

Observa-se que 95% dos participantes faz uso regular das plantas, com frequência semanal ou diária, principalmente para alívio de sintomas como ansiedade e nervosismo 17%, gripe e resfriado 56,5 %. A partir desses resultados, foi confirmada a associação de cada planta a finalidades específicas de saúde (digestão, gripe, etc.). Os dados sobre a transmissão dos saberes mostram que o conhecimento sobre plantas medicinais é majoritariamente repassado por pais e avós 56,5 %, reforçando a dimensão intergeracional.

As hipóteses sobre a existência de horários específicos para o uso não foram evidenciadas 39% afirmaram que acreditam que as plantas medicinais devem ser tomadas em horários específicos, enquanto outros 39% disseram não acreditar nessa necessidade. No que diz respeito à relação entre os saberes sobre plantas medicinais e a religião, 65,2% dos participantes afirmaram que esses conhecimentos não têm ligação com práticas religiosas. Quando questionados sobre o que sabem sobre plantas medicinais, 73,9% respondeu que elas servem para aliviar sintomas e tratar doenças, enquanto 17% disseram conhecer os nomes e funções de algumas plantas específicas.

As entrevistas realizadas com as pessoas da comunidade evidenciaram que ambos os entrevistados aprenderam sobre as plantas principalmente com os avós e com as gerações mais antigas. Com relação às plantas cultivadas e seus usos, há uma diversidade de espécies mencionadas, como Losna, Hortelã, Erva-Cidreira, Guaco, entre outras. Cada planta é associada a finalidades específicas de cuidado com a saúde, como digestão, verminose, inflamações, gripe e pressão arterial, mostrando que o saber popular inclui tanto aspectos preventivos quanto terapêuticos.

Ambos os entrevistados destacam a importância de valorizar os saberes sobre plantas medicinais, enfatizando que essas práticas vêm de uma época em que as pessoas não utilizavam remédios industrializados, confiando nos chás e nos efeitos das plantas como métodos terapêuticos. Porém, ambos destacam que a ciência é essencial não só para reconhecer os saberes tradicionais, mas também para buscar a cura de doenças graves e desenvolver remédios a partir das plantas medicinais.

4. CONCLUSÕES

O estudo conclui que os saberes sobre plantas medicinais na comunidade da Escola Taufik Germano são múltiplos, transmitidos entre gerações e sensíveis às vivências de cada família. Práticas como o uso de chás, banhos e defumações, bem como o cultivo de plantas como Alecrim, Boldo, Hortelã, Terramicina e Funcho, confirmam a riqueza cultural e prática desses conhecimentos. Embora não tenham sido identificados horários específicos de uso nem relação direta com práticas religiosas, as plantas podem assu-

mir significados simbólicos em diferentes contextos. A pesquisa destaca a importância de valorizar os saberes locais e fortalecer o diálogo entre escola e comunidade, articulando o Letramento Científico à cultura local. Como contribuição prática, o trabalho resultou na elaboração da Mandala dos Chás e de um livro coletivo, integrando diferentes áreas do conhecimento e ampliando a compreensão sobre a relevância desses saberes no cotidiano.

5. REFERÊNCIAS

BALADELI, A. P. D.; BARROS, M. S. F.; ALTOÉ, A. **Desafios para o professor na sociedade da informação**. Educar em Pesquisa, Curitiba, n. 45, p. 155-165, 2012.

CRESWELL, John; CLARK, Vick. **Pesquisa de métodos mistos**. 2. ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

SILVA, Wagner. **Letramento científico na formação inicial do professor**. Revista práticas de linguagem, v. 6, n. esp., p. 8-23, 2016.

RUPPENTHAL, Raquel.; COUTINHO, Cadidja.; MARZARI, Mara Regina Bonini. **Alfabetização e letramento científico:** dimensões da educação científica. Research, Society and Development. v. 9, n. 10, 2020.

44 MONITORANDO O CLIMA: PROTEGENDO A CIDADE

RESUMO

Este documento apresenta uma pesquisa para criação de um sistema de alerta e alarme para minimizar o impacto das enchentes e proteger vidas, a partir do monitoramento automatizado da elevação dos níveis de arroios e rios.

ABSTRACT

This document presents research to create an alert and alarm system to minimize the impact of floods and protect lives, based on automated monitoring of rising stream and river levels.

Palavras-chave: Monitoramento, alerta, proteção.

Gabriela de Souza Vidal[1]; Laiana Dutra Garcia[1]; Laiana Rosa dos Santos[1]; Ediane Bersagui Aresi Santos[2]; Vanessa Muniz[2]

1 Alunas 3° ano ensino médio, E.E.E. M. Marçal Ramos
2 Professora Orientadora
3 Professora Co Orientadora.

Keywords: Monitoring, alert, protection.

1. INTRODUÇÃO

O município de Caraá enfrenta, há décadas, enchentes recorrentes provocadas pelas chuvas, especialmente entre os meses de junho e outubro. Esse problema persistente causa inúmeros transtornos à população, prejuízos ao comércio local, danos significativos às vias públicas e, principalmente, coloca em risco a vida e a integridade física dos moradores. Os problemas constatados incluem a ausência de um sistema eficaz de monitoramento dos rios e de emissão de alertas de enchentes, o que compromete a possibilidade de minimizar prejuízos e riscos à população. Além disso, há carência na disponibilização de dados para subsidiar estudos e pesquisas sobre o tema.

O projeto foi desenvolvido visando a criação de uma aplicativo com disponibilidade à população, e o desenvolvimento de um monitoramento de baixo custo, juntamente com a defesa civil da região e a prefeitura, que poderá disponibilizar diversos materiais. São objetivos do projeto: Monitorar os níveis dos rios que cortam toda a área do município de Caraá, emitindo alertas para a possibilidade de enchentes e disponibilizar informações, em tempo real, para a sociedade através de um aplicativo. Este objetivo visa minimizar os prejuízos causados e os riscos à integridade física das pessoas. Criação de um aplicativo para que esse alerta seja emitido até mesmo em horários de risco (como noite e madrugada), e que disponibilize acesso a todos do município com todas as localidades. - Fornecer acesso público aos dados coletados, para análises, inferências e planejamentos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho apresenta a metodologia de pesquisa bibliográfica e um estudo de campo informal através de uma voluntária da defesa civil da localidade de Caraá. Além disso, são descritas as etapas de seleção, coleta, análise e tratamento de dados. Este projeto também tem por objetivo a compreensão e a análise de como os fatores e aspectos do ambiente de pesquisa podem impactar no processo de desenvolvimento de um monitoramento mais eficaz e com um custo menor para o município.

Para o desenvolvimento do projeto será necessário algumas etapas:

1. Desenvolvimento do software - O software foi desenvolvido com programação CC++, possibilitando a implementação de um pequeno monitor de informações.
2. Desenvolvimento para a integração dos sensores ao software - Para integração dos

sensores ao software, é utilizado como base do projeto, o arduino, que é uma plataforma embarcada de código fonte livre. O Arduino monitora o ambiente externo através de sensores, que captam informações importante relacionadas àquele determinado lugar e informa ao arduino, que irá processá-las e realizar as tarefas pré-determinadas e enviá-la ao servidor onde está hospedado o software. O envio pode ocorrer por via rádio ou satélite, porém os testes estão ocorrendo via bluetooth, Os sensores utilizados no momento são: Sensor Ultrassônico (HC05).

3. Aquisição dos equipamentos e materiais necessários para a implantação de outros quatro pontos - A análise para implantação dos pontos dos sensores será realizada juntamente com a Defesa Civil de Caraá, onde a mesma possui o mapeamento dos pontos de risco e alagamentos.
4. Prova de conceito do sistema – Será instalado um ponto de sensores que irá monitorar o nível do rio e outros sensores, transmitindo as informações ao software com eficácia.
5. Integração ao sistema das imagens do sistema de videomonitoramento – O sistema vai integrar as imagens das câmeras do videomonitoramento dos pontos críticos, permitindo visualizar os níveis dos rios através do aplicativo, através de uma câmera de vigilância com infravermelho.
6. Desenvolvimento do aplicativo de monitoramento para a população de Caraá – O aplicativo possui várias funcionalidades, como por exemplo: O acesso aos níveis dos rios de sua localidade, através de um processo de regionalização que será feita por um geógrafo (que transmitirá o alerta em caso de cheias), e também o acesso a outros rios das localidades do município, para melhor visualização da cidade. Também contém um monitoramento que irá proporcionar ao usuário se o rio vai ou não encher mais, através de estudos probabilísticos que também irão transmitir uma notificação. Os alertas serão sonoros, para em horários propícios às cheias e com pouco acesso, mesmo assim o alerta seja iminente. Será disponibilizado um fácil acesso a uma chamada de emergência, e um chat com defesa civil e outros contatos que o usuário queira adicionar será possível também, para em caso de dúvidas ou situações de emergências.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos serão:

- Medição em tempo real dos níveis dos rios e outras informações;
- Emissão de alertas para as forças de segurança envolvidas em ações de Defesa Civil e para a sociedade do município;

» Criação de um aplicativo para o acesso da população à informação;

» Execução de um projeto de baixo custo.

Conforme o Art. 1º Esta Lei institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil -PNPDEC, dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC, autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres e dá outras providências em seu parágrafo VIII - prevenção: ações de planejamento, de ordenamento territorial e de investimento destinadas a reduzir a vulnerabilidade dos ecossistemas e das populações e a evitar a ocorrência de acidentes ou de desastres ou a minimizar sua intensidade, por meio da identificação, do mapeamento e do monitoramento de riscos e da capacitação da sociedade em atividades de proteção e defesa civil, entre outras estabelecidas pelos órgãos do Sinpdec; (Incluído pela Lei nº 14.750, de 2023), Art. 2º É dever da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios adotar as medidas necessárias à redução dos riscos de acidentes ou desastres. (Redação dada pela Lei nº 14.750, de 2023).

Contudo, o que se vê é que na grande maioria das vezes isso não acontece, devido aos custos elevados. Segundo estudos apresentados pela ONU há pesquisas onde mostra que, a cada 1 dólar investido em prevenção pode economizar até 7 dólares em recuperação. No Brasil, dados do TCU indicam que, nos últimos 10 anos, o governo federal gastou o dobro em resposta a desastres do que em prevenção, o que ressalta a importância de investir mais em ações preventivas. Logo a implementação deste aplicativo virá de encontro com as exigências das Leis Governamentais, gerar economia futura para as entidades governamentais e população em geral, além de proteger vidas.

4. CONCLUSÕES

A prevenção de desastres é de extrema importância para garantir a segurança de comunidades em todo o mundo, com isso, na fase de prevenção deve-se dedicar à criação de ferramentas voltadas à identificação e redução dos riscos e dos possíveis efeitos dos eventos adversos extremos sobre a sociedade, através da eliminação e redução das vulnerabilidades.

Com isso o projeto será de extrema importância para o Município de Caraá por ter rios que cortam diversas localidades, e por ser uma cidade com muitos riscos de alagamentos intensos. Esse monitoramento de baixo custo, juntamente com o aplicativo, irá ter melhoras quanto à preocupação dos habitantes em relação às chuvas, e se tornará acessível ao município para atender o maior número de localidades, beneficiando os órgãos públicos quanto ao cumprimento das Leis Federativas de Prevenção à Desastres.

5. REFERÊNCIAS

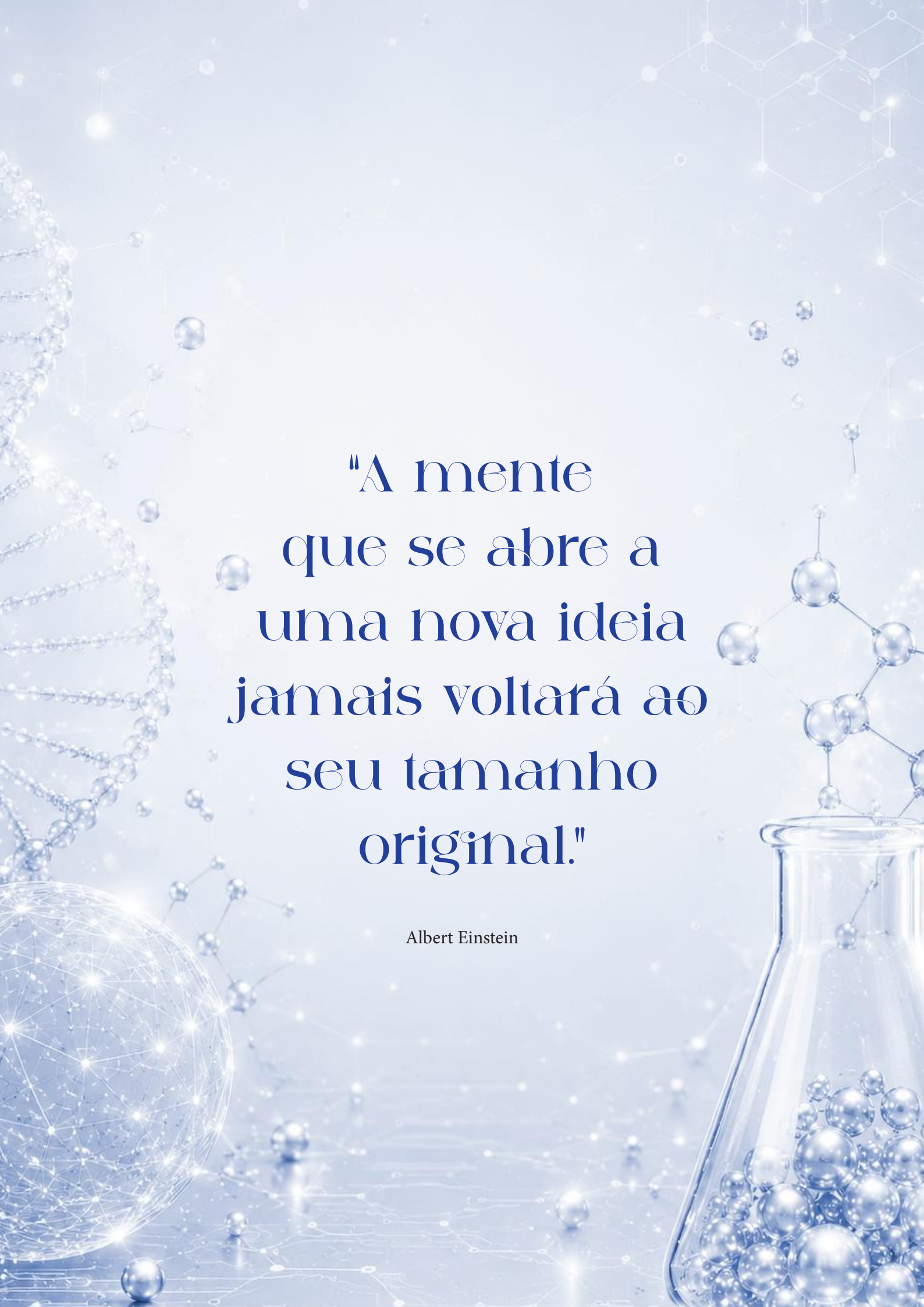
BORGES, ANTÔNIO AUGUSTO, **Gestão de risco: gerenciamento de desastres**: guia para atuação na Defesa Civil Municipal / Antônio Augusto Borges. - 1. ed. - - Santo Antônio da Patrulha, RS : Ed. do Autor, 2023

VERISSIMO. D., B.. **Desenvolvimento de software científico: análise dos fatores e aspectos em um ambiente de pesquisa do Estado de São Paulo.** São Paulo -2018. Acesso em 11 de Junho de 2025

https://revistapesquisa.fapesp.br/dispositivo-emite-em-tempo-real-alertas-contra-en chentes/. Acesso em 18 de Junho de 2025

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm. Acesso em 18 de Junho de 2025

Secretaria de Segurança Pública e Defesa Social e a Universidade Federal de São Carlos https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/protecao-e-defesa-civil/boas-praticas/006_boas_praticas_ eixo_monitoramento_e_alerta/007_boaspraticas_monitoramentoalerta_sistema_monitoramento_niveis_rios_emissao_alertas_sao_carlos_sp.pdf. Acesso em 10 de Junho de 2025



"A mente
que se abre a
uma nova ideia
jamais voltará ao
seu tamanho
original."

Albert Einstein