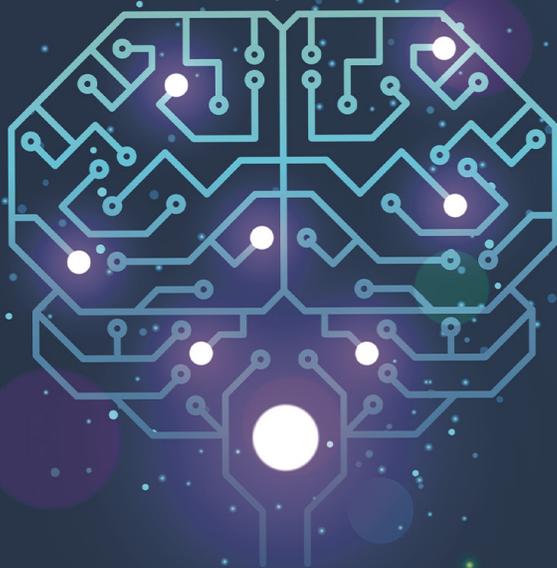


# ENGENHARIAS:

qualidade, produtividade  
e inovação tecnológica 4



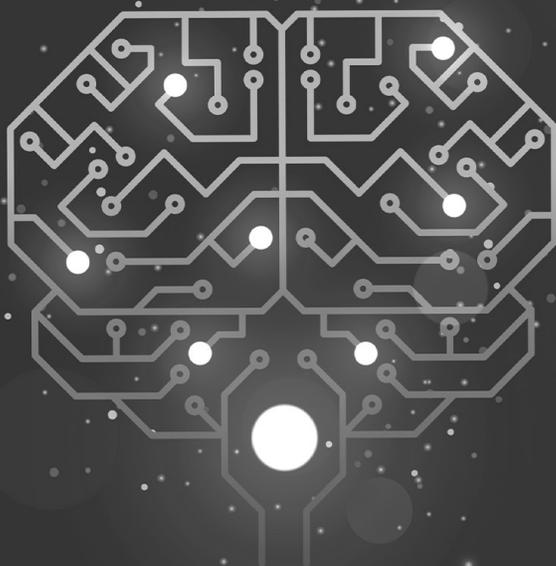
Henrique Ajuz Holzmann  
Géssica Katalyne Bilcati  
(Organizadores)



**Atena**  
Editora  
Ano 2024

# ENGENHARIAS:

qualidade, produtividade  
e inovação tecnológica 4



Henrique Ajuz Holzmann  
Géssica Katalyne Bilcati  
(Organizadores)



**Atena**  
Editora  
Ano 2024

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2024 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2024 Os autores

Copyright da edição © 2024 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



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

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

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

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

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará

Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora

Profª Drª Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Profª Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

**Diagramação:** Ellen Andressa Kubisty  
**Correção:** Maiara Ferreira  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadores:** Henrique Ajuz Holzmann  
 Géssica Katalyne Bilcati

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)</b>	
E57	<p>Engenharias: qualidade, produtividade e inovação tecnológica 4 / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, Géssica Katalyne Bilcati. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2024.</p> <p>Formato: PDF                      Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader                      Modo de acesso: World Wide Web                      Inclui bibliografia                      ISBN 978-65-258-2258-7                      DOI: <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.587241502">https://doi.org/10.22533/at.ed.587241502</a></p> <p>1. Engenharia. 2. Inovação tecnológica. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Bilcati, Géssica Katalyne (Organizadora). III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 620</p>
<b>Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166</b>	

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

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

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

## DECLARAÇÃO DA EDITORA

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

Um dos grandes desafios enfrentados atualmente nos mais diversos ramos do conhecimento, é o do saber multidisciplinar, aliando conceitos de diversas áreas. Hoje exige-se que os profissionais saibam transitar entres os conceitos e práticas, tendo um viés humano e técnico.

Neste cenário destaca-se as engenharias, as quais são um dos principais pilares para o setor empresarial. Analisar os campos de atuação, bem como pontos de inserção e melhoria é de grande importância, buscando desenvolver novos métodos e ferramentas para melhoria contínua de processos.

Estudar temas relacionados a engenharia é de grande importância, pois desta maneira pode-se aprimorar os conceitos e aplicar os mesmos de maneira mais eficaz. Destacam-se os assuntos voltados a engenharia do meio ambiente, apresentando processos de recuperação e reaproveitamento de resíduos e uma melhor aplicação dos recursos disponíveis no ambiente, além do panorama sobre novos métodos de obtenção limpa da energia.

O aumento no interesse se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral. Além disso a busca pela otimização no desenvolvimento de projetos, leva cada vez mais a simulação de processos, buscando uma redução de custos e de tempo.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Henrique Ajuz Holzmann  
Géssica Katalyne Bilcati

<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>1</b>
PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA ANÁLISE AMBIENTAL E RESTAURAÇÃO DE NASCENTE EM AÇAILÂNDIA – MA	
João Manoel de Oliveira	
Dalton Henrique Angelo	
Michael Douglas Roque Lima	
Chaiane Rodrigues Schneider	
Jaqueline Macedo Gomes	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.5872415021">https://doi.org/10.22533/at.ed.5872415021</a>	
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>16</b>
COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA, ESTRUTURAL E POTENCIAL FLORESTAL EM UMA ÁREA DE FLORESTA NA AMAZÔNIA MERIDIONAL	
Jociane Rosseto de Oliveira Silva	
Ivan Cleiton de Oliveira Silva	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.5872415022">https://doi.org/10.22533/at.ed.5872415022</a>	
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>25</b>
O CONTROLE DO DESMATAMENTO DA AMAZÔNIA NA REGIÃO DE SÃO FÉLIX DO XINGU E SEUS DESAFIOS DIANTE DA REALIDADE FUNDIÁRIA DO ESTADO DO PARÁ	
Isabela Loiane Carvalho Teixeira	
Ana Caroline da Silva Martins	
Adilane de Sousa Barbosa	
Fabiola Layse dos Anjos Costa	
Giulyana Isabele Silva Tavares	
Otoniel Monteiro Da Costa Neto	
Raimara Reis do Rosário	
Rita do Socorro Faro Valença	
José Ricardo Silva Barros	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.5872415023">https://doi.org/10.22533/at.ed.5872415023</a>	
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>35</b>
DESAFIOS LOGÍSTICOS PARA EXPORTAÇÃO DE SOJA E MILHO: ESTUDO DE CASO EM UMA GRANDE EMPRESA DO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO	
Lucas Ribeiro Corrêa	
Clarissa Fullin Barco de Camargo	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.5872415024">https://doi.org/10.22533/at.ed.5872415024</a>	
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>48</b>
APLICAÇÃO DO FMEA: ESTUDO DE CASO VOLTADO PARA ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DO SISTEMA LOGÍSTICO DE TRANSPORTE EM UMA EMPRESA DE RECICLÁVEIS	
Danilo de Oliveira Santos Costa	
Allan Teixeira dos Santos	
Bianca Mirelle Barbosa de Santana	
Carla Monique dos Santos Cavalcanti	

Cleiton Paulo da Silva Junior  
 Emerson José dos Prazeres Souza  
 Ênya Rauanne da Silva Santos  
 Fagnner Rodrigues de Melo  
 Marcos André Moura Jordão Emerenciano  
 Marcos Antônio dos Santos Silva Filho  
 Marcos Polo de Carvalho Silva  
 Sérgio Augusto de Arruda Santiago

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5872415025>

**CAPÍTULO 6 .....64**

**ESTUDO DE FILAS EM UMA UNIDADE DE SAÚDE UTILIZANDO *SOFTWARE* DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL ARENA**

Adrian Gustavo dos Santos Fernandes  
 Carolina Garcia  
 Claudilaine Caldas de Oliveira  
 Luciano Admir Assunção Leite  
 Marcela Vitória Dantas  
 Márcia de Fátima Morais  
 Rony Peterson da Rocha  
 Vinicius Gustavo da Cruz

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5872415026>

**CAPÍTULO 7 .....77**

**ABORDAGEM PARA APRENDIZADO DO SIMULADOR GEM5 PARA PESQUISADORES INICIANTES**

Pedro Corrêa Rigotto  
 Henrique Cota de Freitas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5872415027>

**CAPÍTULO 8 .....85**

**UM DISPOSITIVO DE BIOMETRIA PARA A SEGURANÇA RESIDENCIAL**

Vicente Brito Soares  
 Aline Z. Lunkes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5872415028>

**CAPÍTULO 9 .....96**

**DIMENSIONAMENTO DE HIDROELÉTRICAS E SELEÇÃO DE TURBINAS: UM ESTUDO DE CASO**

Braulison Felizardo Viana  
 Fabio Seabra Puglia  
 Victor Melo Azevedo  
 David Coverdale Rangel Velasco

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5872415029>

**CAPÍTULO 10..... 115**

ESTUDO DA VIABILIDADE DE AUMENTAR A EFICIÊNCIA DE COLETORES SOLARES TÉRMICOS COMO FORMA DE DIVERSIFICAR A MATRIZ ENERGÉTICA PELA PRODUÇÃO DE SUPERFÍCIES SELETIVAS DE ALTA EFICIENCIA

Luiz Carlos de Lima

Guilherme Fialho Moreira

Gevanir Patricio de Oliveira Junior

Rafael dos Santos Cruz Paula

Renata Antoun Simão

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.58724150210>

**SOBRE OS ORGANIZADORES ..... 124****ÍNDICE REMISSIVO ..... 125**

## PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA ANÁLISE AMBIENTAL E RESTAURAÇÃO DE NASCENTE EM AÇAILÂNDIA – MA

*Data de aceite: 01/02/2024*

### **João Manoel de Oliveira**

Universidade Estadual da Região  
Tocantina do Maranhão (UEMASUL)  
Departamento de Engenharia Florestal  
Imperatriz – Maranhão

### **Dalton Henrique Angelo**

Universidade Estadual do Centro-Oeste  
(UNICENTRO)  
Departamento de Engenharia Florestal  
Imperatriz – Maranhão  
lattes.cnpq.br/1110415022028049

### **Michael Douglas Roque Lima**

Universidade Estadual da Região  
Tocantina do Maranhão (UEMASUL)  
Departamento de Engenharia Florestal  
Imperatriz – Maranhão  
lattes.cnpq.br/6994462798126546

### **Chaiane Rodrigues Schneider**

Universidade Estadual da Região  
Tocantina do Maranhão (UEMASUL)  
Departamento de Engenharia Florestal  
Imperatriz – Maranhão  
lattes.cnpq.br/3881973396953626

### **Jaqueline Macedo Gomes**

Universidade Estadual da Região  
Tocantina do Maranhão (UEMASUL)  
Departamento de Engenharia Florestal  
Imperatriz – Maranhão  
lattes.cnpq.br/6999782343980504

**RESUMO:** As nascentes determinam a origem de bacias hidrográficas e sua composição. São consideradas áreas de preservação permanente em que a vegetação nativa presente no entorno, como matas ciliares e de galeria, promovem a estabilidade do solo, o controle da vazão e preservam o ecossistema aquático. O objetivo da presente pesquisa foi analisar a intensidade dos impactos ambientais na Nascente Glória, no Parque Ambiental de Açailândia – MA, como base para uma proposta de análise e restauração ecológica, por meio do diagnóstico das condições e impactos e dos parâmetros macroscópicos, em forma de *checklist*. Para o levantamento de informações foram realizadas vistorias para observação dos parâmetros macroscópicos, classificando-a quanto ao seu nível de preservação (preservada, perturbada e degradada), e quanto às interferências (diretas ou indiretas) pontuando os cenários obtidos. Os resultados evidenciaram uma nascente perturbada, pelo raio de mata ciliar ser menor que 50 m, estar em processo de fragmentação e, conseqüentemente, com princípio de erosão do solo e presença de herbáceas e arbóreas exóticas de caráter invasor. A proposta de restauração

ecológica envolve metodologia via plantio de mudas nativas, de acordo com a fitofisionomia de mata ciliar local, o isolamento dos fatores antrópicos de degradação, a conscientização da população local, e recomenda um monitoramento mínimo de cinco anos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Diagnóstico ambiental; Restauração Ecológica; Área de Preservação Permanente; Nordeste Brasileiro.

## METHODOLOGY PROPOSAL FOR ENVIRONMENTAL ANALYSIS AND RESTORATION OF SPRINGS IN AÇAILÂNDIA – MA

**ABSTRACT:** Springs determine the origin of river basins and their composition. Permanent preservation areas are considered in which the native vegetation present in the surroundings, such as riparian and gallery forests, promote soil stability, flow control and preserve the aquatic ecosystem. The objective of this research was to analyze the intensity of environmental impacts in Nascente Glória, in the Açailândia Environmental Park – MA, as a basis for a proposal for ecological analysis and restoration, through the diagnosis of conditions and impacts and macroscopic parameters, in the form checklist. To collect information, inspections were carried out to observe macroscopic parameters, classifying it according to its level of preservation (preserved, disturbed and degraded), and regarding interferences (direct or indirect) scoring the scenarios obtained. The results showed a disturbed spring, due to the radius of the riparian forest being less than 50 m, being in the process of fragmentation and, consequently, with the beginning of soil erosion and the presence of herbaceous and exotic trees of an invasive nature. The ecological restoration proposal involves a methodology involving the planting of native seedlings, in accordance with the phytophysiology of the local riparian forest, the isolation of anthropogenic factors of degradation, the awareness of the local population, and recommends a minimum monitoring period of five years..

**KEYWORDS:** Environmental diagnosis; Ecological Restoration; Permanent preservation area; Brazilian Northeast.

## INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas constituem nascentes e corpos hídricos que emergem da superfície formando cursos que abastecem o centro dos continentes, permitem seu fluxo natural e constante na região. Este fluxo é definido como uma descarga natural de água suficientemente grande para fluir em pequeno curso de água ou que pode dar origem a uma fonte de acúmulo em forma de represa ou regatos, ribeirões e rios (PEREIRA *et al.*, 2011).

Os corpos hídricos são envoltos de matas ciliares, componentes fundamentais para perpetuação de sua estrutura horizontal e vertical, por manter a composição do solo e protegê-lo da erosão, permitir a manutenção dos ecossistemas com a dispersão vegetal e a circulação da fauna. De acordo com a Lei de proteção da Vegetação Nativa N° 12.651 de 2012, são classificadas como área de preservação permanente, que deve ser restaurada quando ocorrer qualquer forma de degradação, especialmente para manter as devidas

funções (ALVARENGA; BOTELHO; PEREIRA, 2006; BRASIL, 2012). Simultaneamente à Política Nacional de Recursos Hídricos (1997), colabora para assegurar à atual e futuras gerações a necessária disponibilidade de água em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos, bem como a sua utilização racional.

Esta necessidade de proteção vem ao encontro do processo histórico de urbanização presente em todos os ecossistemas, cujas nascentes e demais corpos hídricos foram inseridos no meio urbano. Na atualidade estão associadas à proporcionar experiência de vida aos habitantes, como funções pedagógicas e paisagísticas, além dos bens e serviços para sustentabilidade do ecossistema urbano (DROSOU *et al.*, 2019; KOZAK *et al.*, 2020). Porém, nota-se que parte destes recursos foram manejados sem planejamento, suprimidos, exauridos ou então degradados, e como agravante às mudanças climáticas, são mais comuns a falta de abastecimento de água em cidades e no meio rural, com prejuízos a qualidade de vida, a produção econômica e a segurança alimentar.

Uma área degradada se caracteriza de solos empobrecidos e erodidos, que apresentam instabilidade hidrológica, produtividade primária e diversidade biológica reduzida. Portanto, considera-se área degradada toda aquela que sofreu alteração na sua dinâmica e que não consegue recuperar-se naturalmente (PARROTA, 1992; ARAÚJO; ALMEIDA; GUERRA, 2007). Como exemplo de comum degradação, a supressão da mata ciliar provoca efeitos indesejáveis na sua dinâmica, como a diminuição da infiltração e aumento do escoamento superficial (PEREIRA *et al.*, 2011), efeitos negativos às bacias e nascentes bem como mudanças em cursos de água, ocupações irregulares e despejo de resíduos diversos.

A Portaria SEMANº 27 DE 29/04/2021 do estado do Maranhão (MARANHÃO, 2021a), considera este mesmo conceito, e orienta sobre a necessidade de realizar um Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) com base metodológica de restauração ecológica compatível com o diagnóstico ambiental da área. Na prática, o diagnóstico das áreas degradadas no estado não tem sido descritos apropriadamente, e as metodologias de restauração não estão associadas aos fatores de degradação observados.

Para propor uma metodologia de restauração, é necessário mensurar detalhadamente os impactos ambientais, identificando as interferências causadoras dos impactos, e o grau de preservação da vegetação ao entorno da nascente (GOMES; MELO; VALE, 2005; PINTO *et al.*, 2004), para então definir as metodologias de restauração a serem aplicadas. Em especial, os ambientes ciliares, pois são consideradas áreas prioritárias para conservação da biodiversidade e dos bens e serviços atrelados a sua preservação (BOTELHO; DAVIDE, 2002; EMER *et al.*, 2011; BRANCALION *et al.*, 2013).

A Nascente Glória localizada no Parque Ambiental de Açailândia, foi declarada de utilidade pública (MARANHÃO, 2021b), e aparentemente existem atividades antrópicas aparentes que não seguem os padrões de proteção ambiental. Neste sentido, este estudo tem por finalidade avaliar a intensidade dos impactos ambientais na Nascente Glória de Açailândia – MA, e embasar a elaboração de um projeto restauração ecológica.

## METODOLOGIA

### Área de Estudo

O estudo foi desenvolvido na nascente Glória, que está situada no Parque Ambiental de Açailândia (4°57'27,5"S 47°29'04.3"W) (Figura 1).

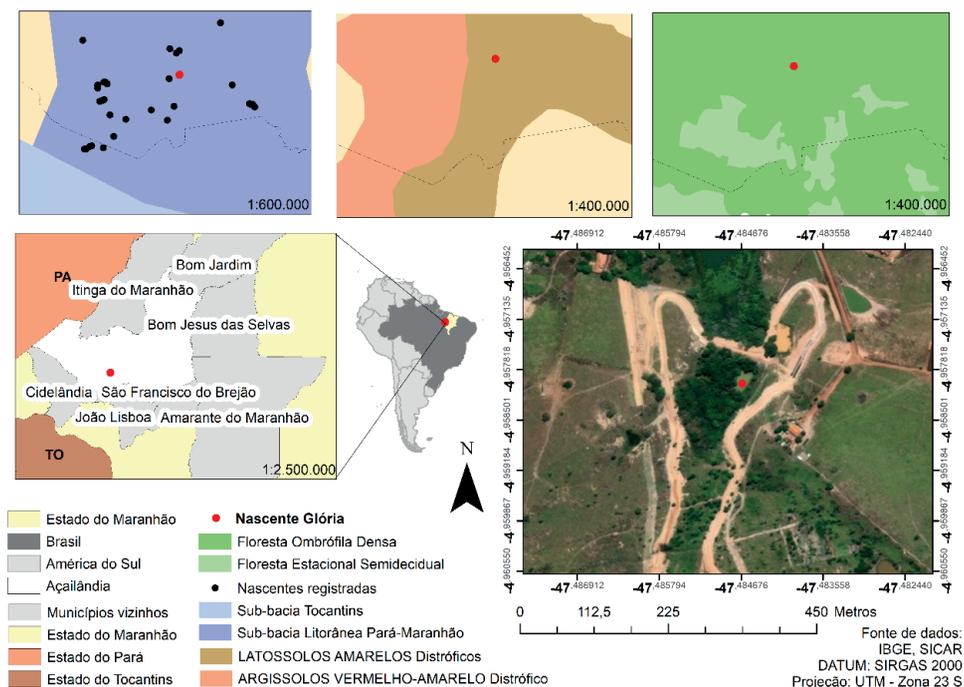


Figura 1 – Mapa da localização da Nascente Glória do Parque Ambiental de Açailândia – MA.

A nascente está localizada na bacia do Tocantins-Araguaia e alimenta o Córrego Esperança, que deságua no Riacho Açailândia, importante para o abastecimento de água na cidade considerada área de proteção ambiental (MARANHÃO, 2021b). Trata-se de uma área de ecótono, entre os biomas Amazônia e Cerrado (SANTOS; NUNES, 2018). Os solos da região de Açailândia são classificados como LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico típico (ARAÚJO; DIAS; CATUNDA, 2019).

O clima típico da região é tropical úmido (Aw), com um inverno seco e período chuvoso de novembro a maio, seguido de um período seco, de junho a outubro, com uma precipitação média anual de 1536 mm e temperatura média anual de 25,9° C, com a maior precipitação, ocorrendo em março (ALVARES *et al.*, 2013).

## Diagnóstico ambiental

Para a determinação do grau de preservação da nascente, foi utilizada a metodologia de Pinto *et al.* (2004), classificada em 3 categorias:

- Preservada: Vegetação natural de entorno ocupando raio de 50 m ou mais.
- Perturbada: Vegetação natural de entorno ocupando raio menor que 50 m, mas em bom estado de preservação, mesmo que ocupada por construções ou usada para cultivo.
- Degradada: Alto de grau de perturbação, ocupada por pastagens, sinais de compactação, presença de gado e outros animais de criação, erosões, voçorocas etc.

A metodologia de Gomes; Melo e Vale (2005) foi utilizada para identificar os principais parâmetros que afetam as condições ecológicas da nascente, como as interferências diretas, que podem ser observadas na água e afetam sua composição química (esgoto, óleos, resíduos etc.), e as interferências indiretas, relacionadas à estrutura do ecossistema, sua proteção e agentes externos (vegetação, proteção e ações antrópicas na área).

Cada parâmetro recebeu pontuação de 1 a 3, onde 1 ponto indica o pior cenário de conservação; 2 pontos indicam cenário mediano, apenas com marcas de interferência, e 3 pontos indicam cenário ideal de conservação da área. Assim, o impacto foi classificado quanto ao somatório dos pontos da observação dos parâmetros macroscópicos: Classe A (ótima), com pontuação entre 37 e 39; Classe B (boa), com pontuação entre 34 e 36; Classe C (razoável), com pontuação entre 31 e 33; Classe D (ruim), com pontuação entre 28 e 30; e, Classe E (péssima), com pontuação inferior a 28 pontos.

## Proposta de restauração ecológica

A proposta de restauração ecológica foi desenvolvida a partir do diagnóstico realizado, com uso das metodologias propostas e apresentadas por Brancalion, Gandolfi e Rodrigues (2015). Simultaneamente, foram observadas as orientações descritas na Portaria SEMA Nº 27 DE 29/04/2021 e na Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei Nº 12.651/2012).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Diagnóstico ambiental da Nascente

A nascente Glória foi considerada uma nascente perene, caracterizada por um relevo declivoso ao entorno com atenuação de cota topográfica formando uma lagoa com aspecto brejoso. De acordo com a metodologia empregada (PINTO *et al.*, 2004), embora tenham sido observada cobertura arbórea, a vegetação ciliar da nascente não apresenta

os 50 m de raio, estando inferior ao recomendado na Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei Nº 12.651/2012) (BRASIL, 2012).

Além disso, sua vegetação natural foi afetada pela construção de um corredor asfaltado para transeuntes e demais aberturas formadas pelas herbáceas exóticas que competem com a regeneração natural, caracterizando o histórico de uso do solo da área antes da desapropriação. Considerando o raio proposto na legislação vigente, a área de mata ciliar preservada deveria ser de 7.850 m<sup>2</sup>, no entanto apresenta 5.230 m<sup>2</sup> a recompor intensivamente. Portanto, a nascente pode ser considerada, de acordo com a pontuação como perturbada.

Com a classificação de impactos proposta por Gomes; Melo e Vale, 2005 (2005), a APP se encontra na classe de preservação ruim (classe D), com total de 29 pontos para os parâmetros macroscópicos observados (Quadro 1).

Parâmetros macroscópicos	Pontuação					
	1		2		3	
Interferência Direta						
Coloração	Escura	1	Clara	0	Incolor	0
Odor	Forte	0	Fraco	0	Ausente	3
Material Flutuante	Muito	0	Pouco	0	Ausente	3
Espuma	Muita	0	Pouca	0	Ausente	3
Óleo	Muito	0	Pouco	0	Ausente	3
Esgoto Doméstico	Presente	0	Superficial	0	Ausente	3
Sub Total	1		0		15	
Interferência Indireta						
Resíduos Sólidos	Muito	0	Pouco	2	Ausente	0
Degradação	Alta	1	Baixa	0	Preservada	0
Uso por animais	Presentes	0	Rastros	0	Ausentes	3
Uso antrópico	Presentes	1	Rastros	0	Ausentes	0
Proteção do local	Ausente	0	Presente c/ acesso	2	Presente s/ acesso	0
Construções	< 50 m	1	50 a 100 m	0	> 100 m	0
Tipo de área	Irregular	0	Privada	0	Pública	3
Sub Total	3		4		6	
Total	4		4		21	
29						

Quadro 1. Parâmetros macroscópicos para diagnóstico ambiental de nascentes.

Fonte: Adaptado de Gomes; Melo e Vale (2005) e Kuntz e Adami (2017).

Percebe-se que a intensidade de impactos ambientais incidentes diretos é menor do que às interferências indiretas observadas, ao considerar as pontuações menos interessantes à mata ciliar (1 e 2), pois não há presença de esgoto doméstico, espuma ou óleos, além de não apresentar odor característico. Porém, as características de brejo no local, e a deposição de sedimentos e matéria orgânica oriundos de serrapilheira e horizonte A do solo, transportado pela água superficial, dão à água um tom escuro em sua superfície, e caracteriza o início de erosão. Tais observações são identificadas próximas ao olho da água e demais pontos desprovidos de vegetação, evidência de que a coloração da água é oriunda de impactos indiretos.

Quanto aos impactos indiretos, não encontramos presença e indícios de uso da área por animais domésticos ou exóticos, como dessedentação, sendo encontradas marcas de uso antrópico passado, como uso alternativo do solo para pastagem. Mas as construções dentro da área de APP caracterizam uso antrópico, que somado a carência e degradação de mata ciliar sem proteção figuram como maiores responsáveis indiretos aliados a deposição de pequena quantidade de resíduos sólidos, como toras e proteção do local com obras defeituosas, sendo complementadas por espécies herbáceas e arbóreas exóticas não mencionadas na metodologia de diagnóstico (Figura 2).

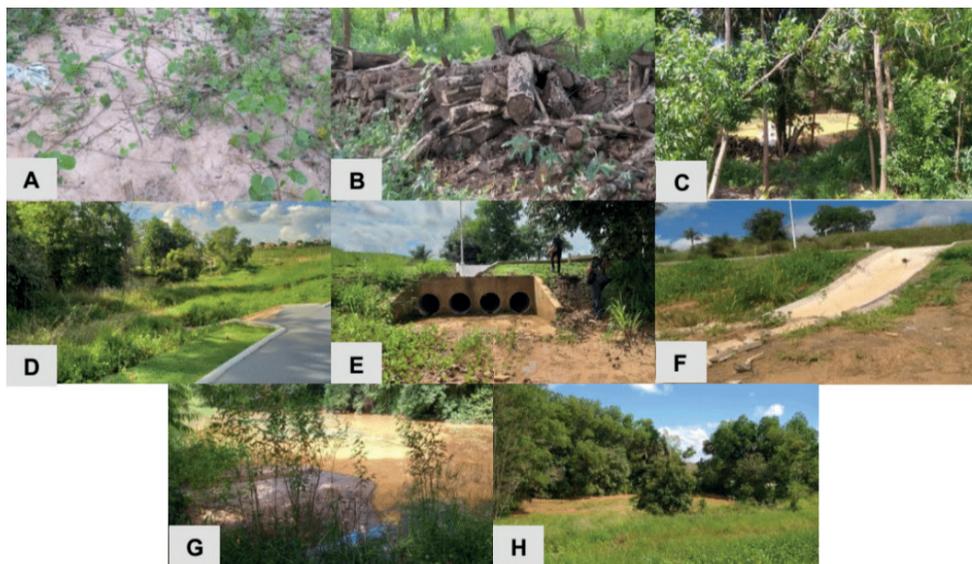


Figura 2. Fotografias obtidas na realização do diagnóstico da Nascente Glória, Açailândia – MA. **A-** vegetação pioneira; **B-** toras empilhadas à margem; **C-** presença de *Acacia mangium*; **D-** corredor asfaltado; **E-** construção de bueiros e sedimentação; **F-** obras deficientes **G-** coloração da água e sedimentação; **H-** presença de herbácea exótica invasora.

Fica evidente, portanto, a necessidade de incluir no diagnóstico a presença ou ausência de espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas exóticas que podem alterar a o grau/intensidade de preservação da mata ciliar avaliada devido a alteração na pontuação final. Deste modo, possivelmente corrobora para outra classificação da área, que pode se enquadrar em “péssimo” grau de preservação.

Pode-se mencionar como exemplo, *Acacia mangium* Willd., *Mangifera indica* L., *Tabebuia rosea* (Bertol.) Bertero ex A.DC., *Azadirachta indica* A. Juss, *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. são espécies exóticas, frequentemente associadas à diminuição da riqueza de espécies nativas, pela inibição do estabelecimento de suas plântulas através da competição, levando a redução do número de espécies e abundância (BLUM; BORGIO; SAMPAIO, 2008; SILVA, 2016; SANTOS; FABRICANTE, 2020). São muito comuns na arborização urbana, e ocasionam invasões biológicas, nas matas ciliares urbanas, e muitas vezes, via dispersão hídrica e anemocórica, e contaminam outros ambientes ciliares, ameaçando a biodiversidade dos ecossistemas.

## Restauração

### *Procedimentos para restauração ecológica*

Ao considerar os principais impactos observados no diagnóstico ambiental, como a coloração escura da área em decorrência da erosão superficial, além da elevada degradação da área, presença de resíduos sólidos, construções, o acesso e uso antrópico, e a presença de espécies exóticas, foram delineados os procedimentos de restauração ecológica para a Nascente Glória.

Desta forma, três focos principais devem ser listados como ação imediata para restauração ecológica da Nascente Glória: plantio de preenchimento e enriquecimento, proporcionar abrigo e alimento para a fauna, e a conscientização da população local quanto à preservação das matas ciliares. Entre as ações posteriores, menciona-se conectar a nascente com outros remanescentes próximos, a fim de proporcionar o fluxo gênico das espécies.

### *Plantio de preenchimento e enriquecimento*

As matas ciliares devem ser restauradas com uso de espécies nativas considerando os estágios de sucessão ecológica, seja por meio de plantio de mudas e/ou semeadura direta (BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES, 2015).

Por se tratar de uma Unidade de Conservação (UC), simultaneamente à uma Área de Preservação Permanente (APP), a escolha correta das espécies nativas a serem plantadas é essencial para o sucesso da restauração. A escolha das espécies não deve apenas estar vinculada à sua fitogeografia, mas também pelas suas características de estágio sucessional (pioneiras, secundárias, clímax), enquadrando-as em plantios de preenchimento e enriquecimento (Quadro 2).

Família	Nome científico	ES	PL	CA	SD
Anacardiaceae	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott	PI	P	NE	ANE
	<i>Anacardium giganteum</i> W.Hancock ex Engl.	PI	P	LC	ZOO
Annonaceae	<i>Guatteria sellowiana</i> Schldt.	SI	P	LC	ZOO
Araliaceae	<i>Didymopanax macrocarpus</i> (Cham. & Schldt.) Seem.	PI	P	NE	ZOO
Arecaceae	<i>Euterpe oleraceae</i> Mart.	CL	E	NE	ZOO
	<i>Oenocarpus bacaba</i> Mart.	CL	E	NE	ZOO
	<i>Mauritia flexuosa</i> L.f.	CL	E	NE	AUT
Bignoniaceae	<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vhal.) G.Nichols.	CL	E	NE	ANE
	<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	SI	P	NE	ANE
	<i>Jacaranda praetermissa</i> Sandwith	SI	P	LC	ANE
	<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore	SI	P	NE	ANE
Caesalpiniaceae	<i>Schizolobium parahyba var. amazonicum</i> (H.ex D.) Barneby	PI	P	NE	ANE
Clusiaceae	<i>Platonia insignis</i> Mart.	SI	P	NE	ZOO
Fabaceae	<i>Andira cujabensis</i> Benth.	CL	E	NE	ZOO
	<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg.	SI	P	NE	AUT
	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F.Macbr.	CL	E	VU	ANE
	<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	PI	P	NE	ZOO
	<i>Hymenaea stignocarpa</i> Mart. ex Hayne	SI	P	NE	ZOO
	<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	PI	P	NE	AUT
	<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	PI	P	NT	ZOO
	<i>Dipteryx alata</i> Vogel	SI	P	LC	ZOO
	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	SI	P	NE	AUT
	<i>Enterolobium gummiferum</i> (Mart.) J.F.Macbr.	SI	P	LC	AUT
	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	PI	P	LC	ZOO
	<i>Inga edulis</i> Mart.	PI	P	NE	ZOO
	<i>Inga nobilis</i> Willd.	PI	P	NE	ZOO
	<i>Inga vera</i> Willd.	PI	P	NE	ZOO
	<i>Ormosia arborea</i> (Vell.) Harms	PI	P	LC	AUT
	<i>Plathymeria reticulata</i> Benth.	PI	P	LC	ANE
	<i>Pterodon emarginatus</i> Vogel	PI	P	NE	ANE
	<i>Parkia platycephala</i> Benth.	PI	P	LC	ANE
Lamiaceae	<i>Vitex polygama</i> Cham.	PI	P	NE	ANE
Lauraceae	<i>Dicypellium caryophyllaceum</i> (Mart.) Nees	CL	E	CR	ZOO
	<i>Ocotea aciphylla</i> (Nees & Mart.) Mez	ST	E	NT	ZOO
Lecythidaceae	<i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl.	SI	E	VU	AUT
	<i>Cariniana estrellensis</i> (Raddi) Kuntze	PI	P	NE	AUT
Magnoliaceae	<i>Talauma ovata</i> A. St. Hil.	CL	E	VU	ZOO
Malpighiaceae	<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	PI	P	NE	ZOO

Família	Nome científico	ES	PL	CA	SD
Malvaceae	<i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna	PI	P	NE	ANE
Meliaceae	<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	CL	E	EN	ZOO
Myrtaceae	<i>Eugenia dysentica</i> (Mart.) DC.	CL	E	NE	AUT
Rutaceae	<i>Pilocarpus microphyllus</i> Stapf ex Wardlew.	CL	E	VU	ZOO
	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	PI	P	NE	ZOO
Salicaceae	<i>Casearia grandiflora</i> Cambess.	PI	P	NE	ZOO
Sapotaceae	<i>Manikara elata</i> (Allemão ex Miq.) Monach.	SI	P	NE	ANE
Urticaceae	<i>Cecropia pachystachya</i> Trecúl	PI	P	NE	ZOO
Vochysiaceae	<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	PI	p	NE	ZOO

Quadro 2. Espécies passíveis de plantio de restauração ecológica da nascente. ES-estágio de sucessão; PI-pioneira; SI-secundária inicial; ST-secundária tardia; CL-clímax. PL-plantio; P-preenchimento; E-enriquecimento. CA-categorias de ameaça; LC- menos preocupante; NT-quase ameaçada; VU-vulnerável; CR-criticamente em perigo; EN-em perigo; NE-não avaliado. SD-síndrome de dispersão; ANE-anemocórica; ZOO-zoocórica; AUT-autocórica.

Fonte: REFLORA (2020), MMA (2022).

As espécies mais tolerantes à sombra (espécies de enriquecimento), são recomendadas para plantio dentro da vegetação remanescente, enquanto as pioneiras e secundárias mais tolerantes à luz/radiação, são recomendadas para reconstituir a vegetação ausente. Será considerada a área total de 7.850 m<sup>2</sup>, sendo 5.230 m<sup>2</sup> de área para plantio de preenchimento e o restante para enriquecimento.

Se considerar a legislação vigente do Maranhão, o projeto inclui o plantio de no mínimo 35% de espécies nativas regionais enquadradas em alguma das categorias de ameaça (União Internacional para a Conservação da Natureza - IUCN), bem como mínimo 45% (quarenta e cinco por cento) de espécies zoocóricas para a atrair a fauna. Neste sentido, as espécies descritas no Quadro 2, somam 36% de espécies em alguma categoria de ameaça e 51% de espécies zoocóricas.

Entretanto, deve-se ter consciência que a disponibilidade de viveiros com produção de mudas nativas ainda é bastante incipiente em todo o Brasil, e que os percentuais de espécies a serem plantados de acordo com a legislação são basicamente impraticáveis atualmente. Oportunamente, a ciência tem desenvolvido estudos voltados a restauração ecológica, uma vez que as principais dificuldades estão em vencer a predominante presença de espécies exóticas invasoras. Dificuldades estas, cujas espécies com características estágios sucessionais mais avançados não conseguem superar (SCHNEIDER, 2023). Portanto, a dinâmica de uso do percentual de espécies a serem utilizadas, de acordo com a legislação do Maranhão, permite trabalhar com uma diversidade menor de espécies, desde que atenda o percentual desejado.

Além da necessidade de aptidão na região, consideram-se práticas silviculturais básicas (RODRIGUES; GANDOLFI, 2000; SCHNEIDER, 2023). Tais práticas silviculturais

estão previstas na legislação, com monitoramento até os 36 meses de idade. No entanto, ressalta-se que o combate de espécies exóticas invasoras são mais efetivos sob maior tempo de aplicação e intensidade das práticas silviculturais e do monitoramento (SCHNEIDER, 2023). Por esta razão, e por se tratar de uma área urbana, sob constante pressão antrópica, entende-se a necessidade de vincular um período maior de monitoramento e práticas silviculturais, sendo de 60 meses (Quadro 3).

Atividade	Finalidade	Descrição	
1	Roçada seletiva e coroamento	Controle de plantas infetantes e exóticas	Limpeza de plantas que venham a competir por nutrientes com as espécies nativas provenientes do processo da regeneração natural e/ou do plantio. Remoção de espécies exóticas arbóreas presentes. Quando arbórea de grande porte, efetuar anelamento.
2	Demarcação de covas	Espaçamento	Arranjo de 2 x 2 m em locais abertos (espécies de preenchimento) e 3 x 3 m em locais com vegetação estabelecida (espécies de enriquecimento) (MOREIRA <i>et al.</i> 2019).
3	Abertura de covas	Berço para plantio	Covas com 30 cm de profundidade e 25 cm de largura.
4	Correção do solo	Acidez do solo	Correção do pH do solo com aplicação de 200 g de calcário por cova. Dependendo da análise prévia do solo, caso haja necessidade.
5	Adubação	Adubação de base	Será usado o adubo de formulação 4-14-8 + micronutrientes, aplicando uma dose de 150 g/cova.
6	Coroamento	Controle de plantas infetantes	Capina manual com raio de 50 cm para remover ou controlar a vegetação no entorno da regeneração natural e/ou do plantio.
7	Irrigação	Uso do hidrogel	Aumenta a absorção de nutrientes pelas raízes, principalmente água, aumentando o rendimento do uso de água. 10 g/cova.
8	Plantio	Qualidade das mudas	Mudas produzidas em tubetes ou sacos plásticos, rustificadas, plantio manual.
9	Tutoramento	Inclinação do caule e quebra	Uso de piquetes de 60 cm para guiar o crescimento das mudas e identificar o local de plantio para futuras práticas silviculturais.
10	Semeadura direta	Locais de difícil acesso	Uso de sementes a lanço de espécies propícias a locais úmidos de difícil acesso (açai, buriti e bacaba), compreendendo os 2 a 3 m de vegetação do corpo hídrico.
11	Práticas silviculturais e metodologias adicionais	6 meses	Monitoramento de sobrevivência e replantio, se necessário; Com uso da técnica de nucleação, recondicionar as toras empilhadas na forma de leiras (enleiramento de galharia) com a finalidade de proporcionar refúgios atraentes para a fauna.
		12 meses	Monitoramento de sobrevivência, coroamento e remoção de regeneração de arbóreas exóticas.
		18 meses	Coroamento.
		24 meses	Monitoramento florístico, coroamento e remoção de regeneração de arbóreas exóticas.
		36 meses	Monitoramento florístico e coroamento.
		48 meses	Monitoramento florístico e coroamento.
		60 meses	Monitoramento florístico e fitossociológico.

Atividade	Finalidade	Descrição
12 Prospecção futura	Conectividade	Promover a conexão com remanescentes vizinhos; Construção de corredores ecológicos.
	Conscientização ambiental	Todas as atividades podem ser realizadas junto à comunidade. Promover oficinas com escolas e famílias de bairros próximos continuamente, em vista de criar identidade e cuidado com a Nascente Glória.

Quadro 3. Procedimentos para restauração ecológica da Nascente Glória, Açailândia – MA.

Fonte: Autor (2023), modificado de Almeida (2016).

O plantio de espécies de preenchimento em áreas com elevada luminosidade e desprovidas de vegetação, e de espécies de enriquecimento nas áreas sombreadas, irá proporcionar maior densidade de indivíduos para superar a presença de espécies exóticas invasoras, junto à maior diversidade de espécies e controle da erosão do solo (SANTANA *et al.*, 2022). O plantio deve ser realizado em dezembro, quando evapotranspiração potencial e real do solo se igualam devido a precipitação que se inicia gradualmente em outubro. Adicionalmente, as práticas silviculturais serão realizadas de forma manual e semimecanizada, sem uso de capina química, por ser tratar de proteção do recurso hídrico.

As toras podem ser usadas no método de transposição/enleiramento de galharia, formando aglomerados atrativos a fauna que podem servir como local de repouso, nidificação e alimentação de animais silvestres (BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES, 2015). Por fim, na implantação, pode-se realizar semeadura a lanço em áreas úmidas, compreendendo os dois primeiros metros de raio a partir do corpo hídrico. A semeadura direta ou na forma de muvucas, tem um bom resultado em áreas degradadas de difícil acesso e que apresentam um terreno declivoso, visando o fechamento rápido por espécies (BARNETT; BAKER, 1991).

A legislação do estado não menciona monitoramento específico. A instrução normativa do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) N° 11/2014 (ICMBio, 2014), propõe que a avaliação da restauração seja realizada em até quatro anos após a implantação do projeto, e pode ser prorrogado por igual período caso o cronograma previsto ou o objetivo ultrapasse esse prazo. Recomenda-se, portanto, o monitoramento durante 5 anos, com a mensuração de mortalidade e crescimento, e aplicação das práticas silviculturais da restauração (controle de plantas invasoras, adubações e replantios).

Nos monitoramentos, ressalta-se a importância do relatório florístico com uso de índices para aferir melhorias da composição florística, comparativamente a outros remanescentes locais para a fitofisionomia presente. São comumente mencionados os índice de diversidade, como o de Shannon-Weaver, e o índice de igualdade de Pielou, amplamente utilizados para entender a dinâmica de riqueza de espécies das formações florestais (SOUZA *et al.*, 2002). Deve-se no entanto, considerar uma análise distinta dos índices para cada forma de vida (arbórea e arbustiva), em vista de não superestimar ou subestimar a diversidade existente (SCHNEIDER, 2023).

## CONCLUSÃO

A Nascente Glória, do Parque Ambiental de Açailândia - MA, foi classificada como perturbada, não apresentando contaminação do corpo hídrico, no entanto, demonstra um raio de mata ciliar ser menor que 50 m, fragmentação e princípio de erosão do solo com presença de herbáceas e arbóreas exóticas de caráter invasor.

Evidencia-se que o projeto do parque não foi capaz de atender aos critérios de preservação previstos na Lei de Proteção da Vegetação Nativa Nº 12.651 de 2012, e entende-se necessário aplicar metodologias de restauração ecológica via plantio de mudas nativas, de acordo com a fitofisionomia de mata ciliar local, o isolamento dos fatores antrópicos de degradação, a conscientização da população local, e monitoramento mínimo de cinco anos até que a vegetação se estabeleça.

## REFERÊNCIAS

ALVARENGA, A. P.; BOTELHO, S. A.; PEREIRA, I. M. Avaliação da regeneração natural na recomposição de matas ciliares em nascentes na região sul de Minas Gerais. **Cerne**, v. 12, n. 4, p. 360-372, 2006.

ALVARES C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ARAÚJO, E. P. de; DIAS, L. B. da S.; CATUNDA, P. H. de A. **Relatório Técnico de Pedologia do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Maranhão (ZEE)**. São Luís: IMESC, 2019. 88 p.

ARAUJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

BARNETT, J.P.; BAKER, J.B. Regeneration methods. In: DURYEA, M.L.; DOUGHERTY, P.M. (Eds.). **Forest regeneration manual**. London: Kluwer Academic Publishers, 1991. p.35-50.

BLUM, C. T.; BORGIO, M.; SAMPAIO, A. C. F. Espécies exóticas invasoras na arborização de vias públicas de Maringá – PR. **Revista SBAU**, v. 3, n. 2, p. 78-97, 2008.

BOTELHO, S.A.; DAVIDE, A.C. Métodos silviculturais para recuperação de nascentes e recomposição de matas ciliares. In: Simpósio nacional sobre recuperação de áreas degradadas: água e biodiversidade. **Anais...** Belo Horizonte, 2002.

BRANCALION, P. H. S.; VIANI, R. A. G.; RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. **Avaliação e monitoramento de áreas em processo de restauração. Restauração Ecológica de Ecossistemas Degradados**. (Monografia) 2013, 293 p. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2013.

BRANCALION, P. H. S.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. **Restauração ecológica**. 1º ed. São Paulo: Oficina de Textos., 2015. 432 p.

**BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Portal da legislação. Brasília, DF, 25 de maio de 2012. Disponível em:** <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm)>. Acesso em: nov. 2023.

DROSOU, N.; SOETANTO, R.; HERMAWAN, F.; CHMUTINA, K.; BOSHER, L.; HATMOKO, J. U. D. Key Factors Influencing Wider Adoption of Blue-Green Infrastructure in Developing Cities. **Water**, v. 11, n. 6, p. 1234, 2019. DOI: 10.3390/w11061234

EMER, A. A.; BORTOLINE, C. E.; ARRUDA, J. H.; ROCHA, K. F.; MELLO, N. A. de. **Valorização da flora local e sua utilização na arborização das cidades. Synergismus scyentifica**, v.6, n.1, p. 1-7 e p. 21-31, 2011.

FLORA E FUNGA DO BRASIL. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>>. Acesso em: dez. 2023.

GOMES, P. M.; MELO, C. de; VALE, V. S. do. Avaliação dos impactos ambientais em nascentes na cidade de Uberlândia-MG: Análise macroscópica. **Sociedade & Natureza**, v. 17, n. 32, p.103-120, 2005.

ICMBio – INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. Instrução Normativa ICMBio nº 11/2014. Disponível em: <<https://www.icmbio.gov.br/cepsul/legislacao/instrucao-normativa/430-2014.html>>. Acesso em: nov. 2023.

KOZAK, D.; HENDERSON, H.; DE CASTRO MAZARRO, A.; ROTBART, D.; ARADAS, R. Blue-Green Infrastructure (BGI) in Dense Urban Watersheds. The Case of the Medrano Stream Basin (MSB) in Buenos Aires. **Sustainability**, v. 12, , n. 6, p. 2163, 2020. DOI: 10.3390/su12062163

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Portaria MMA nº 148, de 7 de junho de 2022. Atualização da Lista Nacional de Espécies Ameaçadas de Extinção. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-mma-n-148-de-7-de-junho-de-2022-406272733>>. Acesso em: mar. 2023.

MARANHÃO, 2021a. Portaria SEMA nº 27, de 29 de abril de 2021. Estabelece critérios e procedimentos para recuperação de áreas degradadas, elaboração, análise, aprovação e acompanhamento da execução de Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas ou Alteradas. Disponível em: <<https://legislacao.sema.ma.gov.br/arquivos/1644344712.pdf>>. Acesso em: mar. 2023.

MARANHÃO, 2021b. Decreto 36.831, de 2 de julho de 2021. Declara utilidade pública, para fins de desapropriação, área destinada à construção de Parque Ambiental em Açailândia/MA. Disponível em: <<https://leisestaduais.com.br/ma/decreto-n-36831-2021-maranhao-altera-o-decreto-n-36748>>. Acesso em: nov. 2023.

PARROTA, J. A. The role of plantation forest in rehabilitation degraded tropical ecosystems. **Agriculture Ecosystems and Environmen**t, v. 41, n. 114, p. 115-133, 1992.

PEREIRA, P. H. V.; PEREIRA, S. Y.; YOSHINAGA, A.; PEREIRA, P. R. B. Nascentes: análise e discussão dos conceitos existentes. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 7, n. 2, p. 139-151, 2011. DOI: 10.17271/19800827722011109

PINTO, L. V. A.; BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C.; FERREIRA, E. Estudo das nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG. **Scientia Forestalis**, n. 65, p. 197-206, 2004.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H.F. (Eds.) **Mata Ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP/FAPESP, p. 235-247. 2000.

SANTANA, F. de O.; ESPÍRITO SANTO, F. da S. do; SILVA, M. A. P. da. Diagnóstico e estratégias para a restauração de nascentes no assentamento Ojefesson Santos, Coaraci – BA. **Enciclopedia Biosfera**, v. 19, n. 42, 2022. DOI: 10.18677/EnciBio\_2022D31

SANTOS, G. dos; FABRICANTE, J. R. Potencial de invasão biológica do Nim (*Azadirachta indica* A.Juss.) no Nordeste Brasileiro. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 14, n. 3, p. 07-12, 2020. DOI: 10.18316/rca.v14i3.5093

SANTOS, R. L.; NUNES, F. G. Imperatriz do Maranhão: Proposição para a compreensão do processo de ocupação e Consolidação da cidade. **GeoTextos**, v. 14, n. 2, p. 117-141, 2018. DOI: 10.9771/geo.v14i2.26988

SCHNEIDER, C. R. **Avaliação de procedimentos para restauração ecológica no bioma Mata Atlântica**. 198 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Floerstal, 2023.

SILVA, M. C. N. A. da. **Processos ecológicos e invasão biológica por *Acacia mangium* Willd nos ecossistemas de Mussunungas**. 2016. 83 f. Tese (Doutorado em Botânica) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2016.

SOUZA, A. L. de; SCHETTINO, S.; JESUS, R. M. de; VALE, A. B. do. Dinâmica da composição florística de uma floresta ombrófila densa secundária, após corte de cipós, Reserva Natural da Companhia Vale do Rio Doce S.A., Estado do Espírito Santo, Brasil. **Revista Árvore**, v. 26, n. 5, p. 552-555, 2002.

# COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA, ESTRUTURAL E POTENCIAL FLORESTAL EM UMA ÁREA DE FLORESTA NA AMAZÔNIA MERIDIONAL

*Data de aceite: 01/02/2024*

**Jociane Rosseto de Oliveira Silva**

Universidade Estadual do Centro-Oeste,  
Programa de Pós-Graduação em Ciências  
Florestais

**Ivan Cleiton de Oliveira Silva**

Universidade do Estado de Mato Grosso

pela alta diversidade florística ( $H' = 3,50$ ), poucas espécies dominantes ( $J = 0,78$ ) e muitas espécies de baixa abundância. Das espécies comerciais identificadas no estudo, dez figuram entre as quinze espécies com maior valor de importância, possíveis de exploração sustentável.

**PALAVRAS-CHAVE:** Manejo florestal, Diversidade florestal, Espécies madeireiras.

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi analisar a composição florística, a estrutura florestal e o potencial de manejo florestal numa área de floresta ombrófila densa para uso futuro. Para tanto, foi realizado um inventário florestal por amostragem de 20 parcelas de 20x250m, sendo mensurados todos os indivíduos com  $DAP \geq 0,10m$ . Foi realizada a análise da composição florística, os índices de diversidade Shannon-Wiener e de equabilidade de Pielou, para avaliar a diversidade da vegetação. A análise da estrutura da floresta foi baseada nos valores absolutos de densidade, dominância, frequência e valor de importância. Para análise do potencial de manejo florestal foi analisado a distribuição diamétrica e a estimativa volumétrica. Foram amostrados 924 indivíduos, representados por 32 famílias botânicas, 73 gêneros e 89 espécies. A área de estudo caracteriza-se

## INTRODUÇÃO

Os recursos florestais nativos são utilizados para suprir a demanda de produtos de base florestal na região que abrange a Amazônia Meridional, tornando imprescindíveis levantamentos que quantifiquem o estoque desses recursos, buscando a produção florestal sustentável. O objetivo deste trabalho foi analisar a composição florística, a estrutura florestal e o potencial de manejo florestal numa área de Floresta Ombrófila Densa para uso futuro.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

É composta de um remanescente de Floresta Ombrófila Densa em uma propriedade particular com área total de 1.164,85 ha, localizada no município de Carlinda, extremo norte do estado de Mato Grosso. O clima da região é do tipo Am, tropical chuvoso com estação seca no período de maio a agosto e precipitação de setembro a abril (2.500 a 2.800mm). A temperatura média varia de 22 a 26°C [1].

### Análise da vegetação

Foram alocadas 20 parcelas de 5000m<sup>2</sup> (20x250m), distribuídas aleatoriamente, totalizando 10 ha de área amostrada.

Foram mensuradas todas as árvores com DAP<sub>(1,30m do solo)</sub> ≥ 0,10m. Para identificação taxonômica das espécies, foi coletado material botânico e encaminhado ao herbário da UNEMAT/Alta Floresta e consultas no banco de dados da Re flora [3].

Os dados de campo tabulados e calculados no Excel<sup>®</sup>. Foi realizada a análise da composição florística e calculados os índices riqueza de Shannon-Wiener (H') e de Pielou (J). A análise da estrutura florestal foi baseada na estimativa dos parâmetros de densidade, frequência, dominância e valor de importância. Para análise do potencial de manejo florestal, foram calculadas a distribuição diamétrica e a estimativa volumétrica [4].

O volume comercial individual da árvore em pé, com casca, foi obtido através da equação [2]:

$$V = \frac{\pi \times DAP^2}{4} \times H \times ff$$

onde: π 3,1416...; DAP: Diâmetro a 1,30 m do solo (m); H: altura comercial; ff = fator de forma 0,7 .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram amostrados 924 indivíduos (92,4 indivíduos/ha), representados por 32 famílias botânicas, 73 gêneros e 89 espécies. Fabaceae foi a família com maior número de espécies (21), seguida de Moraceae (8), Vochysiaceae e Malvaceae (6), Rutaceae, Lecythidaceae e Anacardiaceae (4), Sapotaceae, Meliaceae, Burseraceae e Apocynaceae (3) e Rubiaceae, Lauraceae e Euphorbiaceae (2) e 18 famílias botânicas foram representadas apenas por uma espécie cada.

Do total de indivíduos, 56% pertencem a 7 famílias botânicas, evidenciando que poucas famílias botânicas detêm a maior densidade florestal, são elas: Burseraceae (230), Fabaceae (66), Moraceae (82), Rutaceae (60), Sapindaceae (23), Simaroubaceae

(26) e Vochysiaceae (35). Porém, a família botânica com maior número de espécie foi a Fabaceae(Figura 1).

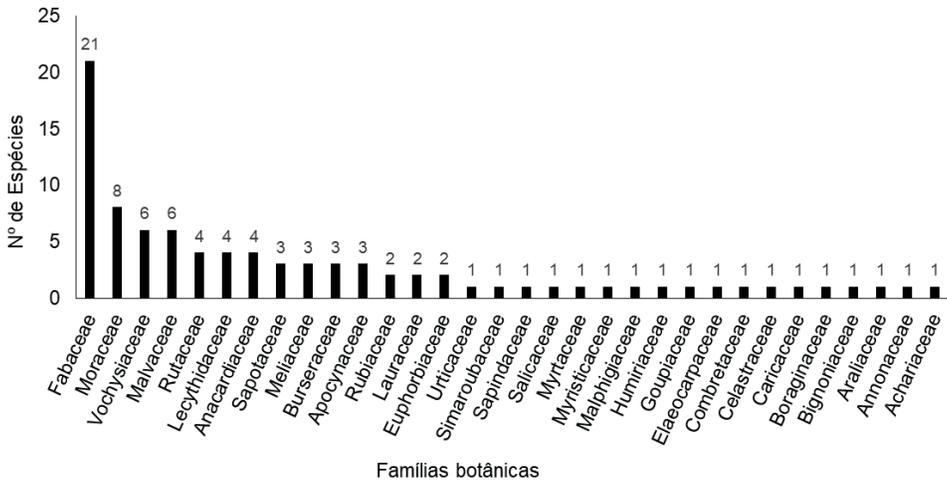


Figura 1. Número de indivíduos por família botânica numa área de floresta nativa na Amazônia Meridional.

A diversidade de espécies abrange a riqueza destas no ambiente natural. O valor de  $H'$  obtido de todas as parcelas do universo amostral no presente trabalho foi de 3,50, indicando elevada diversidade. Quanto ao índice de equabilidade de Pielou ( $J$ ), o valor encontrado foi de 0,78, demonstrando a diversidade florística da vegetação.

A estrutura horizontal indica a participação na comunidade de cada espécie vegetal em relação as demais e a forma em que esta se encontra, dentro de uma floresta, por unidade de superfície. Na Tabela 1 observa-se os valores das espécies classificadas com o maior Valor de Importância.

Nº	Nome Científico/Vulgar	Família	N	DA (ind.ha <sup>-1</sup> )	FA (%)	DoA (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )	VI
1	<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand Amescla-aroeira	Burseraceae	230	23,00	100	1,4332	46,08
2	<i>Erismia uncinatum</i> Warm. Cedrinho	Vochysiaceae	35	3,50	65	1,1354	19,90
3	<i>Brosimum guianense</i> (Aubl.) Huber Leiteiro	Moraceae	58	5,80	85	0,3316	14,11
4	<i>Tachigali tinctoria</i> (Benth.) Zarucchi & Herend. Tachi	Fabaceae	42	4,20	70	0,4374	12,88
5	<i>Esenbeckia grandiflora</i> Mart. Guarantã	Rutaceae	29	2,90	60	0,4311	10,93
6	<i>Castilla ulei</i> Warb. Caucho	Moraceae	24	2,40	65	0,3115	9,25
7	<i>Schizolobium amazonicum</i> Huber ex Ducke Pinho cuiabano	Fabaceae	24	2,40	65	0,2795	8,89
8	<i>Erismia bicolor</i> Ducke Cedrinho-branco	Vochysiaceae	15	1,50	55	0,3706	8,48
9	<i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl. Castanheira	Lecythidaceae	14	1,40	35	0,4037	7,81
10	<i>Metrodorea flavida</i> K.Krause Três Folhas	Rutaceae	31	3,10	65	0,1152	7,76
11	<i>Simarouba amara</i> Aubl. Marupá	Simaroubaceae	26	2,60	60	0,1628	7,53
12	<i>Trattinnickia burserifolia</i> Mart. Morcegueira	Burseraceae	18	1,80	65	0,1435	6,68
13	<i>Sapindus saponaria</i> L. Sabonete	Sapindaceae	23	2,30	55	0,1015	6,26
14	<i>Vochysia vismiifolia</i> Spruce ex Warm. Rosinha	Vochysiaceae	15	1,50	30	0,2636	6,07
15	<i>Hevea brasiliensis</i> (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg. Seringueira	Euphorbiaceae	16	1,60	45	0,1321	5,38
16	<i>Guarea macrophylla</i> Vahl Cedro Marinheiro	Meliaceae	17	1,70	45	0,0701	4,78
17	<i>Xylopia emarginata</i> Mart. Pindaíba	Annonaceae	14	1,40	50	0,0466	4,42
18	<i>Qualea paraensis</i> Ducke Cambará	Vochysiaceae	9	0,90	30	0,1679	4,32
19	<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F.Macbr. Angico-vermelho	Fabaceae	11	1,10	35	0,1094	4,10
20	<i>Protium trifoliolatum</i> Engl. Almescla	Burseraceae	14	1,40	45	0,0326	4,02
21	<i>Goupia glabra</i> Aubl. Cupiúba	Goupiaceae	4	0,40	15	0,2471	3,98

22	<i>Bauhinia acreana</i> Harms Pata de vaca	Fabaceae	12	1,20	45	0,0369	3,86
23	<i>Brosimum gaudichaudii</i> Trécul Inharé	Moraceae	7	0,70	30	0,1410	3,80
24	<i>Enterolobium schomburgkii</i> (Benth.) Benth. Sucupira-amarela	Fabaceae	7	0,70	30	0,1343	3,72
25	<i>Hymenolobium modestum</i> Ducke Angelim-da-mata	Fabaceae	9	0,90	35	0,0838	3,59
26	<i>Ocotea matogrossensis</i> Vattimo-Gil Canelão	Lauraceae	9	0,90	40	0,0506	3,45
27	<i>Eschweilera ovata</i> (Cambess.) Mart. ex Miers Flor de paca	Lecythidaceae	9	0,90	30	0,0745	3,25
28	<i>Byrsonima arthropoda</i> A.Juss. Murici	Malphigiaceae	11	1,10	25	0,0721	3,20
29	<i>Virola surinamensis</i> (Rol. ex Rottb.) Warb. Virola	Myristicaceae	9	0,90	30	0,0419	2,88
30	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don Caroba	Bignoniaceae	7	0,70	30	0,0554	2,82
31	<i>Dialium guianense</i> (Aubl.) Sandwith Jutai-pororoça	Fabaceae	6	0,60	15	0,1186	2,72
32	<i>Vatairea guianensis</i> Aubl. Angelim-amargoso	Fabaceae	8	0,80	30	0,0378	2,72
33	<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul Embauba	Moraceae	8	0,80	20	0,0614	2,52
34	<i>Cheiloclinium cognatum</i> (Miers) A.C.Sm. Seputa	Celastraceae	8	0,80	30	0,0146	2,45
35	<i>Theobroma speciosum</i> Willd. ex Spreng. Cacau	Malvaceae	7	0,70	30	0,0121	2,32
36	<i>Parkia multijuga</i> Benth. Bajao	Fabaceae	4	0,40	15	0,0925	2,21
37	<i>Mezilaurus itauba</i> (Meisn.) Taub. ex Mez Itauba	Lauraceae	4	0,40	20	0,0701	2,19
38	<i>Zanthoxylum huberi</i> P.G.Waterman Mamica de Porca	Rutaceae	7	0,70	25	0,0208	2,18
39	<i>Alexa grandiflora</i> Ducke Melancieiro	Fabaceae	5	0,50	20	0,0592	2,17
40	<i>Terminalia argentea</i> Mart. & Zucc. Mirindiba	Combretaceae	7	0,70	20	0,0251	1,99
41	<i>Jacaratia digitata</i> (Poepp. & Endl.) Solms Jaracatia	Caricaceae	4	0,40	10	0,0806	1,83
42	<i>Inga velutina</i> Willd. Inga	Fabaceae	5	0,50	20	0,0143	1,65
43	<i>Sterculia excelsa</i> Mart. Achichá	Malvaceae	4	0,40	20	0,0234	1,65

44	<i>Manilkara excelsa</i> (Ducke) Standl. Paraju	Sapotaceae	4	0,40	15	0,0425	1,63
45	<i>Apeiba echinata</i> Gaertn. Pente-de-macaco	Malvaceae	5	0,50	15	0,0219	1,50
46	<i>Couma guianensis</i> Aubl. Sorveira	Apocynaceae	3	0,30	15	0,0389	1,48
47	<i>Couratari stellata</i> A.C.Sm. Tauari	Lecythidaceae	4	0,40	15	0,0200	1,37
48	<i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna Barriguda	Malvaceae	4	0,40	10	0,0329	1,28
49	<i>Capirona macrophylla</i> (Poepp.) Delprete Perna de moça	Rubiaceae	4	0,40	15	0,0121	1,28
50	<i>Casearia ulmifolia</i> Vahl ex Vent. Espeteiro	Salicaceae	3	0,30	15	0,0209	1,28
51	<i>Didymopanax morototoni</i> (Aubl.) Decne. & Planch. Morototó	Araliaceae	3	0,30	15	0,0178	1,24
52	<i>Sloanea longicaudata</i> Ducke Pateiro	Elaeocarpaceae	5	0,50	10	0,0195	1,24
53	<i>Ormosia coarctata</i> Jacq. Tento	Fabaceae	3	0,30	15	0,0161	1,22
54	<i>Ormosia holerythra</i> Ducke Olho de Boi	Fabaceae	3	0,30	15	0,0092	1,14
55	<i>Andira surinamensis</i> (Bondt) Splitg. ex Amshoff Pau de Ripa	Fabaceae	3	0,30	15	0,0088	1,14
56	<i>Lindackeria paludosa</i> (Benth.) Gilg Farinha seca	Achariaceae	2	0,20	10	0,0380	1,13
57	<i>Metrodorea stipularis</i> Mart. Carrapateira	Rutaceae	3	0,30	15	0,0069	1,12
58	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke Cedro amazonense	Fabaceae	3	0,30	10	0,0213	1,04
59	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn. Sumauma	Malvaceae	3	0,30	10	0,0208	1,04
60	<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Forsyth f. Champanhe	Fabaceae	3	0,30	10	0,0179	1,00
61	<i>Pterocarpus santalinoides</i> L'Hér. ex DC. Pau sangue	Fabaceae	2	0,20	10	0,0260	0,99
62	<i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart. Canjarana	Meliaceae	1	0,10	5	0,0505	0,93
63	<i>Enterolobium maximum</i> Ducke Timbori	Fabaceae	2	0,20	10	0,0192	0,91
64	<i>Eugenia stictopetala</i> Mart. ex DC. Jambo	Myrtaceae	3	0,30	10	0,0085	0,90
65	<i>Micropholis venulosa</i> (Mart. & Eichler) Pierre Catanudo	Sapotaceae	2	0,20	10	0,0164	0,88

66	<i>Qualea grandiflora</i> Mart. Catuaba	Vochysiaceae	2	0,20	10	0,0154	0,87
67	<i>Luehea paniculata</i> Mart. Açoita Cavallo	Malvaceae	2	0,20	10	0,0099	0,80
68	<i>Aspidosperma desmanthum</i> Benth. ex Müll.Arg. Peroba	Apocynaceae	4	0,40	5	0,0090	0,77
69	<i>Brosimum lactescens</i> (S.Moore) C.C.Berg Cegado	Moraceae	2	0,20	5	0,0183	0,66
70	<i>Erythrina mulungu</i> Mart. Mulungu	Fabaceae	1	0,10	5	0,0181	0,55
71	<i>Astronium lecointei</i> Ducke Muiracatiara	Anacardiaceae	1	0,10	5	0,0145	0,51
72	<i>Pouteria bilocularis</i> (H.K.A.Winkl.) Baehni Pariri	Sapotaceae	1	0,10	5	0,0122	0,49
73	<i>Coutarea hexandra</i> (Jacq.) K.Schum. Quina	Rubiaceae	1	0,10	5	0,0109	0,47
74	<i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth. ex Walp. Angelim-saia	Fabaceae	1	0,10	5	0,0088	0,45
75	<i>Croton spruceanus</i> Benth. Sangra D'água	Euphorbiaceae	1	0,10	5	0,0088	0,45
76	<i>Aspidosperma carapanauba</i> Pichon Carapanauba	Apocynaceae	1	0,10	5	0,0070	0,43
77	<i>Ormosia paraensis</i> Ducke Angelim tento	Fabaceae	1	0,10	5	0,0056	0,41
78	<i>Brosimum utile</i> (Kunth) Pittier Burra leiteira	Moraceae	1	0,10	5	0,0056	0,41
79	<i>Cariniana rubra</i> Gardner ex Miers Jequitibá	Lecythidaceae	1	0,10	5	0,0052	0,41
80	<i>Sacoglottis guianensis</i> Benth. var. guianensis Uxi	Humiriaceae	1	0,10	5	0,0045	0,40
81	<i>Cordia ulei</i> I.M.Johnst. Louro	Boraginaceae	1	0,10	5	0,0039	0,39
82	<i>Pourouma bicolor</i> Mart. Uvinha	Urticaceae	1	0,10	5	0,0036	0,39
83	<i>Spondias mombin</i> L. Cajazeira	Anacardiaceae	1	0,10	5	0,0033	0,38
84	<i>Anacardium giganteum</i> W.Hancock ex Engl Cajueiro	Anacardiaceae	1	0,10	5	0,0032	0,38
85	<i>Qualea parviflora</i> Mart. Pau-terra	Vochysiaceae	1	0,10	5	0,0029	0,38
86	<i>Guarea guidonia</i> (L.) Sleumer Cedrorana	Meliaceae	1	0,10	5	0,0024	0,37
87	<i>Astronium graveolens</i> Jacq. Guarita	Anacardiaceae	1	0,10	5	0,0024	0,37

88	<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav. Amarelinho	Moraceae	1	0,10	5	0,0022	0,37
89	<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D.Don ex Steud. Amoreira	Moraceae	1	0,10	5	0,0014	0,36
<b>TOTAL</b>			<b>924</b>	<b>92,40</b>	<b>2110</b>	<b>8,7125</b>	<b>300</b>

Legenda: N: número de indivíduos; DA: Densidade Absoluta; FA: Frequência Absoluta; DoA: Dominância Absoluta; VI: Valor de Importância.

Tabela 1. Parâmetros estruturais das espécies arbóreas conforme maior Valor de Importância (VI) numa área de floresta nativa na Amazônia Meridional.

Os parâmetros estruturais são referentes as cinco espécies com maior valor. As espécies com maior densidade foram: *Protium heptaphyllum* (23,0), *Brosimum guianense* (5,8), *Sclerolobium paraense* (4,2), *Erismia uncinatum* (3,5) e *Metrodorea flavida* (3,1).

Ocorreram com maior frequência absoluta: *Protium heptaphyllum* (100), *Brosimum guianense* (85), *Sclerolobium paraense* (70), *Erismia uncinatum* (65) e *Metrodorea flavida* (65), expressando o número de ocorrência de cada espécie nas diferentes parcelas alocadas.

As espécies de maior dominância foram: *Protium heptaphyllum* (1,4332), *Erismia uncinatum* (1,1354), *Sclerolobium paraense* (0,4374), *Esenbeckia grandiflora* (0,4311) e *Bertholletia excelsa* (0,4037). É um parâmetro que expressa a influência de cada espécie na comunidade, através de sua biomassa.

O valor de importância informa a importância ecológica da espécie em termos de distribuição horizontal. Pode-se observar que as espécies de maior valor de importância e que apresenta maior sucesso em explorar os recursos do habitat foram: *Protium heptaphyllum*, *Erismia uncinatum*, *Brosimum guianense*, *Sclerolobium paraense* e *Esenbeckia grandiflora*.

Dos 924 indivíduos mensurados, com DAP  $\geq$  a 0,10m, verificou-se que a maioria estão entre 0,10 a 0,50m e que são os indivíduos que irão compor o estoque remanescente da floresta (Figura 2).

A distribuição dos indivíduos arbóreas das classes diamétricas apresentou um padrão típico de J-invertido, ou seja, alta concentração de indivíduos nas classes de menor diâmetro e redução acentuada no sentido das classes maiores. A área em estudo é uma área estável e com potencial para desenvolvimento de estoque futuro.

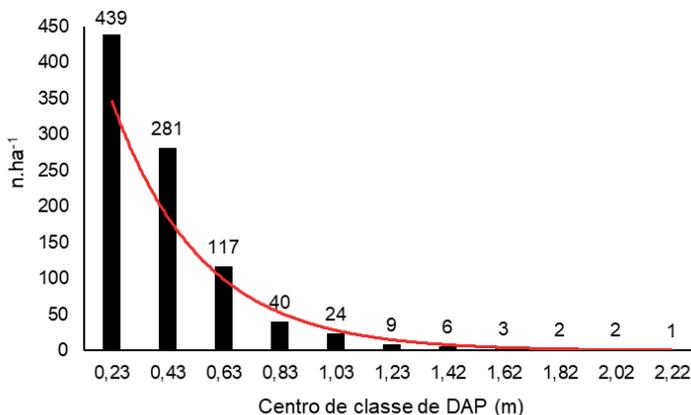


Figura 2. Classe diamétrica dos indivíduos, com DAP  $\geq 0,10$ m amostrados nas parcelas numa área de floresta nativa na Amazônia Meridional.

O volume total estimado das parcelas foi de  $68,3535 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ . As espécies com volume individual acima de  $25 \text{ m}^3$  foram: *Erisma uncinatum* (101,8318), *Protium heptaphyllum* (79,7952), *Esenbeckia grandiflora* (43,0016), *Bertholletia excelsa* (40,8787), *Erisma calcaratum* (39,1698), *Sclerobium paraense* (33,6344) e *Castilla ulei* (26,2081), com aporte para produção florestal futura.

## CONCLUSÕES

A estrutura da floresta e o estoque comercial da área permite a produção de madeira contínua, desde que realizada com base nos princípios do manejo florestal sustentável.

## REFERÊNCIAS

- ALVARES, C.A.; J.L., STAPE; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; GERD SPAROVEK, G. Koopen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Gebruder Borntraeger, Stuttgart, v.22, n.6, p.711-728, 2013.
- MATO GROSSO (Estado). Decreto n° 1.313, de 11 de março de 2022. Regulamenta a Gestão Florestal do Estado de Mato Grosso, e dá outras providências. **Diário oficial do estado de Mato Grosso**, Cuiabá, 11 mar. 2022. p. 5.
- REFLORA. **Plantas do Brasil: Resgate Histórico e Herbário Virtual para o Conhecimento e Conservação da Flora Brasileira**. Disponível em: <https://reflora.jbrj.gov.br/reflora/PrincipalUC/PrincipalUC.do?jsessionid=6C9CF7925C72B91C485B213E734D5C72>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- SOUZA, A.L.; SOARES, C.P.B. **Florestas nativas: estrutura, dinâmica e manejo**. Viçosa: Ed. UFV, 2013. 322 p..

## CAPÍTULO 3

# O CONTROLE DO DESMATAMENTO DA AMAZÔNIA NA REGIÃO DE SÃO FÉLIX DO XINGU E SEUS DESAFIOS DIANTE DA REALIDADE FUNDIÁRIA DO ESTADO DO PARÁ

*Data de aceite: 01/02/2024*

### **Isabela Loiane Carvalho Teixeira**

Universidade do Estado do Pará  
Belém – Pará  
[lattes.cnpq.br/2216459795920964](https://lattes.cnpq.br/2216459795920964)

### **Ana Caroline da Silva Martins**

Universidade do Estado do Pará  
Castanhal – Pará  
[lattes.cnpq.br/8013000040106175](https://lattes.cnpq.br/8013000040106175)

### **Adilane de Sousa Barbosa**

Universidade do Estado do Pará  
Tailândia – Pará  
[lattes.cnpq.br/830016206967537](https://lattes.cnpq.br/830016206967537)

### **Fabiola Layse dos Anjos Costa**

Universidade do Estado do Pará  
Ananindeua – Pará  
[lattes.cnpq.br/3427021383045383](https://lattes.cnpq.br/3427021383045383)

### **Giulyana Isabele Silva Tavares**

Universidade Federal de Lavras  
Lavras - Minas Gerais  
<https://orcid.org/0000-0002-3709-4413>

### **Otoniel Monteiro Da Costa Neto**

Universidade Federal de Lavras  
Lavras – Minas Gerais  
<https://orcid.org/0000-0002-7429-2910>

### **Raimara Reis do Rosário**

Universidade Federal do Pará  
Belém - Pará  
[lattes.cnpq.br/6618355248660710](https://lattes.cnpq.br/6618355248660710)

### **Rita do Socorro Faro Valença**

Universidade Federal Rural da Amazônia  
Santa Izabel – Pará

### **José Ricardo Silva Barros**

Universidade do Estado do Pará  
Mãe do Rio – Pará

**RESUMO:** O presente artigo apresenta os aspectos ambientais relacionados ao desmatamento e à regularização fundiária na região de São Félix do Xingu, a partir da análise da conciliação entre o direito à propriedade e o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, ambos garantidos constitucionalmente. Na pesquisa, emprega-se o método hipotético-dedutivo, que se baseia na análise legislativa, documental e bibliográfica do assunto em questão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Exploração de terras. Meio ambiente. Ocupação de terras. Região Amazônica.

# CONTROL OF DEFORESTATION IN THE AMAZON IN THE SÃO FÉLIX DO XINGU REGION AND ITS CHALLENGES IN FACE OF THE LAND REALITY IN THE STATE OF PARÁ

**ABSTRACT:** This article presents the environmental aspects related to deforestation and land regularization in the region of São Félix do Xingu, from the analysis of the reconciliation between the right to property and the right to ecologically balanced environment, both constitutionally guaranteed. In the research, the hypothetical-deductive method is used, which is based on the legislative, documentary and bibliographic analysis of the subject in question. **KEYWORDS:** Land exploitation. Environment. Land occupation. Amazon region.

## INTRODUÇÃO

O desmatamento é um fenômeno global que ocorre devido ao crescimento das atividades produtivas e econômicas, além do aumento da densidade demográfica em escala mundial, representando uma ameaça para as regiões florestais. A exploração humana, naturalmente vinculada a atividades devastadoras, já resultou na destruição de mais de 50% de toda a vegetação natural do mundo ao longo de aproximadamente 300 anos (Leite et al, 2023).

As principais razões para a redução contínua das áreas naturais do planeta incluem a expansão da produção agrícola e pecuária, resultando na abertura de novas áreas para lavouras e pastagens, além do crescimento urbano, a mineração e o extrativismo animal, vegetal e mineral (Silva, 2023).

No Brasil, embora se comparado a países como a Ásia, o índice de desmatamento seja ligeiramente menor, ainda é uma preocupação significativa. De acordo com um artigo divulgado pela ONG S.O.S. Planeta, o desmatamento no Brasil tem registrado um crescimento significativo. As informações revelam que mais de 10 mil quilômetros de floresta nativa foram devastados somente em 2021 (Nascimento et al., 2019).

Anualmente, o Brasil tem testemunhado um aumento significativo neste índice e é importante salientar que essa prática, especialmente em florestas tropicais, desempenha um papel crucial nas mudanças climáticas. As principais causas desse desmatamento e, conseqüentemente, da redução das florestas, incluem a exploração para fins comerciais, incêndios, atividades agropecuárias, o avanço da urbanização e até mesmo fenômenos naturais (Souza, 2021).

Embora a floresta Amazônica represente extrema importância para a regulação do clima, a manutenção da biodiversidade e a prestação de serviços ambientais, sua ocupação nas últimas décadas não priorizou a conservação. Inicialmente, o processo de perda de cobertura florestal era pouco significativo até as décadas de 50 e 60, quando foram construídos os primeiros eixos rodoviários para conectar a região ao restante do país, como as rodovias Belém-Brasília e Brasília-Acre (Maurano; Escada; Reino, 2019).

Com o passar dos séculos, a Amazônia tornou-se um alvo constante de atividades humanas predatórias, impulsionadas pelo crescimento populacional, avanço da fronteira agrícola, demanda por recursos naturais e busca por lucros econômicos. A extração de madeira, muitas vezes realizada de forma ilegal, foi e ainda é uma das principais causas do desmatamento, levando à perda de vastas áreas da floresta (Silva et al. 2017).

O início do desmatamento na região Amazônica remonta a séculos atrás e está intimamente ligado à chegada dos europeus na região. No entanto, é importante destacar que as práticas de desmatamento adotadas pelos povos indígenas e comunidades tradicionais antes da colonização não tinham o mesmo impacto que as atividades que surgiram com a exploração econômica e a ocupação europeia (Silva, 2018).

Entre os nove estados brasileiros que fazem parte da Amazônia Legal, os estados Mato Grosso, Rondônia e Pará são os mais afetados pelo desmatamento (Azevedo et al., 2016).

No Estado do Pará, dentre os principais pilares da economia, a pecuária é a atividade que desempenha o papel mais significativo. Seu crescimento é especialmente notável na mesorregião Sudeste do Pará, com destaque especial para o município de São Félix do Xingu, que abriga o maior rebanho bovino do país, estimado em cerca de 2 milhões de cabeças de gado (Crispim; Frabetti, 2021).

Na região sul do Pará, a APA Triunfo do Xingu é uma das áreas protegidas que enfrenta uma grande pressão de desmatamento, registrando 1.109,04 km<sup>2</sup> em 2019, a maior taxa em comparação com períodos anteriores (INPE, 2019).

Além da atividade agropecuária, nessa região ocorriam ainda, atividades de extração de ouro, cassiterita e ferro, bem como a exploração de madeira de alto valor, especialmente o mogno, levando a região a ser reconhecida como o “cinturão do mogno” (IEB, 2016).

Tendo isso em vista, o aumento da preocupação com questões ambientais, incluindo o desmatamento e o aquecimento global, levou à inclusão da Amazônia como objeto de estudo em várias áreas de conhecimento em âmbito global (Rossoni; Moraes, 2020).

A necessidade de uma gestão responsável dos recursos naturais levou os Estados-nação a evoluírem suas leis para promover o consumo consciente desses recursos, bem como o acesso de terras, garantindo seu uso pelas gerações presentes sem prejudicar as futuras (Granziera, 2018).

Nesse contexto, a política de regularização fundiária permitiria um maior controle ambiental, tornando os titulares de terras responsáveis por possíveis danos ambientais e possibilitando o cumprimento mais efetivo do código florestal. Além desempenhar um impacto positivo na produtividade, uma vez que os produtores, tendem a aprimorar a eficiência no uso dos recursos produtivos, resultando em uma intensificação tecnológica e produtiva que leva ao chamado “efeito poupa-florestas” (Goméz; Vieira Filho, 2022).

Contudo, mesmo com a promulgação de dispositivos legais na segunda metade do século XX, não houve uma mudança significativa na lógica de tais acessos. O Estatuto

da Terra (Lei n. 4.504) de 1964, embora tenha indicado a possibilidade de distribuição de terras aos camponeses através da reforma agrária, tinha como objetivo central incentivar a empresa rural, ou seja, a agricultura capitalista (Brasil et al., 2019).

Com isso, este artigo tem objetivo de discutir acerca do controle do desmatamento da Amazônia na região de São Félix do Xingu e seus desafios diante da realidade fundiária do estado do Pará.

## **DESMATAMENTO NA REGIÃO AMAZÔNICA**

O desmatamento na Amazônia tem sido um assunto discutido ao longo de décadas, devido ser um ecossistema que atrai atenção, e principalmente, à sua vasta quantidade de madeira, uma vez que a floresta é densa, abundante, repleta de vegetação e rica em biodiversidade (Dietrich; Almeida, 2021).

Quando os primeiros colonizadores chegaram à Amazônia no século XVI, eles buscavam riquezas naturais, especialmente madeira valiosa, como o pau-brasil. O corte dessas árvores era apenas o começo do que se tornaria uma exploração muito mais abrangente dos recursos da floresta, incluindo a extração de outros tipos de madeira, mineração e, mais tarde, a expansão da agricultura e pecuária (Balbinio; Souza; Frainer, 2021).

A floresta amazônica é reconhecida como a maior floresta tropical úmida em termos de biodiversidade em todo o mundo. Ela abrange a bacia hidrográfica do rio Amazonas e possui uma vasta riqueza de recursos naturais, que desempenham um papel crucial no ecossistema global (Maurano; Escada; Reino, 2019).

A região da Amazônia compreende uma área de aproximadamente 6,74 milhões de km<sup>2</sup> e atravessa territórios de 9 países, entre eles, o Brasil. Notavelmente, 60,3% da floresta amazônica está localizada no território brasileiro, e essa área é conhecida como “Amazônia Legal” (Costa Camila, 2020).

De acordo com a legislação da Amazônia Legal, os Estados que compõem a Amazônia Ocidental são: Amazonas, Acre, Rondônia e Roraima. E Amazônia Oriental: Pará, Maranhão, Amapá, Tocantins e Mato Grosso (Cunha et al., 2021).

Entretanto, ela vem enfrentando diversas ameaças que representam riscos a sua rica biodiversidade, e o desmatamento é a principal delas. Esse problema é impulsionado pelo aumento de cultivos agrícolas, pastagens, abertura de estradas e assentamentos humanos na região (Silva et al., 2017).

Nos últimos anos, a Amazônia tem protagonizado sucessivos recordes de desmatamento registrados. Em junho de 2020, uma área de aproximadamente 1.034,4 Km<sup>2</sup>, equivalente ao tamanho da cidade de Belém do Pará, foi desmatada. Além disso, durante o mesmo período, cerca de 7,5 mil Km<sup>2</sup> estavam sendo apontados como áreas alvo dessa mesma atividade ilegal (Moraes, 2020).

De acordo com uma pesquisa realizada pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), aproximadamente 9,8% do espaço florestal na Amazônia foi devastado ilegalmente, totalizando um desmatamento de cerca de 3.036 km<sup>2</sup>. Esses números indicam que, em um período de 335 dias, foi desmatada uma área equivalente a duas vezes o tamanho da cidade de São Paulo (INPE, 2019).

## O DESENVOLVIMENTO FUNDIÁRIO E LEGISLAÇÕES PERTINENTES

A regularização fundiária no Brasil é um processo complexo e abrangente que busca garantir a segurança jurídica e o direito de posse da terra para milhões de brasileiros que vivem em áreas rurais. Ela está ligada diretamente a questões socioeconômicas, ambientais e de desenvolvimento (Oliveira, 2023).

A história da regularização fundiária no Brasil pode ser dividida em quatro períodos distintos: o Regime de Sesmarias, que se estende de 1500 a 1822; a era das Posses, que ocorreu entre 1820 e 1850; a publicação da primeira Lei de Terras em 1850 até 1889; e, por fim, o período que se inicia com o regime republicano no Brasil em 1889 e continua até a atualidade (De Vasconcelos De Brito, 2023).

A falta de regularização pode levar a ocupações irregulares, invasões e conflitos por terra, gerando insegurança jurídica para os ocupantes e impactando negativamente a produção agrícola e o desenvolvimento econômico das áreas rurais, bem como gerar impactos ambientais (Oliveira, 2023).

Para enfrentar esses desafios, o governo federal e os governos estaduais têm implementado programas e políticas para promover a regularização fundiária. Um desses programas é o Terra Legal, que busca regularizar áreas públicas ocupadas na Amazônia Legal, combater o desmatamento ilegal e promover a sustentabilidade ambiental (Provin, 2023).

Desde sua criação em 2009, a Política de Regularização Fundiária da Amazônia (PRFA), também conhecida como “Programa Terra Legal”, tem sido objeto de controvérsias. A lei federal nº 11.952/2009 recebeu elogios por reconhecer os direitos dos pioneiros que ocuparam a Amazônia, proporcionando justiça social. No entanto, ao mesmo tempo, foi alvo de acusações de legalizar a grilagem de terras e representar uma ameaça ao patrimônio ambiental da região (Cunha, 2021).

Além disso, têm-se ainda, a Lei de Terras de 1850, que estabeleceu o sistema de titulação da terra no Brasil e criou a possibilidade de posse e compra de terras por estrangeiros. E a Lei de Reforma Agrária de 1964, que visava promover a reforma agrária e a redistribuição de terras para reduzir a concentração fundiária no país. No entanto, a implementação efetiva foi limitada (Cabral et al., 2021).

E o Decreto nº 9.309/2018, que estabeleceu as regras para a regularização fundiária de áreas rurais da União. Ele busca simplificar o processo de titulação e regularização de

terras, com o objetivo de regularizar a situação de milhares de posseiros e ocupantes de terras públicas (Pereira, 2021).

Contudo, apesar de tais programas e regulamentações, a regularização fundiária no Brasil ainda enfrenta desafios significativos, como a burocracia, a falta de recursos financeiros, a falta de infraestrutura e a existência de áreas de conflito. A complexidade do processo exige uma abordagem integrada e a cooperação entre diferentes órgãos governamentais e a sociedade civil (Da Silva; Melo, 2019).

Em suma, a regularização fundiária é uma questão crucial para a justiça social, o desenvolvimento econômico e a preservação ambiental no Brasil. É essencial continuar avançando nesse processo para promover a inclusão social, a proteção ambiental e o desenvolvimento sustentável no país.

## **O DESMATAMENTO NA REGIÃO DE SÃO FÉLIX DO XINGU**

O município de São Félix do Xingu é um dos maiores do país em extensão territorial e possui uma grande parte de sua área coberta pela floresta amazônica. Localizado no estado do Pará, o município é conhecido por ser um dos que mais contribuem para o desmatamento na Amazônia. A região onde está situado tem sido historicamente alvo de pressões e atividades humanas que levam à degradação da floresta (Francisco, 2021).

Ao longo das últimas décadas, a região tem enfrentado um aumento significativo do desmatamento devido a várias atividades, como exploração madeireira, expansão da agropecuária, grilagem de terras, queimadas, dentre outras práticas que representam impactos ao meio ambiente e na vida das comunidades locais, incluindo a perda de biodiversidade, erosão do solo, alterações climáticas, conflitos de terra e problemas sociais. A pecuária é uma das principais atividades diretamente relacionadas ao desmatamento na região. Isto leva à fragmentação da floresta, resultando na perda de biodiversidade e isolamento das áreas (Sampaio et al., 2018; Winagraski et al., 2018).

O município abrange parte da Área de Proteção Ambiental (APA) Triunfo do Xingu, uma região altamente impactada pela atividade humana. A área enfrenta desafios significativos devido à alta densidade populacional, grande pressão humana, território degradado e conflitos fundiários, o que aumenta a vulnerabilidade a desmatamentos na região e ameaça a biodiversidade (Costa et al., 2017).

No estado do Pará, o território é marcado por um histórico desorganizado de ocupação e regularização das terras públicas em benefício de particulares, resultando em incertezas sobre a titularidade dos imóveis e se eles foram devidamente transferidos do patrimônio fundiário público para o patrimônio privado (Azevedo, 2016).

Esforços para controlar o desmatamento na região envolvem a implementação de políticas de conservação ambiental, o fortalecimento da fiscalização e a promoção de práticas agrícolas sustentáveis. A proteção, não somente da região de São Félix do

Xingu, mas da Amazônia como um todo, é essencial para a manutenção dos serviços ecossistêmicos que a floresta proporciona e para a preservação de sua importância global (Vieira, 2023).

Com a promulgação da Constituição de 1988 e o devido reconhecimento da diversidade social e cultural do Brasil, foram protegidos os modos tradicionais de vida, diversas formas de ocupação dos territórios e a utilização coletiva dos recursos naturais por povos e comunidades tradicionais. Esses direitos foram regulamentados em normas infraconstitucionais, muitas das quais estabeleceram os procedimentos para o reconhecimento das ocupações coletivas nos chamados projetos de assentamentos ambientalmente diferenciados (Monteiro; DE Vasconcelos, 2019).

Em 2020, o Governo do Estado do Pará criou o Plano Estadual Amazônia Agora, com o objetivo de alinhar-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. O plano contemplou a articulação através de canais de diálogo, a implementação de um ecossistema de governança para políticas públicas e ações de comando e controle, fiscalização e licenciamento ambiental. Além disso, foram incluídas medidas para o desenvolvimento socioeconômico com baixas emissões de gases de efeito estufa, o ordenamento fundiário, territorial e ambiental, e o financiamento ambiental de longo alcance (PARÁ, 2020).

O município de São Félix do Xingu está inserido no padrão de desenvolvimento da região amazônica, que se caracteriza por grandes desmatamentos decorrentes de atividades humanas. Além disso, ameaças como assentamentos e a construção de rodovias acabam incentivando esse processo de desmatamento. Essas transformações em áreas extensas de florestas resultam na fragmentação da paisagem natural, prejudicando a preservação da biodiversidade (Da Costa Cavalcante et al., 2020).

Com isso, apesar dos avanços nos estados e municípios da Amazônia em relação ao monitoramento em tempo real do desmatamento e à implementação de planos locais para combater esse problema, ainda há poucos avanços na avaliação da sustentabilidade de forma integrada, considerando diversas dimensões do desenvolvimento. As principais dificuldades estão relacionadas à complexidade regional, à falta de dados disponíveis e à ausência de parâmetros e metas de sustentabilidade (Vale et al., 2020).

## CONCLUSÃO

O controle do desmatamento na região de São Félix do Xingu, inserido na vasta Amazônia, enfrenta desafios complexos decorrentes da realidade fundiária do estado do Pará. A ocupação histórica desorganizada e a falta de regularização das terras públicas para particulares criaram incertezas sobre a dominialidade dos imóveis e resultaram em pressões que incentivam atividades como a pecuária e agricultura, associadas a extensos desmatamentos.

Apesar dos avanços em monitoramento do desmatamento em tempo real e da implementação de planos locais para combater esse problema, o enfrentamento da questão requer uma abordagem integrada que considere a complexidade regional, disponibilidade de dados, e a ausência de parâmetros e metas claras de sustentabilidade.

Para alcançar um controle efetivo do desmatamento na região de São Félix do Xingu e na Amazônia como um todo, é essencial promover a regularização fundiária, fortalecer a fiscalização e combater a grilagem de terras. Além disso, investimentos em desenvolvimento socioeconômico com baixas emissões de gases de efeito estufa, ordenamento territorial e ambiental são fundamentais para garantir a preservação da biodiversidade e a sustentabilidade da região.

Nesse cenário desafiador, é imprescindível o engajamento e cooperação entre governos, instituições e sociedade civil, buscando uma visão integrada do desenvolvimento sustentável na Amazônia, em especial na região de São Félix do Xingu, para assegurar a proteção desse valioso bioma, seu patrimônio ambiental e a melhoria da qualidade de vida das populações locais. Somente com ações conjuntas e comprometidas será possível preservar esse importante ecossistema para as gerações presentes e futuras.

## REFERÊNCIAS

AZEVEDO, F. R. **Entraves Jurídicos à Regularização Fundiária Individual no Estado do Pará:** legislação fundiária paraense. 2016. 147 f. Dissertação (Mestrado em Direito, Políticas Públicas e Desenvolvimento Regional.)-Centro Universitário do Estado do Pará, Belém, 2016.

BALBINO, Valdir Antonio; SOUZA, Celso Correia; FRAINER, Daniel Massen. Agroindústria canavieira e sustentabilidade: efeitos sobre a sociedade, o meio ambiente e a economia. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 163-188, 2021.

BRASIL. **Constituição 1988.** Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Presidência da República, 1988.

BRASIL, Luciângela Ferreira do et al. **As alterações da política agrária: um debate hermenêutico acerca da reforma agrária.** 2019.

CABRAL, Alysso André Oliveira et al. **Reforma agrária no Brasil: A reforma (im) possível.** 2021.

COSTA, A. L. S., Reis, L. R. A contribuição da APA Triunfo do Xingu para o ordenamento fundiário na região da Terra do Meio, Estado do Pará. *Revista de Ciências Agrárias*. **Amazon Journal Of Agricultural And Environmental Sciences** 60, 96-102. 2017.

COSTA, Camilla. **Amazônia: O que ameaça a floresta em cada um de seus 9 países?** Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-51377232>. Acesso em: 30 de out. 2023.

CUNHA, Mauricio Rodrigues da. **A necessidade de investimentos nos campos socioeconômico e político-militar na Amazônia Legal para mitigar a cobiça internacional.** 2021.

- CRISPIM, Sebastião Novais Sousa; FRABETTI, Giancarlo Livman. Exploração da terra e do trabalho na fronteira agropecuária da Amazônia oriental: o caso de São Félix do Xingu (PA). **Cadernos CEPEC**, v. 9, n. 2, 2021.
- CUNHA, Paulo Roberto. Uma política pública de privatização e degradação da Amazônia disfarçada de regularização fundiária: uma análise sobre a evolução da Lei Federal nº 11.952/2009. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia**, n. 52, 2021.
- DA COSTA CAVALCANTE, Juliane et al. Análise multicriterial na definição de áreas prioritárias à conservação florestal em São Félix do Xingu-PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 1, p. 167-181, 2020.
- DA SILVA, Alice Rocha; MELLO, Júlia Santa Anna. Viabilidade de políticas públicas no sistema nacional das unidades de conservação da natureza-SNUC (Lei nº 9.985/2000). **Revista Processus de Políticas Públicas e Desenvolvimento Social**, v. 1, n. 2, p. 71- 107, 2019.
- DE VASCONCELOS, Letícia de Fátima Reis; DE BRITO, Luís Antônio Monteiro. Aspectos ambientais da regularização fundiária individual no estado do Pará: a lei estadual de terras (lei no 8.878/2019) e o direito ao meio ambiente. **Revista Jurídica do Cesupa**, v. 4, n. 1, p. 256-276, 2023.
- DIETRICH, L. J.; ALMEIDA, N. M. Desmatamento da Amazônia, impactos ambientais e desafios para a espiritualidade cristã: responsabilidade mundial para uma ecologia integral. **Franciscanum**: Bogotá, v. 62, p. 1-29, 2020.
- FRANCISCO, Alyson Bueno. Cartografia do incremento de áreas desmatadas no Acre, Pará, Mato Grosso e Rondônia entre 2018 e 2019. **Revista Presença Geográfica**, v. 8, n. 1, 2021.
- GOMÉZ, Raúl V.; VIEIRA FILHO, José Eustáquio Ribeiro. **Regularização fundiária no Brasil: avanços e desafios**. 2023.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Coordenação Geral de Observação da Terra. Programa de Monitoramento da Amazônia e demais Biomas**. Desmatamento – Amazônia Legal, 2019.
- MAURANO, Luis Eduardo Pinheiro; ESCADA, Maria Isabel Sobral; RENNO, Camilo Daleles. Padrões espaciais de desmatamento e a estimativa da exatidão dos mapas do PRODES para Amazônia Legal Brasileira. **Ciência florestal**, v. 29, p. 1763-1775, 2019.
- MORAES, Michelly. **Desmatamento: Causas e Consequências!** 2020. Disponível em: <https://agropos.com.br/desmatamento/>. Acesso em: 30 out. 2023.
- MONTEIRO, Aianny Naiara Gomes; DE VASCONCELOS, Tatiane Rodrigues; TRECCANI, Girolamo Domenico. Impasses e desafios da regularização fundiária para comunidades tradicionais na Amazônia. **Retratos de Assentamentos**, v. 22, n. 2, p. 39- 62, 2019.
- NASCIMENTO, J. S., SANTOS JUNIOR, C. S., MONTEIRO, M. J. G., LOPES, P. V. N., SILVA, Y. P. (2019). Monitoramento ambiental Impactos ambientais movidos pelo desmatamento sucessivo da Amazônia legal. **Brazilian Journal of Development**, 5 (12), 33157-33167.
- OLIVEIRA, Virna Vitoria Silva de. **Regularização fundiária urbana à luz do da lei 13.465/2017: Assentamentos irregulares**. 2023.

OLIVEIRA, Emilly Florentina. **Conflitos no campo: um estudo acerca da luta por terra no Brasil pós-ruptura institucional de 2016**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

ONG S.O.S Planeta. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/ongsosplanetacom/desmatamento-no-brasil>>, Acesso em: 30 de out. 2023.

PARÁ (Estado). **Plano Estadual Amazônia Agora** – Elementos conceituais. Belém. 2020.

PEREIRA, Flávia Pedrosa. **Além da venda: reflexões críticas sobre a alienação dos imóveis da União a partir da Lei nº 13.465/2017**. 2021.

PROVIN, ALAN FELIPE. Desafios práticos para a implementação da regularização fundiária no estado do Amazonas. Nova Hileial **Revista Eletrônica de Direito Ambiental da Amazônia**. ISSN: 2525–4537, v. 15, n. 2, 2023.

ROSSONI, Roger Alexandre; DE MORAES, Marcelo Lopes. Agropecuária e desmatamento na Amazônia Legal Brasileira: uma análise espacial entre 2007 e 2017. **Geografia em Questão**, v. 13, n. 3, 2020.

SILVA, Camila de Cássia do Socorro et al. **Restauração florestal na Amazônia: uma análise a partir da concorrência de paradigmas e trajetórias tecnológicas na Região de Integração do Bico do Papagaio**. 2023.

SILVA, V. C. S.; VIEIRA, I. C. G. Barômetro da Sustentabilidade aplicado a assentamentos rurais do leste do Estado do Pará, Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 36, 2016.

SILVA, M. M., Oliveira, F. A., Santana, A. C. Mudanças socioambientais no uso da terra em Altamira, Amazônia Oriental. **Novos Cadernos Naea** 20,181-202, 2017.

SILVA, Elizângela Cardoso de Araújo. Povos indígenas e o direito à terra na realidade brasileira. **Serviço social & sociedade**, p. 480-500, 2018.

SOUZA, Adriana de Araujo de. **Desmatamento no Brasil: Uma análise do problema que mais afeta os biomas brasileiros**. 2021.

VALE, Francinelli Angeli Francisco Do et al. Sustentabilidade municipal no contexto de uma política pública de controle do desmatamento no Pará. **Economía, sociedad y territorio**, v. 20, n. 62, p. 685-717, 2020.

VIEIRA, Flávia Gouveia Polastri. **Comércio internacional e seus reflexos no meio ambiente análise da legislação pertinente**. 2023.

WINAGRASKI, E., Deus, K. H. P., Marcelino, V. R., Oliveira Filho, P. C., Forest fragmentation on the national forest of irati bufferzone –Brazil. **Ciência e Natura** 40, 23-34. 2018.

## DESAFIOS LOGÍSTICOS PARA EXPORTAÇÃO DE SOJA E MILHO: ESTUDO DE CASO EM UMA GRANDE EMPRESA DO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO

*Data de aceite: 01/02/2024*

**Lucas Ribeiro Corrêa**  
UFSCar – São Carlos

**Clarissa Fullin Barco de Camargo**  
UFSCar – São Carlos

**RESUMO:** O processo de globalização fez com que as nações mundiais aumentassem as interações entre si, principalmente as de relações comerciais. O Brasil é referência mundial no agronegócio principalmente pela sua produção e alto volume de exportação de grãos, entretanto uma grande dificuldade para as empresas tem sido a Logística. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo identificar os gargalos dos principais fluxos logísticos para o complexo portuário de Santos/Guarujá de uma empresa de grande porte, no processo de exportação de soja e milho. Para tal foi utilizado o método qualitativo Estudo de Caso juntamente com o método Delphi para coleta de dados. Os resultados mostram os gargalos mais críticos que cada fluxo analisado possuem.

**PALAVRAS-CHAVE:** Logística, Gargalos de exportação, Intermodalidade, Soja, Milho.

### INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca mundialmente por ser um dos principais países exportadores de grãos e tem utilizado o agronegócio cada vez mais como uma estratégia de inserção no mercado mundial (PONTES; DO CARMO; PORTO, 2009).

Segundo o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) em parceria com a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), o agronegócio contribuiu em 2022 com 24,8 % do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro. Além disso, um estudo divulgado em 2021 pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) mostra que o Brasil é o terceiro maior exportador mundial de insumos agropecuários, atrás apenas dos EUA e da União Europeia.

O documento de maio do acompanhamento da safra brasileira de grãos de 2022/2023 da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2023), mostra que as maiores culturas de grãos em área plantada são as de soja e

milho, com aproximadamente 44 e 22 milhões de hectares plantados, respectivamente. A estimativa total é de 77,5 milhões de hectares de grãos plantados no país.

O desenvolvimento das culturas de soja e milho como itens importantes na pauta das exportações brasileiras, atraem algumas grandes empresas multinacionais para atuarem como *tradings* no mercado de exportação brasileiro. De acordo com Thomé e Medeiros (2016), *tradings* são intermediários comerciais que estabelecem relações lineares entre fornecedores domésticos e compradores estrangeiros, obtendo seus lucros com as transações entre eles. Portanto, funcionam como elo entre o produtor agrícola e países compradores de grãos, tendo como principal desafio a logística.

Segundo Ometto (2006), a logística é um visível gargalo na exportação de produtos agrícolas. O Brasil perde competitividade em relação a outros países exportadores devido a sua precária rede de infraestrutura logística, fazendo com que o produto seja vendido a preços baixos pelos produtores e chegue com altos custos ao seu destino.

Outro ponto que corrobora para dificultar a logística no Brasil é que desde a década de 1970, houve uma interiorização da maior parcela de soja e milho produzidos no Brasil, que passou a se concentrar na região Centro-Oeste. A interiorização destas culturas dificulta sua exportação, fazendo com que o grão tenha de percorrer grandes distâncias até chegarem aos principais portos graneleiros do país que se encontram em Santos (SP), Vitória (ES), Santarém e Barcarena (PA), Itaqui (MA) e Paranaguá (PR) (ALMEIDA, 2010).

Dado esse contexto, observou-se a necessidade de se estudar os principais fluxos logísticos de exportação de uma grande *trading* que atua no mercado brasileiro. Um fluxo logístico é, segundo Amaral, Almeida e Morabito Neto (2013), uma rede de transporte que permite o escoamento de produtos (neste caso, a soja e o milho em grãos), a partir de um ponto de oferta até um ponto de demanda. Neste trabalho, entende-se que o ponto de oferta da soja/milho é a região em que se encontra a fazenda do produtor e o ponto de demanda é o porto em que o grão será exportado. O fluxo logístico constitui toda a rede de transporte que conecta esses dois pontos, seja por via intermodal (rodoviária, ferroviária e hidroviária) ou via rodoviária direto. O presente trabalho se propõe a responder a seguinte questão de pesquisa: *quais as principais barreiras logísticas que a empresa em questão está sujeita para transportar a soja/milho da fazenda do produtor até um porto?*

Dessa forma, o objetivo é identificar os gargalos dos principais fluxos logísticos para os terminais portuários de Santos/Guarujá de uma *trading* de grande porte, no processo de exportação de soja e milho.

Esses gargalos influenciam diretamente o custo de transporte e o preço final do produto e, em última análise, a competitividade da empresa com outras *tradings* que atuam no Brasil e fora dele. Essa influência justifica a importância do presente estudo.

Por fim, esta pesquisa tem o potencial de contribuir para a sociedade, uma vez que, o estudo e conhecimento de elementos críticos à *performance* logística, podem gerar ações de melhoria dos mesmos. Um transporte mais eficiente possibilita reduzir o custo

do produto final para o consumidor, amenizar a emissão de poluentes na atmosfera e remunerar melhor o produtor de grãos.

## **EMBASAMENTO TEÓRICO**

### **Logística de grãos no Brasil**

Nos últimos anos, a logística no Brasil passou por profundas transformações em direção a uma maior sofisticação e vem constituindo-se em um negócio de grandes proporções (FLEURY; WANKE, 2003).

Entretanto, embora a logística tenha evoluído, a infraestrutura logística no Brasil ainda se encontra pouco desenvolvida. De acordo com Freitas (2003), a infraestrutura logística, principalmente o transporte, foi desenvolvida pelo governo, em um padrão estatal, para contemplar a integração do mercado interno, sem preocupação com custos, qualidade e produtividade, o que faz com que o Brasil tenha seu posicionamento no mercado internacional comprometido em função dos elevados custos logísticos.

Grãos, em geral, são movimentados a granel e predominantemente escoados por rodovia, por transportadores rodoviários autônomos que se utilizam de carretas rodoviárias com capacidade de 27 toneladas, até os caminhões bi-trens, com capacidade de 45 toneladas (CAIXETA- FILHO, 2006).

Entretanto, dado que algumas das rodovias utilizadas para transporte de grãos possuem tráfego intenso de caminhões grandes, trechos com sinalização deficiente, má condição do asfalto ou estão passando por reformas, altos custos com transporte são gerados, sendo, portanto, a intermodalidade uma alternativa mais vantajosa ao transporte totalmente rodoviário, principalmente no transporte de cargas por grandes distâncias (ALMEIDA, 2010).

Segundo Chang (2008), o transporte intermodal pode ser definido como o movimento de cargas entre uma origem e um destino utilizando-se, pelo menos, dois modais de transporte diferentes. Macharis e Bontekoning (2004), destacam que as distâncias percorridas por rodovias devam ser as menores possíveis e que, para cargas containerizadas, não ocorram trocas de contêiner ao longo da rota.

A Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), cita algumas vantagens para o uso da intermodalidade, são elas:

- a. Melhor utilização da capacidade da estrutura de transporte;
- b. Utilização de combinações de modais de transporte mais eficientes energeticamente;
- c. Melhor utilização da infraestrutura para as atividades de apoio, tais como armazenagem e manuseio de materiais;

d. Ganhos no processo, de uma forma geral (tempo, valores de frete).

É importante ressaltar que as vantagens oferecidas pela prática da intermodalidade dependem da infraestrutura de apoio disponível, tais como os terminais intermodais (transbordos) e os armazéns. Para que a intermodalidade realmente gere vantagens, as atividades de apoio têm de funcionar de forma eficiente e as instalações devem estar localizadas em lugares estratégicos (ALMEIDA, 2010).

A Figura 1 mostra os principais fluxos logísticos de exportação de soja e milho no Brasil.

É possível perceber que o grão pode utilizar mais de um modal para chegar até os portos graneleiros do país, com destaque para o Porto de Santos, principal porto exportador de grãos no Brasil.



Figura 1 – Malha viária utilizada no transporte de soja e milho destinada à exportação

Fonte: Ojima (2005, apud PONTES, DO CARMO e PORTO, 2009, p. 9)

## Dificuldades de escoamento de soja e milho destinada à exportação

Muitos trabalhos científicos tratam sobre os problemas para o escoamento da safra de grãos no Brasil. Peixoto, Ribeiro e Granemann (2016) consolidam os principais problemas que são abordados na literatura por meio da revisão sistemática. Os autores apresentam 25 artigos (publicados entre 2005 e 2016) que abordaram o tema gargalos logísticos e os classificaram em 5 categorias distintas, a saber: sistemas de armazenagem, modal rodoviário, modal ferroviário, modal hidroviário e entraves referentes à estrutura portuária (PEIXOTO; RIBEIRO; GRANEMANN, 2016).

A partir do trabalho de Peixoto, Ribeiro e Granemann (2016), é possível destacar os principais problemas logísticos encontrados na literatura, para cada uma das cinco categorias de gargalos:

- **Gargalos na Armazenagem:** baixa capacidade de armazenagem; baixo nível de eficiência; perdas durante o armazenamento e armazenagem nas fazendas.
- **Gargalos no modal rodoviário:** condição inadequada das rodovias; modo inadequado para longas distâncias; perda de produto devido às condições inadequadas da via; falta de fiscalização de excesso de peso e demora para embarque e desembarque.
- **Gargalos no modal ferroviário:** infraestrutura insuficiente (restrição de capacidade e limitação do número de linhas); falta de vagões; baixa velocidade/ elevado tempo de trânsito; estado de conservação deficitário (infraestrutura e superestrutura); problemas regulatórios e problemas de integração entre os modais.
- **Gargalos no modal hidroviário:** infraestrutura insuficiente, quantidade insuficiente de eclusas; restrições de calado/Seca de rio, pontes com vãos estreitos, restrições vinculadas às barcaças, dificuldade de obter licenças ambientais; falta de operadores de transbordo nos principais portos fluviais e dificuldades na intermodalidade.
- **Gargalos no porto:** baixa capacidade de armazenagem; ineficiência - baixa produtividade; infraestrutura e equipamentos inadequados; problemas de acesso aos portos para os modos Rodoviário e/ou Ferroviário; filas de descarga de caminhões; filas para descarga de vagões; filas de espera para os navios; ingerência entre envio e recepção de mercadorias; limitação do fluxo de carga por meio de ferrovias; quantidade insuficiente de píeres e lentidão devido à burocracia.

## MÉTODO DE PESQUISA

Para atingir o objetivo de pesquisa apresentado na Seção 1, foi realizado um estudo de caso em uma multinacional do setor do agronegócio. O estudo de caso se mostra adequado pois possui natureza empírica que investiga um determinado fenômeno que geralmente é contemporâneo, dentro de uma situação real, em que as fronteiras entre o

fenômeno e o contexto em que ele está inserido não estão bem definidas (MIGUEL, 2007). Ainda, a escolha do estudo de caso como método de pesquisa é justificada pelo fato deste método não possuir limites rígidos, o que favorece a exploração de um fenômeno sob múltiplos pontos de vista (YIN, 2014).

## Planejamento do estudo de caso

O planejamento do estudo de caso é essencial para o sucesso na sua condução. Neste artigo, o desenvolvimento do estudo seguiu o modelo proposto por Miguel (2007), constituído de cinco etapas, a saber: i) Definição de uma estrutura conceitual-teórica; ii) Planejamento do caso; iii) Coleta de dados; iii) Análise dos dados e iv) elaboração do relatório.

A primeira etapa está contida na Seção 2 deste artigo. Na segunda etapa, planejamento do caso, escolheu-se como unidade de análise uma empresa do setor do agronegócio em seu processo de logística de exportação de soja e milho. A justificativa desta escolha se dá pela relevância financeira e de grandeza (alto volume movimentado) deste processo para a empresa em questão e da relevância da empresa dentro do mercado em que atua.

Para a terceira e quarta etapas do estudo de caso, a técnica utilizada foi a aplicação de questionários a especialistas de cada fluxo logístico analisado. A aplicação dos questionários seguiu o método Delphi.

## O Método Delphi

O Delphi é um método de pesquisa que visa buscar a opinião e o consenso de especialistas sobre determinados eventos. O Delphi possui um instrumento de coleta de dados e informações bem definidos, o qual segue etapas sequenciais e condições previamente estabelecidas, a saber: anonimato dos respondentes, representação estatísticas dos dados e *feedback* de todas as respostas do grupo de especialistas. (EMBRAPA, 2018).

Normalmente, o método consiste num conjunto de questionários que são respondidos individualmente pelos participantes, com informações resumidas sobre as respostas do grupo aos questionários anteriores (OSBORNE et al., 2003).

O processo de implementação do método Delphi se dá em várias etapas, que, segundo Grisham (2009), Kayo e Securato (1997), Linstone e Turoff (2002), Serra et. al. (2009), Silva e Tanaka (1999) e Yousuf (2007), podem ser divididas como mostra a Figura 2.

Os resultados são analisados pelos pesquisadores em cada rodada de questionários. São observadas as tendências e as opiniões divergentes, bem como suas justificativas, compilando-as para, posteriormente, as reenviar ao grupo. Assim, depois de conhecer as

opiniões dos outros membros e a resposta do grupo, os participantes têm a oportunidade de refinar, alterar ou defender as suas respostas e enviar novamente aos pesquisadores, para que um novo questionário seja reelaborado a partir dessas novas informações. Esse processo é repetido até se atingir os níveis pretendidos de estabilidade e consenso nas respostas. Há consenso, em termos gerais, quando há baixa divergência na distribuição das respostas a um determinado item em torno de uma resposta média. Já a estabilidade pode ser definida como a ausência de contribuições novas e a pouca alteração das respostas do painel entre rodadas (GRISHAM, 2009; MIRANDA; NOVA; CORNACCHIONE JR., 2012; SERRA et al., 2009).

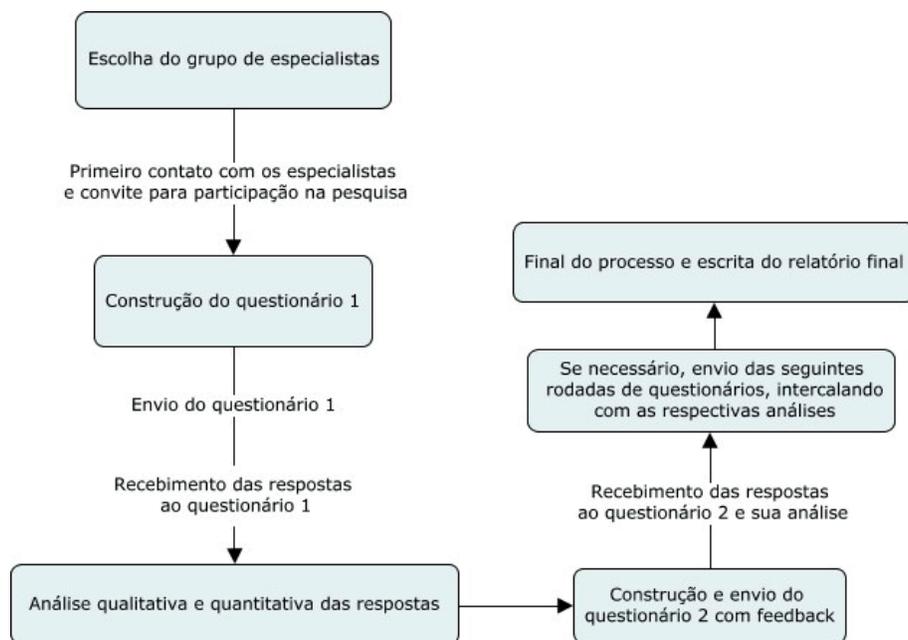


Figura 2 – Condução do Método Delphi

Fonte: Autor (2019)

## ESTUDO DE CASO

### Caracterização da empresa e fluxos logísticos

A empresa estudada é uma *trading*, ou seja, ela compra os grãos do produtor e vende para clientes de outros países, sendo que todo o caminho percorrido pelo grão desde o produtor até os portos graneleiros é de responsabilidade da empresa. O porto que será escolhido para a exportação do grão depende da localização do produtor e outros fatores logísticos e de infraestrutura, dando origem a diversos fluxos logísticos possíveis para o escoamento do grão. Para tal movimentação, a empresa utiliza o transporte intermodal, mesclando geralmente o transporte rodoviário, ferroviário e hidroviário. Segundo dados da

empresa de 2023, o principal porto utilizado pela mesma, é o porto de Santos/Guarujá (São Paulo). Por este motivo, o porto de Santos é o foco de estudo deste artigo.

A seguir, são detalhados os fluxos logísticos que serviram de base para a pesquisa.

### *Fluxos Logísticos*

No porto de Santos/Guarujá os grãos chegam através de quatro fluxos logísticos, sendo três deles por via ferroviária e um por via rodoviária, como mostrado a seguir. As flechas vermelhas indicam que o fluxo é rodoviário, as flechas azuis indicam um fluxo hidroviário e as flechas verdes indicam um fluxo ferroviário:

1. MT  Transbordo de Rondonópolis/Alto Araguaia (MT)  Santos/Guarujá.

No Fluxo 1, os grãos são comprados de produtores do estado do Mato Grosso. Por meio do modal rodoviário, estes grãos chegam nos transbordos (espécie de armazém em que o modal logístico é alterado) de Rondonópolis (MT) ou Alto Araguaia (MT). A partir destes transbordos, os grãos são embarcados em vagões e seguem, via modal ferroviário, para o porto de Santos/Guarujá (SP).

2. MT, GO, MG  Transbordo de Uberaba (MG)  Santos/Guarujá.

No Fluxo 2, os grãos são originados de produtores do leste do estado do Mato Grosso, de Goiás e Minas Gerais. Através do modal rodoviário estes grãos chegam no transbordo de Uberaba (MG). A partir deste transbordo, os grãos são embarcados em vagões e seguem, via modal ferroviário, para o porto de Santos/Guarujá (SP).

3. MT, GO  Transbordo de São Simão (GO)  Transbordo de Pederneiras (SP)  Santos/Guarujá.

No Fluxo 3, os grãos são originados de produtores do leste do estado do Mato Grosso e de Goiás. Através do modal rodoviário estes grãos chegam no transbordo de São Simão (GO). A partir deste transbordo, os grãos são embarcados em barcaças e seguem via modal hidroviário pelo rio Paranaíba cujo destino é o transbordo de Pederneiras (SP). Em Pederneiras os grãos são embarcados em vagões e se deslocam, via modal ferroviário, até chegar no porto de Santos/Guarujá.

4. GO, MG, SP  Santos/Guarujá.

O Fluxo 4 é o mais curto, sendo que os grãos originados em produtores do estado de Goiás, Minas Gerais e São Paulo são transportados por modal rodoviário até o porto de Santos/Guarujá.

## RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO

O questionário foi montado de tal forma que os respondentes escolheram, para cada um dos quatro fluxos logísticos de forma independente, uma alternativa que expressa o fator de ocorrência dos gargalos da literatura e citaram se, na sua opinião, há outros gargalos que não foram abordados pela literatura. Para cada um dos quatro fluxos logísticos, o questionário foi disponibilizado de maneira *online* e as alternativas das respostas foram baseadas na escala *Likert* (CUNHA 2007). Nos questionários deste artigo utilizou-se a escala *Likert* para medir a probabilidade de ocorrer um gargalo em um determinado fluxo logístico.

Uma versão *online* do primeiro questionário foi desenvolvida na ferramenta chamada *forms* da Microsoft, e ficou disponível durante uma semana para 25 especialistas dos fluxos logísticos estudados. Ao final deste período, foram obtidas 12 respostas, uma aderência de 48% dos especialistas convidados a participar.

Os dados coletados foram analisados estatisticamente e uma vez que, algumas respostas não convergiram para um consenso, seguindo os passos do método Delphi, elaborou-se um segundo questionário.

Neste segundo questionário, foram reformuladas as questões que não convergiram a um consenso na primeira rodada, mostrando o percentual obtido para cada alternativa, de uma determinada pergunta. Assim, os respondentes ao saber da maneira anônima as respostas dos outros especialistas poderiam confirmar sua posição ou refletir melhor sobre o assunto e mudar a sua resposta. Além disso, este segundo questionário trouxe para os respondentes os gargalos que foram sugeridos na primeira rodada para cada fluxo estudado para que estes, através da escala *Likert*, opinassem sobre um fator de ocorrência destes gargalos que não foram abordados na literatura.

Ao final do período de uma semana foram obtidas 8 respostas, uma aderência de 66,7% dos especialistas convidados a participar.

Para cada fluxo analisado, ambos os questionários foram divididos em 6 partes, a primeira é relativa às categorias de gargalos logísticos abordados na literatura, a segunda aos gargalos logísticos envolvendo armazenagem, a terceira aos gargalos logísticos envolvendo modal rodoviário, a quarta aos gargalos logísticos envolvendo modal ferroviário, a quinta aos gargalos logísticos envolvendo modal hidroviário e a última parte é relativa aos gargalos do porto de Santos/Guarujá.

## Discussão dos Resultados

Após analisar estaticamente as respostas das duas rodadas de questionários, chegou-se nos principais gargalos logísticos de cada fluxo. Em vermelho, estão os gargalos mais críticos que possuem um fator de ocorrência durante o período de uma safra de soja ou milho completa de 100%, ou seja, são gargalos que são sempre verdade. Em laranja, encontram-se os gargalos que possuem fator de ocorrência em 75% dos casos, ou seja, são gargalos que usualmente são verdadeiros. Os demais gargalos estudados, por possuírem ocorrência abaixo dos 50% foram considerados como não críticos e, portanto, não foram alocados no quadro de resultados final. Vale ressaltar que os gargalos logísticos que se encontram com asterisco são aqueles que foram sugeridos além dos gargalos da literatura.

O Quadro 1 demonstra os gargalos logísticos (por categoria) que foram designados pelos especialistas para os quatro fluxos analisados e para o Porto de Santos/Guarujá.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se aferir pelos resultados, que a maioria dos gargalos logísticos de maior criticidade não são aqueles que foram abordados na literatura e sim gargalos novos que foram propostos pelos participantes da pesquisa.

Além disso, os resultados permitem que sejam feitas duas observações importantes, sendo a primeira delas que, segundo os respondentes, novas categorias de gargalos logísticos deveriam ser adicionadas às cinco categorias (Armazenagem, Modal rodoviário, Modal ferroviário, Modal hidroviário e Porto) que são abordadas na literatura, são elas: Gargalos na previsibilidade da safra, Gargalos burocráticos/regulatórios, Gargalos comerciais, Gargalos em relação a qualidade do produto, Gargalos climáticos.

E a segunda observação é a respeito dos gargalos logísticos de cada fluxo e dos terminais portuários em Santos/Guarujá da empresa estudada, que além de identificá-los, conseguiu-se ordená-los por seu nível de criticidade.

Por fim, destaca-se que o estudo proposto por este artigo, atingiu o seu objetivo com êxito, além de identificar os principais gargalos logísticos de cada fluxo de transporte da soja e milho até o Porto de Santos/Guarujá, identificou-se também seus níveis de ocorrência, possibilitando desta maneira saber quais são os gargalos mais críticos (que possuem maior ocorrência) em cada fluxo.

Categoria	Gargalo	Ocorrência no fluxo 1	Ocorrência no fluxo 2	Ocorrência no fluxo 3	Ocorrência no fluxo 4	Porto Santos/Guarujá
Armazenagem	Armazenagem nas fazendas	Usualmente é verdade	Usualmente é verdade	-	-	-
Armazenagem	Perdas durante o armazenamento	Usualmente é verdade	Usualmente é verdade	Usualmente é verdade	-	-
Armazenagem	Curta previsibilidade de cotas para agendamento de descarga de caminhões*	Usualmente é verdade	-	-	-	-
Armazenagem	Baixa tolerância para cargas fora de padrão *	-	Sempre verdade	-	-	-
Armazenagem	Baixa capacidade de armazenagem no fluxo	-	Usualmente é verdade	Usualmente é verdade	-	-
Armazenagem	Armazenagem nas fazendas	-	-	Usualmente é verdade	-	-
Armazenagem	Baixo nível de eficiência (tecnologia ultrapassada)	-	-	Usualmente é verdade	-	-
Modal rodoviário	Condição inadequada das rodovias	Usualmente é verdade	-	-	-	-
Modal rodoviário	Perda de produto devido às condições inadequadas da via	Usualmente é verdade	Usualmente é verdade	Usualmente é verdade	-	-
Modal rodoviário	de fiscalização sobre a leis do motorista (tempo de direção e documentação da carga)	Usualmente é verdade	Usualmente é verdade	Usualmente é verdade	Usualmente é verdade	-
Modal rodoviário	Limitação do tamanho de balanço no terminal intermodal*	-	-	Sempre verdade	Sempre verdade	-
Modal rodoviário	Local de difícil acesso para caminhões no terminal intermodal*	-	-	Usualmente é verdade	-	-
Modal ferroviário	Adesão ao planejamento semanal do volume a ser movimentado*	Usualmente é verdade	Usualmente é verdade	Usualmente é verdade	-	-
Modal ferroviário	Preço do frete ferroviário cobrado pela concessionária abusivo*	Usualmente é verdade	Usualmente é verdade	Usualmente é verdade	-	-
Modal ferroviário	Quebras acima da tolerância na descarga de terminais intermodais de terceiros*	Usualmente é verdade	-	-	-	-
Modal ferroviário	Baixa velocidade/ Elevado tempo de trânsito	Sempre verdade	Usualmente é verdade	-	-	-
Modal ferroviário	Estado de conservação deficitário (infraestrutura e superestrutura)	-	Usualmente é verdade	-	-	-
Modal ferroviário	Previsibilidade e rastreabilidade da carga*	Sempre verdade	Usualmente é verdade	Usualmente é verdade	-	-
Modal ferroviário	Infraestrutura insuficiente (restrição de capacidade e limitação do número de linhas)	-	-	Usualmente é verdade	-	-
Modal hidroviário	Dificuldade de obter licenças ambientais	-	-	Sempre verdade	-	-
Modal hidroviário	Falta de operadores de transbordo nos principais portos fluviais	-	-	Sempre verdade	-	-
Modal hidroviário	Dificuldades na intermodalidade	-	-	Sempre verdade	-	-
Modal hidroviário	Quantidade insuficiente de eclusas	-	-	Usualmente é verdade	-	-
Modal hidroviário	Pontes com vãos estreitos	-	-	Usualmente é verdade	-	-
Modal hidroviário	Adesão ao planejamento semanal do volume a ser movimentado *	-	-	Usualmente é verdade	-	-
Modal hidroviário	Rastreabilidade da carga *	-	-	Usualmente é verdade	-	-
Porto	Limitação de recebimento dependendo do tipo do caminhão *	-	-	-	-	Sempre verdade
Porto	Limitação do fluxo de carga por meio de ferrovias	-	-	-	-	Usualmente é verdade
Porto	Limitação do fluxo de carga por meio de modal rodoviário *	-	-	-	-	Usualmente é verdade
Porto	Paralisação da operação devido chuva *	-	-	-	-	Usualmente é verdade

Quadro 1 – Criticidade dos gargalos logísticos nos quatro fluxos analisados e no Porto de Santos/Guarujá

Fonte: Autor (2023)

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. S. **Escoamento da soja em grão brasileira destinada à exportação**. v. 29, n. 14, p. 133, 2010.

AMARAL, M. DO; ALMEIDA, M. S.; MORABITO, R. Um modelo de fluxos e localização de terminais intermodais para escoamento da soja brasileira destinada à exportação. **Gestão & Produção**, v. 19, n. 4, p. 717–732, 2013.

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres. Disponível em: < <http://www.antt.gov.br/>>. Acesso em 23 de maio de 2019.

CAIXETA-FILHO, J. V. **A Logística do escoamento da safra brasileira**. Cepea/Usp, 2006.

CHANG, T. **Best routes selections in international intermodal networks**. Computers & Operations Research. 35. p 2877-2891. 2008.

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada Disponível em: < <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx> >. Acesso em 19 Maio 2023.

CONAB. Boletim de acompanhamento da safra brasileira de grãos. **Relatório técnico**, Maio 2023.

CUNHA, L. M. A. **Modelos Rasch e Escalas de Likert e Thurstone na medição de atitudes**. 78 f. 2007. Tese de Doutorado. Dissertação. Disponível em: < <repositorio.ul.pt/> >. Acesso em: 06 out. 2019.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Painel de Especialistas e Delphi: Métodos Complementares na Elaboração de Estudos Futuros**, 2018.

FLEURY, P.F.; WANKE, P. Logística no Brasil. In: FIGUEIREDO, K.F.; FLEURY, P. F.; WANKE, P. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**. São Paulo: Atlas, 2003. p. 48-56.

FREITAS, L. **A importância da eficiência logística para o posicionamento competitivo das empresas no mercado internacional**. RAU - Revista de Administração Unime. 2003. Disponível em < <http://www.unime.com.br> >. Acesso em 24 de maio de 2019.

GRISHAM, T. (2009). The Delphi technique: a method for testing complex and multifaceted topics. *International Journal of Managing Projects in Business*, 2(1), 112-130.

KAYO, E. K., SECURATO, J. R. (1997). Método Delphi: fundamentos, críticas e vieses. *Cadernos de Pesquisa em Administração*, 1(4), 51-61.

LINSTONE, H. A., TUROFF, M. (2002). *The Delphi method: Techniques and applications*. Addison Wesley Newark, NJ: New Jersey Institute of Technology.

MACHARIS, C.; BONTEKONING, Y. M. **Opportunities for OR in intermodal freight transport research: A review**. *European Journal of Operational Research*, 153: p. 400–416, 2004.

MIGUEL, P. A. C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Production**, v. 17, n. 1, p. 216–229, 2007.

MIRANDA, G. J., NOVA, S. P. C. C., CORNACCHIONE JR., E. B. (2012). Dimensões da qualificação docente em contabilidade: um estudo por meio da técnica Delphi.

OJIMA, A. L. R. O. **Panorama Mundial e Nacional da Soja Safras 2004/5 e 2005/6**. Revista Informações Econômicas, v.35, n.11, nov.2005.

OMETTO, J. G. S. Os gargalos da agroindústria. **O Estado de São Paulo**, 22 de maio 2006.

OSBORNE, COLLINS, S., RATCLIFFE, M., MILLAR, R., DUSCHL, R. (2003). What “Ideas-about-Science” should be taught in school science? A Delphi study of the expert Community.

PEIXOTO, N. E. S.; RIBEIRO, H. A. S.; GRANEMANN, S. R. Gargalos logísticos do escoamento da safra de grãos: consolidação dos problemas e soluções apontados por meio da revisão sistemática da literatura. **XXX Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino Transportes (ANPET)**, n. 2010, 2016.

PONTES, H. L. J.; DO CARMO, B. B. T.; PORTO, A. J. V. Problemas logísticos na exportação brasileira da soja em grão. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, v. 4, n. 2, p. 27, 2009.

SERRA, F. A. R, LOCKS, E. B. D., MARTIGNAGO, G., EVANGELISTA, S., PALUMBO, S. (2009). Pesquisa Delphi: O futuro do turismo de Santa Catarina – previsões entre 2007 e 2011.

SILVA, R. F., TANAKA, O. Y. (1999). Técnica Delphi: identificando as competências gerais do médico e do enfermeiro que atuam em atenção primária de saúde.

THOMÉ, K. M.; MEDEIROS, J. J. Drivers of successful international business strategy. **International Journal of Emerging Markets**, v. 11, n. 1, p. 89–110, 2016.

USDA. Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. Disponível em: < <https://www.usda.gov/media/agency-reports> >. Acesso em 19 maio 2023.

YIN, Robert. K. **Case Study Research Design and Methods**. 5a ed. Thousand Oaks: Sage, 2014.

YOUSUF, M. I. (2007). Using experts’ opinions through Delphi technique. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 12(4), 1-9.

## CAPÍTULO 5

# APLICAÇÃO DO FMEA: ESTUDO DE CASO VOLTADO PARA ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DO SISTEMA LOGÍSTICO DE TRANSPORTE EM UMA EMPRESA DE RECICLÁVEIS

---

*Data de aceite: 01/02/2024*

**Danilo de Oliveira Santos Costa**  
UNIFACOL - PE

**Allan Teixeira dos Santos**  
UNIFACOL - PE

**Bianca Mirelle Barbosa de Santana**  
UNIFACOL - PE

**Carla Monique dos Santos Cavalcanti**  
UNIFACOL - PE

**Cleiton Paulo da Silva Junior**  
UNIFACOL - PE

**Emerson José dos Prazeres Souza**  
UNIFACOL - PE

**Ênya Rauanne da Silva Santos**  
UNIFACOL - PE

**Fagner Rodrigues de Melo**  
UNIFACOL - PE

**Marcos André Moura Jordão Emerenciano**  
UNIFACOL - PE

**Marcos Antônio dos Santos Silva Filho**  
UNIFACOL - PE

**Marcos Polo de Carvalho Silva**  
UNIFACOL - PE

**Sérgio Augusto de Arruda Santiago**  
UNIFACOL - PE

**RESUMO:** O presente estudo tem o objetivo de analisar a confiabilidade dos transportes logísticos em uma empresa de recicláveis localizada na cidade de Gravatá, Pernambuco. A análise foi realizada através de dados obtidos do 4º trimestre do ano de 2022, no qual foi identificado falhas no processo relacionada a quilometragem, ineficiência da manutenção dos caminhões e falta de planejamento de rotas, impactando a satisfação dos consumidores. Aliando-se este fator a alta competitividade surge a necessidade da implementação de ferramentas de qualidade no setor de transportes, de modo a minimizar as ocorrência das falhas. Neste contexto, a proposta deste trabalho é aplicar a técnica FMEA (Failure Mode and Effect Analysis ou Análise de Modos de Falhas e seus Efeitos) para identificar as principais falhas e melhorar a confiabilidade do processo logístico de transporte em uma empresa de materiais recicláveis. Para está técnica se faz necessário a implementação de metodologias e estratégias como a RCM (Reliability- centered maintenance ou Manutenção Centrada na Confiabilidade), e a Manutenção Preventiva as quais são capazes de aumentar a produtividade e garantir o pleno funcionamento do

sistema logístico de transportes. Os resultados dados através da aplicação da FMEA mostram a importância da realização de manutenções planejadas e como isso pode afetar o planejamento de um setor que depende da entrega no momento certo para não deixar o cliente esperando. Portanto, as ações geradas foram executadas, e dessa forma, o setor de logística da empresa teve uma evolução satisfatória, onde foi definido e padronizado o planejamento de rotas e quilometragem, melhoria no controle das manutenções, diminuindo os custos e perdas gerados por quebras ou reparos emergenciais. Sendo assim, conseguiu elevar a confiabilidade dos transportes, garantindo alto nível de serviço logístico da empresa.

**PALAVRAS-CHAVE:** FMEA; RCM; Falha; Logística.

## INTRODUÇÃO

O transporte é considerado um dos fatores de grande relevância na economia do Brasil. De acordo com a Confederação Nacional do Transporte (2020), cerca de 65% da distribuição das cargas brasileiras é feita por meio do modal rodoviário, tornando este o principal meio das atividades logísticas. Nas indústrias, o sistema de produção depende dos transportes para a obtenção dos insumos necessários e o envio dos produtos até o consumidor final. Vale ressaltar que também segundo a Confederação Nacional de Transporte, este setor também se destaca na geração de empregos, representando 6 a 7% do Produto Interno Bruto Nacional (PIB), e melhoria da qualidade de vida das pessoas. A logística consiste no processo de planejamento, implantação e controle do fluxo eficiente e eficaz de mercadorias, serviços e das informações relativas desde o ponto de origem até o ponto de consumo com o propósito de atender às exigências dos clientes.

O sistema logístico tem a responsabilidade de disponibilizar serviços no momento desejado, portanto, é necessário a gestão e planejamento dos processos com exatidão (COELHO, 2017). Para esse tipo de controle é importante utilizar indicadores onde irá identificar e medir as possíveis falhas do processo, a fim de eliminá-las, deste modo, podendo garantir alta confiabilidade e qualidade do processo (ROSA; BENEDETI; MENDES, 2018).

O objetivo deste estudo foi analisar a confiabilidade dos transportes logísticos em uma empresa de recicláveis localizada na cidade de Gravatá, Pernambuco. A análise foi realizada através de dados obtidos do 4º trimestre do ano de 2022 de dois caminhões, sendo um de médio e outro de grande porte, com a finalidade de identificar falhas no processo relacionada à quilometragem, ineficiência da manutenção dos caminhões e falta de planejamento de rotas, impactando a satisfação dos consumidores. Aliando-se este fator a alta competitividade surge a necessidade da implementação de ferramentas de qualidade no setor de transportes, de modo a minimizar as ocorrência das falhas.

A proposta deste trabalho é aplicar a técnica FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis* ou Análise de Modos de Falhas e seus Efeitos) para identificar as principais falhas e melhorar a confiabilidade do processo logístico de transporte em uma empresa de materiais recicláveis. Para está técnica se faz necessário a implementação de metodologias

e estratégias como a RCM (*Reliability-centered maintenance* ou Manutenção Centrada na Confiabilidade), e a Manutenção Preventiva as quais são capazes de aumentar a produtividade e garantir o pleno funcionamento do sistema logístico de transportes.

## REFERENCIAL TEÓRICO

Com base na proposta do estudo, buscou-se na literatura ferramentas capazes de atingir os objetivos mencionados relacionado ao tema. Os subtópicos a seguir trazem o conhecimento desses recursos dividido em FMEA e suas aplicações, RCM e Manutenção Preventiva.

### **FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*)**

A FMEA é uma ferramenta preventiva que se propõe a gerenciar riscos por meio da identificação de potenciais falhas associadas a cada etapa de um processo (AFSHARI; ISSA; RADWAN, 2016), sendo também reconhecida como uma técnica de engenharia usada para definir, identificar e eliminar problemas conhecidos e potenciais do sistema, projeto, processo e serviço antes que eles cheguem ao cliente (BIN YUSOF; ABDULLAH, 2016).

De acordo com Palady (2011), a FMEA é uma técnica de baixo risco, eficiente na prevenção de problemas e identificação das soluções adequadas em relação ao custo, ela também, oferece uma abordagem estruturada que possibilita a avaliação, condução e atualização do desenvolvimento de projetos e processos em todos os setores da organização.

Conforme explica Stamatis (2003), existem quatro tipos de FMEA que são detalhados a seguir: FMEA de sistema – utilizado para verificar e analisar sistemas e subsistemas, logo no início do desenvolvimento do projeto. Nesse tipo foca-se em modos de falhas potenciais e nas comunicações entre os elementos do sistema, provenientes de deficiências ou funções do processo;

FMEA de projeto ou produto – utilizado para analisar produtos, em seus componentes, sistemas etc., antes do seu processo de fabricação. Foca em modos de falha causados por deficiência do projeto;

FMEA de processos – usado para analisar processos de fabricação e montagem. Focando nos modos de falhas potenciais causados por deficiências de processos durante estas etapas; FMEA de serviço – utilizados para verificação de serviços antecedendo a sua chegada ao consumidor. Foca em modos de falha causados por enganos e erros em tarefas do sistema ou do processo. Portanto é de fundamental importância saber qual tipo de metodologia FMEA utilizar, pois nem sempre a aplicação dessa ferramenta leva a conhecer as causas raízes das falhas no produto ou processo de que se trata, resultando em várias perdas para uma empresa ou equipe de implantação como tempo, custos, entre outros

(MCDERMOTT *et al.*, 2017). Vale ressaltar que a FMEA é considerado um documento “vivo” pois, depois de concluída a análise de um determinado processo ou produto, é necessário que sejam realizadas regularmente reuniões para revisão do documento, mesmo que não tenham ocorrido alterações no processo a qual foi aplicada a ferramenta ou no produto.

### **RCM (*Reliability-centered maintenance*)**

Confiabilidade é a probabilidade de um mecanismo desempenhar sua função de forma adequada, em um determinado período de tempo, sem sofrer falhas. A RCM visa melhorar as ações de manutenção com o planejamento aliado a ferramentas de análise de falhas para ter a maior disponibilidade reduzindo os custos e aumentando a segurança do ambiente. O seu objetivo é preservar as funções do sistema, identificar as falhas, elencar cada falha e ajudar a definir soluções preventivas (SILVA, 2018). Também, pode relacionar técnicas de gerenciamento de riscos e ferramentas de confiabilidade, como FMEA, com o objetivo de dar suporte a decisões estratégicas na manutenção.

### **Manutenção Preventiva**

É classificado manutenção preventiva todo o serviço de manutenção realizado em máquinas que não estejam em falha, ou seja, em condições operacionais ou em estado de zero defeito. Estes serviços são realizados em espaços de tempo predeterminados ou de acordo com padrões prescritos, com o objetivo de reduzir a probabilidade de problemas, tornando o andamento da produção mais tranquilo e constante. Uma das principais vantagens da manutenção preventiva é a possibilidade de gerar um sistema de confiabilidade, tendo uma maior noção da disponibilidade do equipamento (CASCAES, 2018).

Para estabelecer um plano de manutenções preventivas pode ser um pouco complexo, pois nem sempre os fabricantes fornecem dados precisos, e também, é válido pontuar que existe a influência tanto operacional quanto ambiental na expectativa de desgaste dos equipamentos. Portanto, este precisa ser bem elaborado e consolidado dentro do planejamento da empresa (ZANDAVALLI; THOMAZ, 2019).

## **PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Este trabalho abrange um estudo de caso qualitativo e quantitativo no setor de transporte logístico em uma empresa de recicláveis. Para alcançar de maneira eficaz o objetivo proposto, a pesquisa foi conduzida a partir da aplicação de métodos exploratórios utilizando-se como técnica o estudo de caso. O estudo de caso consiste no conhecimento aprofundado de atividades onde é possível detalhar os problemas e em seguida criar possíveis soluções (MARTINS, MELLO e TURRIONI, 2014). O método de pesquisa adotado neste trabalho foi definido por uma pesquisa exploratória dividida em três fases.

A primeira dá-se por um levantamento de dados sistêmicos internos da organização e participação de profissionais envolvidos no setor estudado, onde será utilizado o sistema de monitoramento dos veículos para realizar a coleta dos dados, que apresenta o tempo de ignição ligada diariamente e a quilometragem para cada veículo dentro de um período, com a finalidade de extrair os principais modos de falhas da área explorada.

Na segunda, foi feito uma análise de confiabilidade dos transportes logísticos da empresa.

Na terceira fase, foi elaborada uma análise de causa e efeitos das falhas utilizando-se a ferramenta FMEA. A Figura 1 representa, simplificada, as etapas consideradas para a realização deste trabalho.

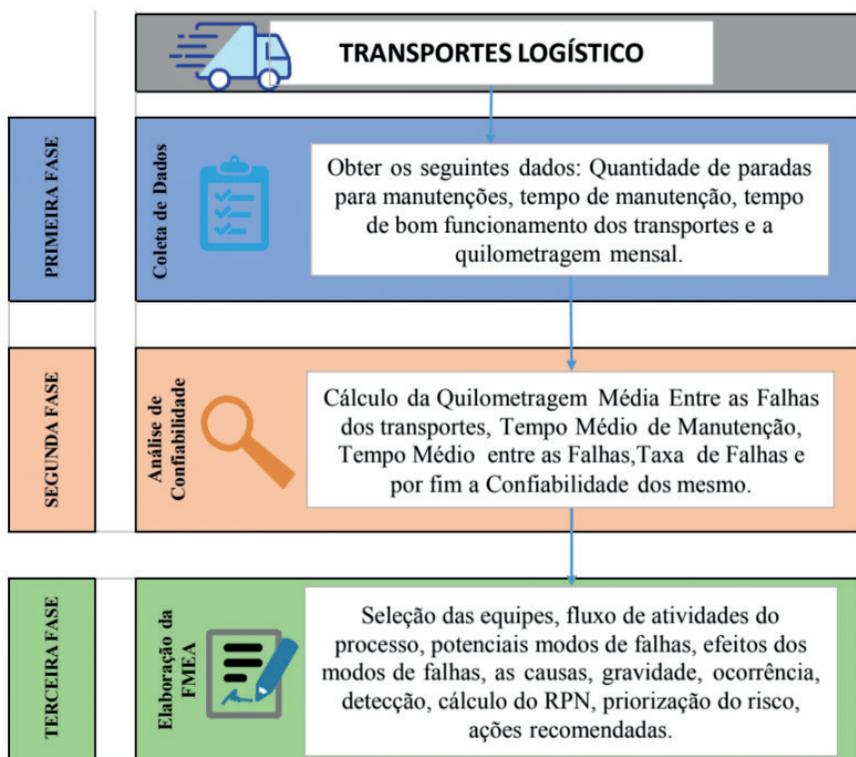


Figura 1. Fases de elaboração da pesquisa

Fonte: Autores (2023)

## Coleta de dados

Com base nas fases de elaboração da pesquisa, foi elaborada uma planilha do 4º trimestre do ano de 2022 dos caminhões de médio e grande porte, a fim de obter os seguintes dados: Quantidade de paradas para manutenções, tempo de manutenção, tempo de bom funcionamento dos transportes e a quilometragem mensal. Obtendo esses

dados será possível calcular a quilometragem média entre falha dos veículos, o tempo médio de manutenção, o tempo médio entre as falhas, a taxa de falhas e a confiabilidade dos respectivos transportes da empresa estudada, através das fórmulas apresentadas no subtópico posterior.

## Análise de confiabilidade

Após a realização da montagem da planilha de dados abordada no subtópico anterior, o próximo passo foi a análise de confiabilidade dos transportes mencionados. Para calcular a confiabilidade foi utilizado estimativas logarítmicas com base à trabalhos semelhantes publicado pelo o autor LIEBL, *et al* (2021), esta deve ser obtida através das seguintes fórmulas, apresentadas na Figura 2.

$\text{Quilometragem Média entre falhas} = \frac{\sum \text{Km por período}}{\text{N}^\circ \text{ de Manutenções por período}}$
$\text{Tempo Médio de Manutenção} = \frac{\sum \text{tempo de manutenção por período}}{\text{N}^\circ \text{ de Manutenções por período}}$
$\text{TMEF} = \frac{\text{Tempo em bom funcionamento}}{\text{N}^\circ \text{ de Manutenções por período}}$
$\text{Taxa de Falhas} = \frac{1}{\text{Tempo Médio Entre Falhas}}$
$\text{Confiabilidade} = e^{-\text{taxa de falhas} \cdot \text{tempo}}$

Figura 2. Fórmulas das análises de confiabilidade

Fonte: Autores (2023)

Como podemos observar na Figura 2, a primeira fórmula dá-se a Quilometragem Média Entre as Falhas dos transportes. Após este passo foi calcular o Tempo Médio de Manutenção aliado com o Tempo Médio entre as falhas. De forma complementar as duas últimas fórmulas posteriores foi usada para calcular a Taxa de Falhas e por fim a Confiabilidade dos mesmo. Sendo assim, através destes cálculos será possível analisar como está a “saúde” do processo de transporte logístico da organização em estudo e, a partir destes, realizar as possíveis medidas resolutivas.

## Análise de elaboração da FMEA

Na terceira fase do desenvolvimento metodológico deste estudo para a aplicação do formulário FMEA, fundamentou-se a partir de coleta de dados durante o 4º trimestre de 2022, através de: Entrevistas com os motoristas, estudo com os colaboradores da

área de logística, time gestão e direção da empresa, análises dos históricos de dados dos caminhões e planos de manutenção documentados. Neste sentido, a partir da utilização do *software Microsoft Excel®*, foi possível registrar e gerenciar as informações relativas à gestão da manutenção, possibilitando a realização de uma análise bem fundamentada dos dados obtidos.

A Figura 3 resume as etapas seguidas para implementação da FMEA de processo, na qual as informações importantes foram capturadas para execução dos próximos passos da pesquisa.

<b>Etapas</b>	<b>Descrição das etapas</b>
1 <sup>a</sup>	Seleção da Equipe FMEA
2 <sup>a</sup>	Fluxo de atividades do Processo
3 <sup>a</sup>	Levantamento dos Potenciais Modos de Falhas
4 <sup>a</sup>	Relação dos Efeitos potenciais de cada modo de falha
5 <sup>a</sup>	Levantamento das Causas para cada modo de falha
6 <sup>a</sup>	Classificação de Gravidade para cada efeito
7 <sup>a</sup>	Classificação de Ocorrência para o modo de falha e efeito
8 <sup>a</sup>	Classificação da Detecção para o modo de falha e efeito
9 <sup>a</sup>	Cálculo de RPN
10 <sup>a</sup>	Priorização dos Modos de falhas para ação
11 <sup>a</sup>	Tomadas de medidas para redução/eliminação dos modos de falhas

Figura 3. Etapas para Implantação da FMEA

Fonte: (Adaptado de Mcdermott *et al.*, 2017)

Como pode-se observar na Figura 3, a primeira etapa foi realizado a seleção dos membros da equipe FMEA, no qual estes, apresentam certa familiaridade com a área em estudo. Após este passo é necessário realizar a revisão do processo/produto, sendo assim a equipe deve fazer uma análise funcional do equipamento. Em complemento as 3 etapas posteriores estão relacionadas ao levantamento de como as falhas encontradas se manifestam e suas relativas causas e efeitos. Após estas etapas, existem informações necessárias para realizar as classificações de gravidade, ocorrência e detecção, podendo assim priorizar os modos de falha que mais afetam os transportes logísticos em estudo, por meio do cálculo de RPN. Por fim, deve-se priorizar os modos de falhas para elaboração de ações e estabelecer medidas para mitigar ou eliminar as falhas presentes no processo/produto.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como foi visto no procedimento metodológico, o estudo foi dividido em 3 fases: coleta de dados, análise de confiabilidade e elaboração do formulário FMEA, com base nisso, é possível averiguar nos subtópicos posteriores as aplicações e resultados obtidos destas fases, de forma que, seja possível atingir os objetivos deste estudo.

### Levantamento dos dados

Inicialmente foi montada a planilha através do *software Microsoft Excel®*, com o levantamento dos dados do 4º trimestre de 2022 citados no subtópico 3.1, nesta é possível observar a quilometragem mensal, quantidade de paradas para manutenções, tempo de manutenção e o tempo de bom funcionamento dos transportes em estudo. As figuras 4 e 5 mostram os dados do caminhão de médio e grande porte respectivamente.

Levantamento de Dados – Caminhão Médio Porte				
Mês	Quilometragem (Km)	Paradas para Manutenção (Quantidade)	Tempo de Manutenção (Horas)	Tempo de Bom Funcionamento (Horas)
Outubro	5.355	1	8	232
Novembro	5.155	1	8	232
Dezembro	4.590	3	24	216
Total	15.100	5	40	680

Figura 4. Dados do caminhão de médio porte

Fonte: Autores (2023)

De acordo com estes dados é possível observar que o caminhão de porte médio percorre em média 5.033km por mês, dessa forma, conforme mostra a Figura 4 é muito provável que seja necessário realizar algum reparo todos os meses, visto que, apresenta-se 5 paradas para manutenção com o tempo total de 40 horas. Em seguida observa-se o tempo de bom funcionamento do transporte, o qual resulta em 680 horas.

Levantamento de Dados – Caminhão Grande Porte				
Mês	Quilometragem (Km)	Paradas para Manutenção (Quantidade)	Tempo de Manutenção (Horas)	Tempo de Bom Funcionamento (Horas)
Outubro	3.370	1	12	228
Novembro	3.322	1	12	228
Dezembro	2.000	2	24	216
Total	8.692	4	48	672

Figura 5. Dados do caminhão de grande porte

Fonte: Autores (2023)

Na Figura 5, pode-se averiguar que o caminhão de grande porte percorre em média 2.897,3km por mês. Durante o 4º trimestre, foi realizada 4 paradas para manutenção, com o tempo total de 48 horas, e em conjunto o tempo de bom funcionamento, decorrente de 672 horas.

## Confiabilidade

Para que possa obter a confiabilidade dos transportes foi necessário o uso das fórmulas apresentadas na Figura 2, para calcular separadamente a quilometragem média entre falhas, o tempo médio de manutenção, o tempo médio entre as falhas, a taxa de falhas e a confiabilidade dos caminhões de médio e grande porte. Para tal feito, os respectivos resultados podem ser observados através dos subtópicos 4.2.1 e 4.2.2 respectivamente.

### Caminhão médio porte

A Figura 6 pode-se observar a confiabilidade do caminhão de médio porte através dos cálculos abordados no subtópico 4.2.

Confiabilidade – Caminhão Médio Porte	
Dados do 4º Trimestre 2022	Caminhão Médio Porte
Quilometragem Média Entre Falhas	3.020 KM
Tempo Médio de Manutenção	8 horas
Tempo Médio Entre Falhas	136 horas
Taxa de Falhas	0,0073529411
Confiabilidade	0,5%

Figura 6. Confiabilidade do caminhão de médio porte

Fonte: Autores (2023)

De acordo com a Figura 6 pode-se observar um valor muito baixo para a confiabilidade do caminhão no 4º trimestre do ano de 2022. Isso mostra que o planejamento para o mês tem grandes chances de não ser concluído sem que o caminhão tenha alguma falha.

#### *Caminhão grande porte*

Na Figura 7, pode-se verificar os dados de confiabilidade do veículo de grande porte da empresa estudada.

Confiabilidade – Caminhão Grande Porte	
Dados do 4º Trimestre de 2022	Caminhão Grande Porte
Quilometragem Média Entre Falhas	2.173 KM
Tempo Médio de Manutenção	12 horas
Tempo Médio Entre Falhas	168 horas
Taxa de Falhas	0,0059523809
Confiabilidade	1,38%

Figura 7. Confiabilidade do caminhão de grande porte

Fonte: Autores (2023)

A Figura 7, apesar do caminhão de grande porte mostrar uma confiabilidade maior que o de médio porte, estes dados apontam uma grande chance de existir falhas inesperadas no sistema de transporte logístico, sendo capaz de atrapalhar o planejamento mensal de entregas da organização.

## Aplicação da FMEA

Conforme visto na análise de elaboração da FMEA, para criação da equipe verificou-se as áreas que seriam realmente afetadas e constatou-se a participação de 5 pessoas na equipe, responsáveis pelas áreas afetadas pela FMEA, sendo elas: supervisão, PCM (Planejamento de Controle e Manutenção), logística, engenharia/manutenção e operação.

Em conformidade ao que se abrange na 2ª etapa de implantação da FMEA, a equipe realizou uma análise de funcionamento do sistema logístico, determinando as atividades do processo com o objetivo de conhecer o fluxo dos transportes que foi realizado no estudo. É possível analisar o fluxo de atividades do processo logístico na Figura 8.

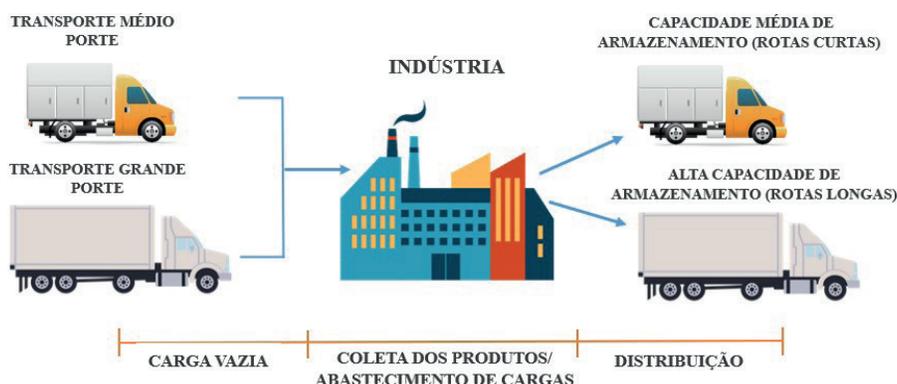


Figura 8. Fluxo de atividades do processo logístico

Fonte: Autores (2023)

Conforme a Figura 8 ilustra, o fluxo das atividades do processo logístico da empresa estudada, dar-se pela chegada dos caminhões com cargas vazias até o centro logístico de armazenamento dos produtos acabados, em seguida é realizado o abastecimento de cargas de acordo com o pedido, para demandas altas e rotas mais longas é utilizado o caminhão de grande porte, em casos de pequenas demandas e rotas curtas é utilizado o veículo de médio porte. Por fim o transporte é destinado para distribuição dos produtos até os clientes.

Através das informações inseridas no sistema logístico, um banco de dados foi criado, facilitando a percepção das eventuais falhas predominantes, utilizando as informações coletadas durante um período de 6 meses, considerando que o estudo foi baseado na quantidade de solicitações corretivas abertas pelos operadores. A Figura 9 mostra o número de modos de falhas e suas causas com as frequências e efeitos.

Lista de Modos de Falhas	Causa	Função Comprometida	Quantidade (Ocorrência)	% Acumulativa (Ocorrência)	Efeitos
Atrasos de Entregas dos Produtos	Caminhão Quebrado	Entrega dos Produtos	31	42,47	Atraso na Entrega dos Produtos/Insatisfação do Cliente
	Trânsito Intenso		22	30,14	
	Endereço Não Localizado		12	16,44	
Baixa Qualidade do Produto	Mercadorias Faltando	Satisfação do Cliente	5	6,85	Insatisfação do Cliente
	Produto com Avarias		3	4,11	
Total			73	100	

Figura 9. Lista de Modos de Falhas e suas Causas com as frequências e efeitos

Fonte: Autores (2023)

Analisando a quantidade de modos de falhas identificados, pode-se observar que a falha de maior ocorrência é a do caminhão quebrado, com 31 ocorrências, seguida pela falha de trânsito intenso com 22, e do endereço não localizado com 12. Foram correlacionados os efeitos para os principais modos de falhas listados, priorizando os que mais tiveram ocorrência, ou seja, aqueles que aconteceram mais de 10 vezes no período estudado. Tendo em vista que alguns problemas são bem mais severos e complexos que outros, através da observação da frequência e dos efeitos das falhas apresentadas, foi realizada uma análise para definição da ordem de prioridade para tratativa de cada modo de falha.

Através dos modos de falhas e seus potenciais efeitos listados na Figura 9, foi realizada pela equipe uma avaliação para a atribuição da gravidade e criticidade, considerando a classificação de 1 (sem efeito) a 10 (Perigoso) apresentada por Stamatis (2003). Além disto, também foram determinados valores de ocorrência das falhas no sistema dos transportes deste estudo, desde a classificação 10 (muito alto) até 1 (muito baixo) como classifica Mcdermott *et al.* (2017). Dessa maneira, a classificação de frequência de ocorrência, gravidade e índice de detecção por potencial modo de falha é apresentada na Figura 10.

Com a percepção realizada pelo time de engenharia da empresa e os operadores que foram os principais responsáveis pelas identificações das falhas, foi possível determinar os índices de detecção relacionados aos modos de falhas do processo logístico, conforme a Figura 10, preenchida de forma concisa e criteriosa pela equipe de acordo com os critérios de probabilidade de detecção de 10 (quase impossível) até 1 (quase certo) conforme classifica Mcdermott *et al.*(2017).

Causas dos Modos de Falha	Ocorrência	Gravidade	Deteção
Caminhão Quebrado	10	9	6
Trânsito Intenso	10	8	4
Endereção Não Localizado	8	5	2
Mercadorias Faltando	5	7	6
Produto Com Avarias	5	7	6

Figura 10. Classificação de Frequência de Ocorrência, Gravidade e Deteção por potencial Modos de Falhas

Fonte: Autores (2023)

A partir dos índices de Gravidade, Ocorrência e Deteção, estabelecidos na Figura 10, foi calculado os RPN de cada modo de falha através da equação definida abaixo e os resultados são demonstrados na Figura 11. Vale ressaltar que foi adotado as cores vermelhas para valores acima de 300 RPN, amarelo de acima de 200 RPN, e verde abaixo de 100 RPN.

Equação do RPN = Gravidade x Ocorrência x Deteção.

Causa dos Modos de Falha	Ocorrência	Gravidade	Deteção	RPN
Caminhão Quebrado	10	9	6	540
Trânsito Intenso	10	8	4	320
Endereção Não Localizado	8	5	2	80
Mercadorias Faltando	5	7	6	210
Produto Com Avarias	5	7	6	210

Figura 11. RPN por Potencial Modo de Falha

Fonte: Autores (2023)

Levando em consideração o índice de ocorrência, de fato os dois principais modos de falhas, ou seja, as que possuem maiores RPN, aqueles que ocorreram acima de 10 vezes, resultaram em aproximadamente 72,6% das falhas. Foi definido então pela equipe de Engenharia da empresa que seriam definidas soluções e ações a serem tomadas nos 5 potenciais modos de falha listados nas Figuras 9 e 10, com priorização nas 2 falhas de maior RPN, na tentativa de eliminar ou reduzir os potenciais modos de falhas, conforme metodologia apresentada por Murphy *et al.*(2011).

A Figura 12 mostra as ações recomendadas para os principais modos de falhas que foram analisadas no estudo.

Modos de Falhas	Ações Recomendadas
Caminhão quebrado	1 - Implementar plano de inspeção dos transportes logísticos
	2 - Elaborar cronograma para manutenção preventiva
	3 - Treinar os colaboradores sobre a importância da inspeção
Trânsito intenso	1 - Realizar mapeamento de rotas
	2 - Utilizar aplicativos que traçam rotas mais rápidas (Ex: Waze)
	3 - Determinar os horários de picos
Endereço não localizado	1 - Criar bloqueio no sistema onde o atendente não permita que o usuário finalize o processo sem que o mesmo esteja completo
	2 - Implementar sistema de localização digital
Mercadorias faltando	1 - Realizar conferência das saídas dos produtos
	2 - Realizar separação dos pedidos antes de ser movimentado para os caminhões
Produto com avarias	1 - Realizar inspeção dos produtos antes de ser liberado para o CD
	2 - Verificar causa do defeito
	3 - Verificar qualidade do produto

Figura 12. Ações Recomendadas para Melhoria por Modo de Falha

Fonte: Autores (2023)

De acordo com os 5 potenciais modos de falhas, é notório que os de maiores RPN está relacionado a ineficiência da manutenção no sistema de transportes, e também é valido afirmar que existe problemas de rotas dentro deste processo estudado. Dessa forma, através das ações recomendadas dos respectivos modos de falhas prioritários, será possível mitigar ou eliminar os modos de falhas existentes no setor logístico, e consequentemente alavancando os resultados da organização, tornando o seu nível de serviço eficiente.

## CONCLUSÃO

Considerando as fases mencionadas no procedimento metodológico, conclui-se que, a partir da necessidade da empresa em possuir ferramentas para analisar as falhas e a confiabilidade dos seus transportes, a técnica FMEA foi estudada para ser implementada no setor logístico, no qual através de sua aplicação foi identificado os modos de falhas e seus efeitos, e através disso, foi realizada a priorização dos mesmos. Aliado a isto, foi realizada a medição da confiabilidade dos transportes estudados, a fim de verificar a “saúde” dos transportes estudados. Sendo assim, foram estabelecidas ações voltadas para manutenções preventivas dos transportes e de melhorias que estão alinhadas ao propósito da empresa em tornar os seus serviços confiáveis e eficientes, a fim de desenvolver formas de impedir que as falhas venham gerar insatisfação aos clientes.

## REFERÊNCIAS

**A dependência do transporte rodoviário no Brasil.** Estadão summit mobilidade, 2021. Disponível em: <https://summitmobilidade.estadao.com.br/guia-do-transporte-urbano/a-dependencia-do-transporte-rodoviario-no-brasil/>. Acesso em: 18 de maio de 2023.

AFSHARI, H.; ISSA, M. H.; RADWAN, A. **Using failure mode and effects analysis to evaluate barriers to the greening of existing buildings using the leadership in energy and environmental design rating system.** Journal of Cleaner Production, Oxford, v. 127, p. 195-203, 2016.

BIN YUSOF, M. A.; ABDULLAH, N. H. BT. **Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) of butterfly valve in oil and gas industry.** Journal of Engineering Science and Technology, Selangor, Special edition, p. 9-19, 2016.

BUCH, E. **Implantação de um programa de manutenção centrada em confiabilidade para veículos pesados.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2019.

CASCAES, C. M. **Gestão da manutenção preventiva em uma cervejaria de Médio porte.** Universidade Estadual do Amazonas. 2018.

CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da qualidade: conceitos e técnicas**, 2a ed. Atlas, 2012.

CARVALHO, Marly Monteiro de PALADINI, Edson Paladini (Coord.) **Gestão da Qualidade-Teoria e Casos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012.

COELHO, L. W. **A gestão logística com indicadores de desempenho: proposição de melhorias em uma transportadora.** Universidade Federal de Santa Catarina. 2017.

LIELB, Gustavo *et al.* **Análise da confiabilidade em uma frota de caminhões de transporte de resíduo.** V Congresso Nacional de Inovação e Tecnologias. Universidade do Estado de Santa Catarina. 2021.

KARDEC, A; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. 3. ed. rev. e. ampl. Rio de Janeiro: Qualitymark, Petrobras, 2009.

LAFRAIA, João Ricardo Barusso **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2008.

MARTINS, Roberto Antônio; MELLO, Carlos Henrique Pereira; TURRIONI, João Batista. **Guia para Elaboração de Monografia e TCC em Engenharia de Produção São Paulo**: Atlas, 2014.

MCDERMOTT, R. E.; Mikulaki, R. J.; Beauregard, M. R., 2017. **The Basics of FMEA**. CRC Press.

MURPHY, M.; Heaney, G.; Perera, S., 2011. **“A methodology for evaluating construction innovation constraints through project stakeholder competencies and FMEA”**. Construction Innovation: Information, Process, Management, v. 11, p. 416–440.

PALADY, P., 2004. **FMEA análise dos modos de falhas e efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram**. IMAN, São Paulo.

ROSA, K. R.; BENEDETI, P. H.; MENDES, O. L. **Utilização de indicadores de desempenho no desenvolvimento estratégico logístico em empresas de transporte rodoviário terceirizado.** Revista Interface Tecnológica, [S. l.], v. 15, n. 1, p. 148-158, 2018. DOI: 10.31510/infra.v15i1.370.

SILVA, M. M.; ALMEIDA, M. V.; LEMES, D. A. S.; CAMPAROTTI, C. E. S. **Proposta de planejamento da manutenção em uma indústria de rações baseada na manutenção centrada na confiabilidade.** Simpósio Nacional de Engenharia de Produção, 2018.

STAMATIS, D. H., 2003. **Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution.** ASQ Quality Press, Milwaukee.

ZANDAVALLI, A. G.; THOMAZ, M. R. **Proposta de redução de custos com óleo Lubrificante na manutenção preventiva de bombas de vácuo de uma Agroindústria.** Anais da Engenharia Mecânica / ISSN 2594-4649, [S.l.], v. 4, n. 1, p. 167 - 185, apr. 2019. ISSN 2594-4649.

# ESTUDO DE FILAS EM UMA UNIDADE DE SAÚDE UTILIZANDO SOFTWARE DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL ARENA

---

*Data de aceite: 01/02/2024*

### **Adrian Gustavo dos Santos Fernandes**

Graduando em Engenharia de Produção  
Agroindustrial  
UNESPAR  
<https://lattes.cnpq.br/2971626045879659>

### **Carolina Garcia**

Graduanda em Engenharia de Produção  
Agroindustrial  
UNESPAR

### **Claudilaine Caldas de Oliveira**

Doutora em Engenharia de Produção  
UNESPAR  
<http://lattes.cnpq.br/7620264911600552>

### **Luciano Admir Assunção Leite**

Graduando em Engenharia de Produção  
Agroindustrial  
UNESPAR

### **Marcela Vitória Dantas**

Graduanda em Engenharia de Produção  
Agroindustrial  
UNESPAR  
<http://lattes.cnpq.br/5293989361455120>

### **Márcia de Fátima Moraes**

Doutora em Engenharia de Produção  
UNESPAR  
<http://lattes.cnpq.br/1933606560664711>

### **Rony Peterson da Rocha**

Doutor em Engenharia de Produção  
UNESPAR  
<http://lattes.cnpq.br/9289422971720240>

### **Vinicius Gustavo da Cruz**

Graduando em Engenharia de Produção  
Agroindustrial  
UNESPAR  
<http://lattes.cnpq.br/6305563760123784>

**RESUMO:** Devido ao atual cenário e crescentes exigências dos usuários, as unidades de saúde passaram a buscar diferentes alternativas para atender seus pacientes com eficiência e qualidade, a fim de satisfazer as suas necessidades. Este trabalho aborda o problema de filas e o desenvolvimento de um modelo para a simulação computacional, através do *software* Arena, capaz de auxiliar a tomada de decisões em um Centro de Saúde no interior do estado do Paraná. Este estudo utilizou o método de abordagem misto, classificou-se como descritiva, quanto aos meios bibliográficos e estudo de caso. A coleta de dados foi realizada pela técnica de cronoanálise em visitas *in loco*. Com a pesquisa, foi possível verificar que há

um congestionamento de filas no atendimento do clínico geral devido a alta demanda de consultas realizadas diariamente e o grande número de pessoas na fila da recepção. Com isso sugere-se a realocação de funcionários ociosos para prestar auxílio às pessoas na fila da recepção.

**PALAVRAS-CHAVE:** Simulação Computacional. *Software Arena*. Congestão de Filas.

**RESUMEN:** Debido al escenario actual y las crecientes demandas de los usuarios, las unidades de salud comenzaron a buscar diferentes alternativas para atender a sus pacientes con eficiencia y calidad, con el fin de satisfacer sus necesidades. Este trabajo aborda el problema de las colas y del desarrollo de un modelo de simulación computacional, a través del software *Arena*, capaz de ayudar la toma de decisiones en un Centro de Salud del interior del estado de Paraná. Este estudio utilizó el método de enfoque mixto, se clasificó como descriptivo, en cuanto a los medios bibliográficos y estudio de caso. La recolección de datos se realizó mediante la técnica de cronoanálisis en visitas in situ. Con la investigación se pudo constatar que existe congestión de colas en la atención del médico general debido a la alta demanda de consultas que se realizan diariamente y la gran cantidad de personas en cola en la recepción. Con esto, se sugiere reasignar a los empleados ociosos para brindar asistencia a las personas en la cola de recepción.

**PALABRAS-CLAVE:** Simulación computacional. *Software Arena*. Congestión de colas.

## CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Devido ao atual cenário de globalização e crescentes exigências dos usuários, as unidades de saúde passaram a buscar diferentes alternativas para atender seus pacientes com eficiência e qualidade. Além disso, existe uma preocupação significativa nos centros de saúde em relação ao seu gerenciamento, problemas com congestão de filas, alocação de recursos e de funcionários.

A congestão de filas tem se tornado cada vez maior nos centros de saúde, tendo em vista isso, é necessário analisar os serviços prestados, bem como a movimentação de pessoas dentro da organização, pois prestar um serviço de qualidade envolve múltiplos aspectos, como entender as necessidades do usuário, adequar a capacidade de atendimento de acordo com a necessidade, além de proporcionar um atendimento adequado ao usuário e reduzir o tempo de espera do atendimento, mantendo assim a satisfação do usuário em relação ao serviço prestado (SANTOS, 2020). Para analisar o problema de filas e propor soluções de melhorias utilizou-se conhecimentos da pesquisa operacional, simulação e simulação computacional.

A Pesquisa Operacional resolve problemas práticos e reais envolvendo situações de tomada de decisão por meio de modelos matemáticos, muitas vezes, utilizando-se de recursos computacionais. Segundo a Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO, 2008) ela é uma ferramenta imprescindível para que engenheiros de produção desenvolvam melhores práticas de gestão e modernização de processos.

Já a simulação é uma técnica que visa desenvolver um modelo que melhor represente o sistema em estudo por computador, a fim de visualizar e estudar o seu funcionamento (PRADO, 2014). Para Banks et al. (2005), as simulações computacionais são frequentemente utilizadas para testar alternativas de mudanças sem alterar o sistema real e para identificar gargalos no processo produtivo, além de permitir a identificação de processos para ampliação das capacidades dos sistemas produtivos.

O presente trabalho se enquadra na área de conhecimento de Engenharia de Produção denominada Pesquisa Operacional e na subárea de Modelagem, Simulação e Otimização (ABEPRO, 2008).

A simulação será realizada por meio do *software* Arena, que é uma poderosa ferramenta de análise de cenários e simula diversos processos. Por meio da análise dinâmica e interação entre os componentes do sistema, é possível identificar gargalos, melhores condições de operação, visualizar tamanhos de filas, ocupação de recursos e verificar o comportamento do sistema (PARAGON, 2019).

Perante o exposto, o objetivo geral deste estudo é desenvolver um modelo para a simulação computacional do sistema do Centro de Saúde estudado, verificar seu comportamento em relação aos dados coletados e propor sugestões de melhoria de acordo com os resultados alcançados com o estudo.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### Simulação

Segundo Gavira (2003, p. 57), “a simulação utiliza-se de um modelo para estudar o sistema real sem a necessidade de gastos com pessoal e equipamentos e com riscos de falha reduzidos”, ou seja, é a execução virtual de determinado sistema, sem a necessidade real de movimentações físicas de equipamentos, financeiras e mão de obra, de modo que seja possível validar o sistema planejado.

De acordo com Florêncio *et al apud* Ferreira (1999), é apresentado a seguinte definição:

A simulação se refere a técnicas, largamente usadas em pesquisa operacional e ciência do gerenciamento, para imitar ou simular, usando computadores ou não, a operação de várias classes de processos ou serviços do mundo real ou de sistemas idealizados para melhorar o desempenho do mesmo através da comparação de alternativas e da análise de sensibilidade dos parâmetros do sistema (FLORÊNCIO *ET AL APUD* FERREIRA, 1999, p.2).

A simulação irá manipular um modelo matemático, que representa um sistema, e gerar resultados através dos diversos experimentos realizados em diferentes condições. Gavira (2003)

Então, de acordo com Hillier e Lieberman (2013), um modelo de simulação resume um sistema construindo-o componente por componente, evento por evento. O modelo então executa sistemas simulados para obter observações estatísticas do desempenho do sistema causado por vários eventos gerados aleatoriamente. Como as execuções de simulação geralmente exigem a geração e o processamento de grandes quantidades de dados, esses experimentos estatísticos simulados são inevitavelmente executados em computadores.

Para Souza *et al apud* Brighenti (2006) o processo de simulação segue um método científico, onde são apresentadas etapas a serem seguidas, dispostas na Figura 1.

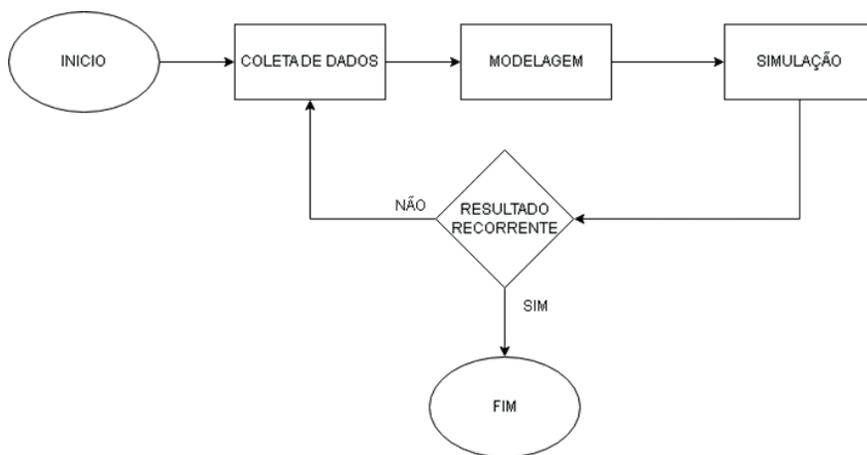


Figura 1: Modelo de um sistema computacional.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Observando a Figura 1, nota-se que para dar início à simulação deve-se primeiro coletar os dados para então realizar a modelagem, a etapa seguinte é a execução da simulação, e por fim a avaliação dos resultados.

## Simulação computacional

Devido aos avanços tecnológicos, a simulação evoluiu muito, permitindo alcançar excelentes níveis de confiança. As capacidades de cálculo atuais permitem executar os mais diversos modelos matemáticos que, juntamente com as técnicas visuais, refletem fielmente a realidade em toda sua complexidade (LANDER, 2015 *apud* NEGRÃO *et al* 2016).

De acordo com Miyagi (2006, p. 2) *apud* Souza Neto *et al (s.d.)* a simulação computacional é definida como sendo a imitação de sistema do mundo real que envolve a criação de uma “história artificial de um sistema para a análise de suas características operacionais”.

Para Morais (2013), são fatores que tornam desejável o uso de técnicas de simulação aliadas aos benefícios computacionais: Tempo; Custo; Impossibilidade de experimentação direta; Visualização; Repetição; Interferência.

Segundo Gavira (2003), algumas das vantagens da simulação são: modelos mais realistas, criados de acordo com o processo real sem precisar se adequar ao padrão; modelagem evolutiva, os modelos tornam-se progressivamente mais complexos; questões como “e se?”, ao invés de buscar soluções, é possível encontrar novas formas de fazer as coisas testando cenários possíveis; aplicações a problemas “mal estruturados”, essencialmente qualquer tipo de problema pode ser simulado; fácil comunicação porque os modelos de simulação são fáceis de entender; correções rápidas; flexibilidade; entre outros benefícios (GAVIRA, 2003).

Devido a grande quantidade de dados utilizados para gerar diversos cálculos e a sua complexidade, ao longo do tempo foi desenvolvido softwares que possam fornecer estimativas do desempenho dos projetos alternativos. (HILLIER e LIEBERMAN, 2013).

## Simulação no software Arena

De acordo com Negrão *et al* , entre os vários softwares disponíveis no mercado, encontra-se o ARENA®, lançado no ano de 1993 pela Systems Modeling, sendo um software que apresenta um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém todos os recursos para modelagem de processos, desenho e animação, análise estatística e análise de resultados. A tecnologia que diferencia o ARENA® é a criação templates, ou seja, uma coleção de objetos/ferramentas de modelagem, que permitem ao usuário, descrever o comportamento do processo em análise, através de respostas às perguntas pré-elaboradas, sem programação, de maneira visual e interativa (PARAGON, 2008).

O Arena conta com módulos para a descrição do problema a ser tratado pela simulação computacional, porém, podem ser citados como “principais” os módulos *Create* (utilizado para descrever o começo da simulação, ou seja, o ponto inicial), *Process* (trata do processo em si, como alocação de recursos em determinado posto de trabalho, bem como tempo de processamento), *Decide* (como o próprio nome já diz, esse módulo trata do problema quando há decisões, ou seja, quando é necessário decidir entre duas ou mais alternativas) e *Dispose* (saída ou finalização do problema).

Também é possível identificar no menu principal a aba ‘Ferramentas’, onde se encontra uma ferramenta importante para o tratamento de dados: *Input Analyzer*. Para Morais (2013), essa ferramenta executa a importante função de realizar o tratamento estatístico de dados, devolvendo ao usuário a melhor distribuição estatística para o conjunto de dados fornecidos. Para utilizá-la, os dados podem ser inseridos no *software* a partir do comando ‘*Fit All*’.

A linguagem de simulação incorporada ao *software* Arena é o *Siman V*, que pertence à categoria geral de linguagem ou ambiente de modelagem e simulação, ou seja, o sistema a ser modelado pode pertencer a qualquer campo de aplicação, como: manufatura, serviço, sistema de transporte, logística, computador, etc. (MORAIS, 2013). A Figura 2 mostra a tela inicial do Software Arena.

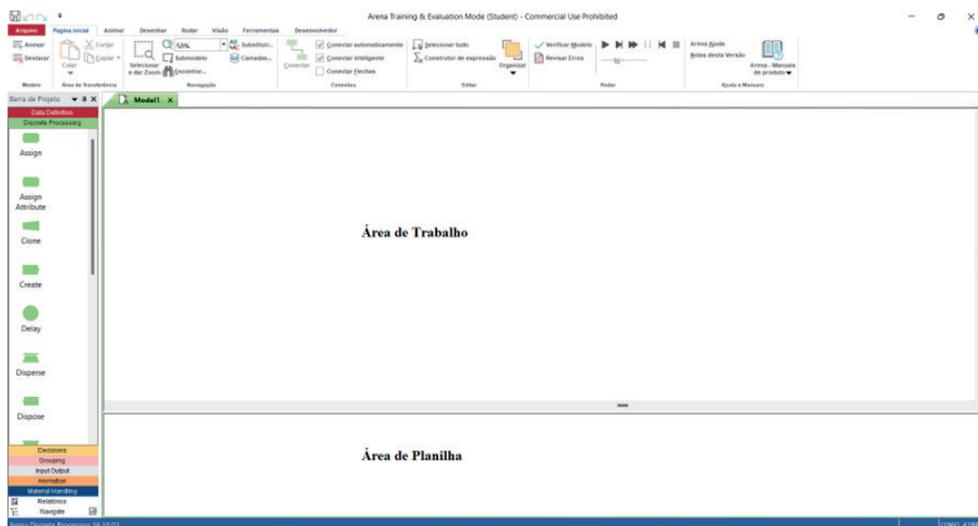


Figura 2: Tela Inicial do Software Arena versão 16.10

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

## REVISÃO DE LITERATURA

Essa revisão de literatura analisou trabalhos publicados no período de 2017 a 2022, sobre a utilização da simulação computacional para tomada de decisões, no que diz respeito a problemas de congestão de filas e alocação de funcionários. Os bancos de dados utilizados para a busca de trabalhos foram: anais de eventos de Engenharia de Produção, como Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), Simpósio de Engenharia de Produção (SimpEP) e Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção (ConBREpro).

As principais palavras-chaves utilizadas na busca por trabalhos são: Simulação Computacional, *Software* Arena, Hospital, Tomada de decisão. Entretanto, o intuito foi selecionar pesquisas que tinham o mesmo foco deste presente trabalho, selecionando apenas 5 pesquisas. No Quadro 1, há a apresentação dos trabalhos sobre a aplicação da simulação computacional para auxiliar na tomada de decisão no setor de atendimento em unidades de saúde:

AUTOR	ANO	OBJETIVOS
MEDANI; MANZANI	2019	Realizar uma previsão do número de cirurgia de mãos a ser realizada em uma unidade da saúde, de maneira a obter o planejamento da rotina semanal de cirurgias e auxiliar na tomada de decisão nos níveis estratégico e tático.
GUTTIERREZ; FURLAN	2018	Identificar os potenciais gargalos nas filas e nos processos que compõem o atendimento de pacientes em um hospital.
BARBOSA; DE FREITAS; MAPA	2019	Determinar as fronteiras da simulação; avaliar o nível de satisfação dos usuários do sistema; conhecer o fluxo do processo na Unidade; coletar dados e tratá-los estatisticamente; proceder a modelagem e simulação computacional; analisar os resultados; gerar relatórios e propor melhorias.
DE FRASSATI; DE MELO; DE MORAIS; DE MEDEIROS	2017	Elaborar um projeto de simulação na clínica, utilizando o software Arena, simulando todo o processo de atendimento inicial até a coleta de material para exames.
DIAS et al.	2018	Analisar o processo de atendimento e o gerenciamento de filas em um hospital, bem como propor melhorias em todos os fluxos de atendimento da unidade.

Quadro 1 - Revisão de literatura.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

## METODOLOGIA

Para realização deste estudo, o método de abordagem utilizado foi o misto, que de acordo com Creswell (2007) é empregado quando se utiliza de dados quantitativos e qualitativos na busca de um melhor entendimento do problema de pesquisa, desta forma utilizou-se deste método para a coleta dos dados na unidade de saúde.

Quanto aos fins a pesquisa classifica-se como descritiva, pois teve como foco descrever as etapas do processo (FREITAS; GONÇALVES *apud* CORDEIRO *et al.* 2018). Deste modo, objetivou-se identificar as características do sistema de atendimento de uma unidade de saúde.

Quanto aos meios, classifica-se como bibliográfica e estudo de caso (GIL, 2008). Bibliográfica, pois foram coletadas informações em materiais publicados em livros e mídias eletrônicas para a elaboração da fundamentação e revisão de literatura e estudo de caso, pois trata de um assunto específico visando fornecer subsídios para novas pesquisas.

Para a coleta de dados utilizou-se a técnica de cronoanálise, que é uma forma cronometrar o tempo de atividade do operador e mensurar este tempo padrão por meio de métodos estatísticos, utilizado para determinar a capacidade produtiva da empresa (PEINADO; GRAEML, 2007, p. 86). A coleta de dados foi realizada em visitas *in loco* nas datas 11/11/2022 e 22/11/2022, sendo realizada em apenas dois dias em função da autorização da instituição para a coleta ter sido restrita, além de haver outras limitações como a distância entre as cidades de residência dos membros da equipe e a instituição analisada e o tempo hábil para realizar o trabalho.

Foi analisado também todo o sistema de atendimento na unidade, sendo assim, o sistema inicia-se com a chegada do paciente na unidade de saúde, este dirige-se à recepção para obter informações com a recepcionista. Assim, a recepcionista o encaminha para uma das opções: salas de atendimento de acordo com a necessidade de cada paciente, para triagem, para medicação ou para o agendamento de exames laboratoriais. Em casos de pedido de informações ou agendamento de exames, o paciente tende a sair do sistema.

Para o planejamento, foram coletados: os Tempos Entre as Chegadas (TEC) dos pacientes no Centro de Saúde; os Tempos de Atendimento na Recepção (TAR); os Tempos de Atendimento na Triagem (TAT); e os Tempos de Atendimento em cada consultório (TA). Nestes dias, os médicos disponíveis para atendimentos eram: Clínico Geral, Ginecologia e Pediatria.

Foram coletadas uma totalidade de 141 amostras de TEC, 142 de TAR, 52 TAT, 29 TA para clínico geral, 9 TA para ginecologia e 5 TA no pediatra.

Uma vez que os tempos de atendimento seguem variáveis aleatórias, tomou-se a decisão de realizar uma amostragem e escolher a melhor distribuição estatística que se aplica a eles que foram geradas pelo no *Input Analyzer* do Arena, sendo neste caso utilizada a opção *Fit All*.

Para utilizar essa ferramenta, os dados coletados foram convertidos, por conveniência, em segundos e minutos, tomando a cautela de que não haveriam dados em unidades de tempo diferentes numa mesma tabela. Assim, os dados foram passados para o Bloco de Notas e em seguida inseridos no *Input Analyzer* do Arena, assim, a própria ferramenta tratou os dados e devolveu a melhor distribuição para cada tabela. Dessa forma, foram obtidos as seguintes distribuições:  $-0,5 + \text{GAMM}(2,9, 1,31)$  para a Chegada de Pacientes;  $0,999 + \text{WEIB}(44,5, 0,527)$  para o Atendimento na Recepção;  $\text{NORM}(114, 77,7)$  para a Triagem;  $3,5 + \text{WEIB}(5,25, 1,36)$  para o atendimento no Clínico Geral;  $5,5 + 8 * \text{BETA}(0,695, 0,874)$  para atendimento no Pediatra e;  $2,5 + 6 * \text{BETA}(0,445, 0,854)$  para atendimento no Ginecologista.

Com as distribuições de cada módulo, foi possível executar a modelagem do sistema no Arena e rodá-lo por um período de 8h. A partir disso, gerou-se um relatório com todos os resultados da simulação, sendo possível identificar o comportamento das filas nos postos de trabalho da unidade de saúde estudada com base nos dados coletados.

## APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO

### Descrição da unidade de saúde investigada

A instituição de prestação de serviços médicos analisada para o estudo de Simulação Computacional foi uma Unidade de Saúde, localizada em um município do interior do Paraná. Esta unidade de saúde oferece serviços médicos pelo Sistema Unificado de Saúde (SUS) e desde 2018 tem oferecido atendimento 24h/dia para a população.

O atendimento à população é feito basicamente pelos postos:

I) Recepção: realiza o agendamento de consultas e exames, fornece informações e faz a recepção pré-atendimento para quem irá passar em consulta no horário agendado naquele dia;

II) Triage: realiza a anamnese do paciente, ou seja, fará o primeiro atendimento do paciente com as enfermeiras para determinar a prioridade de atendimento com base na gravidade da condição que o paciente se encontra. Essas informações são colocadas no sistema e encaminhadas ao médico;

III) Especialista: são os médicos que realizam o atendimento ao paciente, são realizados diagnósticos, encaminhamento para outras especialidades, prescrição de guias de encaminhamento para exame e receitas.

Além disso, o local também oferece outros serviços, como: vacinação, acompanhamento pré-natal e pós-parto, serviço de dispensação de órteses, próteses e materiais especializados, serviços de laboratório de próteses dentárias, oficinas de planejamento familiar, curativos, exercícios físicos, acompanhamento com agentes de saúde na comunidade, entre outros. Os atendimentos médicos diários são clínicos gerais e duas vezes por semana são pediatria e ginecologia, além de médicos de atendimento para emergência.

A espera de pacientes nos postos de saúde tende a ser longa diante da alta demanda de atendimento e os recursos disponíveis para a realização deste atendimento são limitados, além da falta de estrutura e profissionais da saúde são apontadas como causas do aumento desta demanda. Esta demora causa má qualidade e insatisfação no serviço prestado. Contudo, o encaminhamento dos pacientes deve ser o mais rápido possível, para que o quadro clínico do paciente não se agrave ou possibilite o risco de contágio.

## Modelagem no Arena

Como o sistema de filas estudado consiste em pacientes entrando na fila, aguardando serem atendidos e deixando o sistema, foi realizada a modelagem no *software*, conforme Figura 3:

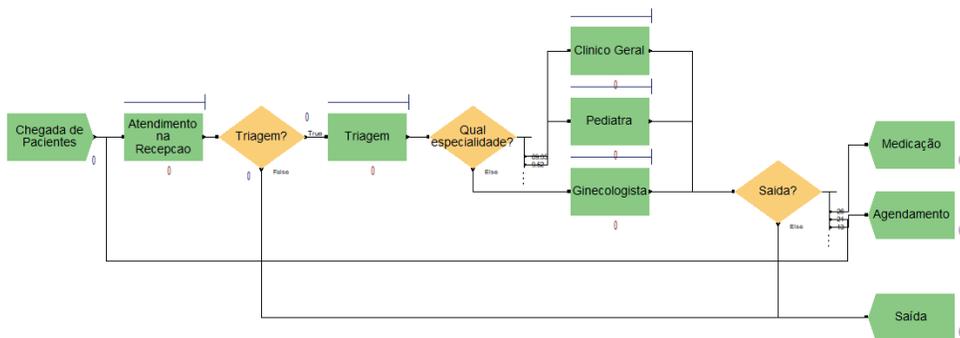


Figura 3: Modelagem no Arena.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

As configurações gerais da simulação foram para um período de 8 horas, sendo executada uma replicação da simulação do sistema, com o relatório fornecido em minutos. Assim, tem-se nessa simulação os blocos *Create* (chegada de pacientes), *Process* (para os processos de atendimento na recepção, triagem e atendimento com os médicos especialistas), *Decide* (utilizado para distinguir os pacientes que serão atendidos em outros postos ou sairão do sistema) e *Dispose* (saídas do sistema).

## Análise dos resultados

A Unidade de Saúde estudada, em geral, não tem um fluxo de pessoas tão intenso, pois a cidade em que está situada é de pequeno porte. Entretanto, em horários de pico (das 8h às 9h e das 13h às 14h), existe a formação de filas, em especial na recepção. Para verificar as condições atuais do funcionamento do sistema do ambiente estudado, foi executada uma replicação da simulação, obtendo a taxa de ocupação em cada setor, conforme Quadro 2:

Posto	Taxa de ocupação (%)
Recepção	42,92
Triagem	26,52
Clínico Geral	78,02
Pediatria	14,01
Ginecologia	18,33

Quadro 2: Taxa de ocupação em cada setor de atendimento.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Na simulação, obteve-se o tamanho médio da fila por setor de atendimento, conforme Quadro 3:

Posto	Tamanho médio	Tamanho Mínimo (número de pacientes)	Tamanho Máximo (número de pacientes)
Recepção	0.8949	0	8
Triagem	0.06095040	0	2
Clínico Geral	0.9251	0	4
Pediatria	0.01594395	0	1
Ginecologia	0.00290114	0	1

Quadro 3: Tamanho médio da fila em cada setor por número de pacientes.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Também foram fornecidos no relatório do *software* o tempo médio que cada paciente esteve na fila em cada posto, conforme Quadro 4:

Posto	Tempo médio (min)	Tempo Mínimo (min)	Tempo Máximo (min)
Recepção	2.3845	0	21.2436
Triagem	0.4433	0	3.7161
Clínico Geral	10.8308	0	38.0218
Pediatria	1.2755	0	6.5485
Ginecologia	0.07329195	0	3.7161

Quadro 4 - Tempo Médio na fila em cada setor em minutos.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Outro destaque é o tempo total que o paciente demorou para passar por todos processos necessários, que foi em média 11.1648 minutos e no máximo 100.78 minutos, ou seja, o paciente esperou mais de uma hora para sair do sistema.

Com base nos resultados obtidos no Quadro I, observa-se que a maior taxa de utilização do sistema é no clínico geral com 78,02%, pois ele realiza o maior número de consultas diárias em relação aos demais especialistas.

Diante do resultado obtido, no Quadro 3, analisou-se que o maior tamanho de fila se encontra na recepção, devido ao tamanho máximo de 8 pacientes na fila esperando serem atendidos, já os demais processos apresentaram tempos aceitáveis de espera. Os resultados do Quadro 4, mostram que o maior tempo médio de atendimento em cada setor é no clínico geral, pois os pacientes esperam em média 10 minutos para serem atendidos.

Neste cenário, resulta que o gargalo se encontra nos tempos de atendimento do clínico geral, devido à alta demanda de consultas realizadas diariamente, entretanto, mesmo tendo a maior taxa de ocupação, ainda assim há 21,98% de ociosidade do clínico geral, não sendo necessária a contratação de mais um médico para atuar nessa função.

Além disso, embora a recepção não apareça como gargalo, seria viável a realocação de de funcionários ociosos para sanarem dúvidas enquanto os pacientes estiverem na fila da recepção, dessa forma diminuiria o tempo de fila, pois boa parte dos pacientes querem apenas informações. Caso esta sugestão seja implementada, auxiliaria na organização do ambiente estudado, visto que o grande número de pessoas na fila da recepção atrapalha o fluxo de pessoas na entrada do Centro de Saúde, podendo causar até mesmo acidentes.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a elaboração deste estudo de caso utilizando a metodologia segundo Souza, (2014), onde a implementação do modelo computacional usado para simular a dinâmica operacional do sistema de atendimento de um Centro de Saúde na região centro-oeste paranaense, se deu primeiramente pela coleta e tratamento de dados, em seguida pela modelagem do sistema e por fim a simulação do mesmo para que a partir dos resultados simulados fosse possível uma sugestão de otimização.

Também foi possível confirmar as vantagens do uso da técnica de simulação, visto que identificou-se o setor com a maior taxa de utilização, por meio dos resultados simulados. Dessa forma, pode-se dizer que o objetivo principal deste estudo, compreendendo a circunstância da coleta de dados, foi alcançado, visto que o maior número de pacientes na espera está presente no setor do clínico geral, atendendo cerca de 78% do total de pacientes, realizando o maior número de consultas diárias. Tais resultados ficaram evidenciados no tópico de análise e resultados, que a maior taxa de utilização se encontra no clínico geral.

Em função da coleta de dados ter sido realizada somente em dois dias, sugere-se que sejam feitos estudos e coletas de dados em mais dias para que se possa afirmar que as filas realmente reproduzem esse comportamento e propõe-se, para a melhoria no atendimento da Unidade de Saúde, que colaboradores ociosos sejam realocados para fornecerem informações quando o número de pacientes na fila da recepção estiver grande.

Ao final deste estudo, fica clara a demonstração do quão importante é a Pesquisa Operacional e a simulação como ferramenta de análise de processos e para prospecção de mudanças e auxílio nas tomadas de decisões.

## REFERÊNCIAS

- ABEPRO. **Associação Brasileira de Engenharia de Produção. Áreas e Subáreas da Engenharia de Produção**. 2008. Disponível em: <<https://abepro.org.br/interna.asp?p=399&m=424&ss=1&c=362>>. Acesso em 12 de Nov. de 2022.
- BANKS, J.; CARSON II, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D. M. *Discrete - Event System Simulation*. 4ª ed. Upper Saddle River: Prentice Hall
- BARBOSA, A.G.S.; DE FREITAS, V.J.T; MAPA, S.M.S. **Simulação de eventos discretos aplicada à melhoria do nível de serviço na área da saúde**. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXXIX, 2019, Santos. Anais [...]* Santos: ENEGEP, 2019. Disponível em: [https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN\\_STP\\_292\\_1648\\_37988.pdf](https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_292_1648_37988.pdf). Acesso em: 14 de Dez. de 2022.
- BRIGHENTI, J. R. **Simulação e Otimização de uma Linha de Manufatura em Fase de Projeto**. 2006. 246 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção). Disponível em: [https://abepro.org.br/biblioteca/TN\\_STO\\_211\\_253\\_28149.pdf](https://abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_211_253_28149.pdf). Acesso em: 07 de Dez. de 2022.
- CORDEIRO, D.R.. **Aplicação da Rede PERT/CPM em uma Empresa de Biotecnologia**. 2018. Disponível em: [http://anais.unespar.edu.br/xii\\_eepa/data/uploads/artigos/3-pesquisa-operacional/3-04.pdf](http://anais.unespar.edu.br/xii_eepa/data/uploads/artigos/3-pesquisa-operacional/3-04.pdf). Acesso em: 07 de Dez. de 2022.
- CRESWELL, J. W. **Projeto de Pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/696271/mod\\_resource/content/1/Creswell.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/696271/mod_resource/content/1/Creswell.pdf). Acesso em: 07 de Dez. de 2022.
- DE FRASSATTI, J.C.; DE MELO, D.C.; DE MORAIS, J.F.; DE MEDEIROS, M.A.P.B.C. **Simulação do processo de coleta em um laboratório de análises clínicas**. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXXVII, 2017, Joinville. Anais [...]* Joinville: ENEGEP, 2017. Disponível em: [https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN\\_STO\\_243\\_410\\_34408.pdf](https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_243_410_34408.pdf). Acesso em: 14 de Dez. de 2022.
- DIAS, W.S. *et al.* **Aplicação do software arena para simulação e análise de filas em um hospital**. *In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXVIII, 2022. Anais [...]* SIMPEP, 2022. Disponível em: [https://www.simpep.feb.unesp.br/anais\\_simpep.php?e=17](https://www.simpep.feb.unesp.br/anais_simpep.php?e=17). Acesso em: 14 de Dez. de 2022.

FLORÊNCIO, P. H. B.; DANTAS, M. J. P. **Estudos sobre modelagem e simulação de sistemas de filas M/M/1 e M/M/2**. Disponível em <https://saepro.ufv.br/wp-content/uploads/2015/06/2014.2.pdf>. Acesso em: 16 de Dez de 22.

GAVIRA, M. O. **Simulação Computacional como uma Ferramenta de Aquisição de Conhecimento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18140/tde-20052003-004345/publico/Gavira1.pdf>. Acesso em: 3 de dez. de 2022.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2008. Disponível em: <https://ayanrafael.files.wordpress.com/2011/08/gil-a-c-mc3a9todos-e-tc3a9cnicas-de-pesquisa-social.pdf>. Acesso em: 07 de Dez. de 2022.

GUTTIERREZ, J.R.R.; FURLAN, J.A.P.. **Estudo da demanda média em um Pronto Socorro utilizando software Arena**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, VIII, 2018, Ponta Grossa. Anais [...] Ponta Grossa: ConBRepro, 2018. Disponível em: <http://anteriores.aprepro.org.br/conbrepro/2018/down.php?id=4565&q=1>. Acesso em: 14 de Dez. de 2022.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional**. 9ª Edição. Porto Alegre: AMGH, 2013.

MEDANI, L.V.; MANZANI, P.S.. **Simulação descrita para realização de cirurgias ortopédicas**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXXIX, 2019, Santos. Anais [...] Santos: ENEGEP, 2019. Disponível em: [https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN\\_STO\\_292\\_1648\\_37362.pdf](https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_292_1648_37362.pdf). Acesso em: 14 de Dez. de 2022.

MORAIS, M.F. **Modelagem e Simulação de sistemas**. Campo Mourão, Universidade Estadual do Paraná (Unespar) - Campus de Campo Mourão, DEP, 2013. 20 p. Apostila

NEGRÃO, P. H. et al. **Simulação de um sistema de filas em um posto de combustível situado em Campo Mourão/PR utilizando o Software Arena**. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. 12p. Anais... 2016. Disponível em: <http://www.dep.uem.br/simepro/anais/index.php/simepro/simepro/paper/viewFile/340/183>. Acesso em: 07 de Dez 2022.

PRADO, D. **Usando o ARENA em simulação**. 5ª Edição. Belo Horizonte: Editora de desenvolvimento gerencial, 2014.

PARAGON. **Arena**. Disponível em:<https://paragon.com.br/arena/>. Acesso em 06 de Dez de 2022.

PEINADO, J. GRAEML, A. R. Administração da produção: operações industriais e de serviços / Jurandir Peinado e Alexandre Reis Graeml Curitiba : UnicenP, 2007.

SANTOS, F. R.; QUARESMA, S. F. S.; OLIVEIRA, K. B.; MAGALHÃES. E. M. **Simulação de um sistema de filas em uma casa lotérica de Macapá, utilizando o software Arena / Simulation of a system of queues in a lottery house of Macapá, using the Arena software**. Brazilian Journal of Development. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/7683/6661> Acesso em: 06 de Dez de 2022.

SOUZA NETO, J.F.; LAGO, J.R.; OLIVEIRA NETO, N.M.; PEIXOTO, S.C.; SANTOS, A.F. **Desenvolvimento de um Simulador Computacional de Sistemas Magnéticos**. S.d. Disponível em: [https://8ccfd7f9-a-23408cdb-s-sites.googlegroups.com/a/uefs.br/erbase2014/artigos/125647\\_1.pdf?attachauth=ANoY7cq5mxQ5DNsfJ5TFUiutpInROm-vD9JlusrMwJlxRQSQW2892-CqZKtb2xdBVIS72kwpRIexyigv9q69rTDZ8-SNvWFomNPm9tuzfHWPYCXDWxsuOrsI3m8xJNcoAWdefEjEK-9nLCIV2tN6Bcdp95ASVnaaagJ9DsrAwzxf2AWqU7gTMYqo8eW1Ts8dXMcM7XeTRxzg5ia-SbW1UF6Q6IwlEwP4A%3D%3D&attredirects=0](https://8ccfd7f9-a-23408cdb-s-sites.googlegroups.com/a/uefs.br/erbase2014/artigos/125647_1.pdf?attachauth=ANoY7cq5mxQ5DNsfJ5TFUiutpInROm-vD9JlusrMwJlxRQSQW2892-CqZKtb2xdBVIS72kwpRIexyigv9q69rTDZ8-SNvWFomNPm9tuzfHWPYCXDWxsuOrsI3m8xJNcoAWdefEjEK-9nLCIV2tN6Bcdp95ASVnaaagJ9DsrAwzxf2AWqU7gTMYqo8eW1Ts8dXMcM7XeTRxzg5ia-SbW1UF6Q6IwlEwP4A%3D%3D&attredirects=0). Acesso em: 07 de Dez 2022.

## ABORDAGEM PARA APRENDIZADO DO SIMULADOR GEM5 PARA PESQUISADORES INICIANTES

*Data de aceite: 01/02/2024*

### **Pedro Corrêa Rigotto**

Bolsista de iniciação científica FIP PUC  
Minas

Computer Architecture and Parallel  
Processing Team (CArT)

Departamento de Ciência da Computação  
– Pontifícia Universidade Católica de  
Minas Gerais  
Belo Horizonte – MG – Brazil

### **Henrique Cota de Freitas**

Computer Architecture and Parallel  
Processing Team (CArT)

Departamento de Ciência da Computação  
– Pontifícia Universidade Católica de  
Minas Gerais  
Belo Horizonte – MG – Brazil

para que iniciantes comecem a utilizar o simulador de maneira rápida e fácil de entender.

**ABSTRACT:** The gem5 simulator is a tool with many features for computer architecture research. It supports full-system simulations, the market's most used Instruction Set Architectures (ISAs), and many system configurations. Researchers mostly use it, but it could also be used to teach computer architecture to students. In this article, we propose a simple approach for beginners to get started with the simulator in a quick and easy-to-understand manner.

### **INTRODUÇÃO**

A rápida evolução dos computadores demanda alternativas de suporte ao projeto e desenvolvimento. Desde as arquiteturas de computadores valvulados, transistorizados até os computadores quânticos, pesquisadores fazem uso de modelos analíticos e simulações em fases iniciais de projeto e teste. O estudo em cursos de graduação voltado para arquitetura de computadores

**RESUMO:** O simulador gem5 é uma ferramenta com muitos recursos para desenvolvimento de pesquisa em arquitetura de computadores. Ele suporta simulações de sistemas completos, as Instruction Set Architectures (ISAs) mais utilizadas no mercado e diversos tipos de configurações de sistema. É principalmente utilizado por pesquisadores, mas também pode ser utilizado para ensinar arquitetura de computadores a estudantes. Neste artigo, uma abordagem simples é proposta

concentra-se em pipelines escalares e superescalares, o que de certo modo, corresponde ao que mais está presente na indústria de processadores. Suportes a múltiplas threads e o desenvolvimento de múltiplos núcleos aumenta de maneira considerável a complexidade de estudo, pesquisa e desenvolvimento de arquiteturas sob um ponto de vista, principalmente, do estudante iniciante em pesquisa. Com um leque de opções de arquiteturas muito extenso, é necessário criar condições para que uma iniciação científica supere rapidamente uma barreira de aprendizado para que resultados não demorem a surgir.

Portanto, a pesquisa em arquitetura de computadores necessita de simuladores altamente precisos, para que inovações possam ser testadas de maneira rápida e confiável. Como dito por Akram and Sawalha [2019], a escolha de qual simulador utilizar depende muito do propósito da pesquisa, por ém existe uma opção que atende diversas demandas diferentes. Esse simulador é o gem5, que é uma aplicação que pode simular diversas arquiteturas e configurações [Binkert et al., 2011], e que será o simulador a ser utilizado para os propósitos deste artigo.

O simulador gem5 habilita a simulação de sistemas completos ou básicos, e isso nos permite utilizá-lo com a granularidade de precisão desejada. Para este artigo, não será utilizada a simulação completa (*full-system*), pois ela não é relevante para o aprendizado de iniciantes ao simulador, apesar de ser muito utilizada em pesquisas reais [Carmo et al., 2016; Penna and Freitas, 2013; Vasconcelos et al., 2014; Mishra, 2019].

O problema abordado por este artigo é que apesar de suportar várias configurações, o gem5 apresenta uma barreira para iniciantes, por ser tão complexo. A documentação existente falta atualizações necessárias e informações importantes. Isso significa que o iniciante deve abrir arquivos presentes no código fonte do simulador para descobrir a maneira correta de se utilizar alguma função. Al ém disso, o passo-a-passo disponível no site do gem5 para iniciantes<sup>1</sup>, al ém de ser muito complexo, é muito extenso. Ele deveria ser utilizado apenas para referência após o usuário já ter obtido conhecimento prévio, para que o aprendizado inicial seja rápido, e específicos possam ser estudados quando necessário.

O objetivo deste artigo é apresentar uma maneira mais didática e fácil de se começar a estudar o simulador, para que pesquisadores iniciando a sua pesquisa com essa ferramenta possam acelerar o seu processo de ambientação, e para que seja possível ensinar arquitetura de computadores a alunos de forma simples, sem que eles gastem tempo precioso para aprender funções que não serão utilizadas em um meio didático.

A abordagem para essa aprendizagem será utilizando scripts de configurações de exemplo já existentes no código fonte do simulador, em vez de que sejam feitos novos scripts para cada configuração a ser testada. Desse modo, pode ser aprendida a funcionalidade do simulador de maneira simples e rápida, sem entrar em detalhes de como construir seus próprios objetos ou scripts de configuração. Assim, poderá ser explorada a funcionalidade do gem5 de executar diferentes arquiteturas, tipos de processador, e

---

<sup>1</sup> [https://www.gem5.org/documentation/learning\\_gem5/introduction/](https://www.gem5.org/documentation/learning_gem5/introduction/)

configurações do computador simulado, al ém de permitir a comparação de resultados entre essas simulações, utilizando o próprio sistema de estatísticas do simulador.

O restante deste artigo será apresentado da seguinte forma: Na Seção 2 são discutidos artigos relacionados que exploram simuladores de sistemas computacionais, e onde este artigo se difere da literatura existente. As simulações executadas e os passos necessários para repetí-las são abordados na Seção 3. A Seção 4 apresenta a avaliação dos resultados encontrados e o conhecimento que foi possível ser extraído das estatísticas encontradas a partir das simulações feitas. São expostas as conclusões encontradas na Seção 5, e tamb ém o que pode ser explorado em trabalhos futuros.

## TRABALHOS CORRELATOS

Simuladores de sistemas computacionais são muito importantes para a pesquisa e o aprendizado. Eles proporcionam *insights* que seriam inobtiveis de outras maneiras. O mercado está repleto desses simuladores, cada um com os seus recursos e limitações.

Nikolic et al. [2009] fizeram uma pesquisa onde foram comparados diversos simuladores de sistemas de computadores em 2009. Os resultados encontrados mostram que nenhum simulador existente na época conseguia abordar todos os tópicos de um curso de arquitetura de computadores. Por ém, entre os que tiveram melhores resultados, se en- contra o simulador M5, que foi um dos dois simuladores que serviram de base para o desenvolvimento do gem5 [Binkert et al., 2011]. Isso indica que o gem5, por ter mais capacidades que o M5, é mais adequado para o ensino da arquitetura de computadores que os outros simuladores explorados pelos autores daquele artigo.

Simuladores de sistemas de computadores são usados para o ensino de arquitetura e organização de computadores [Ristov et al., 2013; Garcia et al., 2009; Soares et al., 2016; Radivojevic et al., 2018; Penna and Freitas, 2013], e existem benefícios do seu uso [Prasad et al., 2016]. Muitos desses simuladores sendo utilizados são visuais e simplificados. O gem5, apesar de não possuir interface gráfica, apresenta simulações de sistemas de maneira precisa. Ele consegue simular sistemas completos, incluindo sistema operacional, e obter estatísticas de desempenho que refletem o comportamento de sistemas reais. Estatísticas de execução de programas em sistemas físicos não são fáceis de se obter, e, ao utilizar o gem5, os estudantes podem ter contato com esses números que normalmente estariam fora do alcance.

Apesar de haver literatura disponível que explora simuladores, e o gem5 ser um dos mais utilizados na indústria [Lowe-Power et al., 2020], não foi encontrado nenhum artigo que tenha como objetivo facilitar a iniciação científica e sua exploração. Portanto, este artigo propõe uma abordagem que seja mais acessível e rápida para a ambientação no simulador. Assim, estudantes interessados em arquitetura de computadores e pesquisadores iniciantes na área poderão explorar essa ferramenta de maneira fácil e compreensível.

## ABORDAGEM DE SIMULAÇÕES REALIZADAS

Para os testes realizados, foram utilizadas três arquiteturas e três tipos de processador diferentes. As arquiteturas escolhidas foram as mais presentes no mercado, sendo elas ARM, x86 e RISC-V. Entre os tipos de processador disponíveis, foram testados o *TimingSimpleCPU*, *AtomicSimpleCPU* e *O3CPU*.

As CPUs *TimingSimpleCPU* e *AtomicSimpleCPU* são tipos de CPU simples. Isso quer dizer que elas não são muito detalhadas durante a sua execução, portanto, elas são utilizadas em momentos onde não é necessário um modelo mais detalhado. Elas executam as instruções em apenas um ciclo, exceto instruções de acesso à memória, portanto não há estatísticas de CPI para este tipo de CPU.

A *TimingSimpleCPU* é a mais detalhada das CPUs simples, e seu propósito é executar as instruções no tempo mais realístico, para maior precisão nas estatísticas. Já a *AtomicSimpleCPU* é uma simulação bem mais rápida, com estimativas de tempo para requisições para acelerar a simulação. Portanto, a *AtomicSimpleCPU* é usada para *fast-forwarding* at é um checkpoint pré-definido, ou para “aquecer” as caches, em vez de ser o carro-chefe da simulação.

A outra CPU utilizada, *O3CPU*, é um modelo bem mais detalhado de um processador. Ela permite a execução fora de ordem das instruções, e tenta simular o tempo das requisições de forma mais precisa possível. Ela é utilizada quando a simulação demanda precisão em aspectos como os estágios do *pipeline*.

Os dados coletados foram o tempo total simulado, o número de *hits* e o número de *misses* na cache, a taxa de *misses*, e o CPI total da simulação. O sistema escolhido utiliza os valores padrão para todos os aspectos do processador, sendo eles número de CPUs igual a um, uma *thread*, tamanho da linha da cache igual a 64 bytes, associatividade da cache igual a 2, dois níveis de cache, *dcache* de 64kB, *icache* de 32kB, DRAM de 512MB. Todos esses valores podem ser alterados na configuração do simulador.

O arquivo de configuração utilizado foi o “se.py”, disponível na pasta de configurações de exemplo presentes no código fonte do simulador. Ele utiliza o modo *Syscall Emulation* (SE), que não simula um sistema completo. O simulador foi desenvolvido para Linux, portanto, o sistema operacional utilizado para os testes foi o Ubuntu 22.04.2 LTS.

### Passo-a-passo para repetir as simulações

O primeiro passo para executar estas simulações é instalar o gem5. Os desenvolvedores disponibilizam um guia para isso<sup>2</sup>, porém o comando para instalação dos pré-requisitos presente no site em Agosto de 2023 está desatualizado. Há uma necessidade de se alterar o comando de instalação do Python de python e python-dev para python3 e python3-dev, respectivamente. O comando final é:

<sup>2</sup> [https://www.gem5.org/documentation/learning\\_gem5/part1/building/](https://www.gem5.org/documentation/learning_gem5/part1/building/)

```
sudo apt install build-essential git m4 scons zlib1g
zlib1g-dev libprotobuf-dev protobuf-compiler libprotoc-dev
libgoogle-perftools-dev python3-dev python3
```

Após a instalação dos pré-requisitos é necessário obter o código do simulador, o que pode ser feito através do comando `git clone https://github.com/gem5/gem5`, executado na pasta escolhida para o simulador. Para compilar o gem5 com a arquitetura desejada, são usados os comandos seguintes na pasta onde o simulador foi instalado:

```
scons build/ARM/gem5.opt
scons build/X86/gem5.opt
scons build/RISCV/gem5.opt
```

É importante notar que o nome da arquitetura escolhida deve ser escrito com letras maiúsculas. O simulador também disponibiliza outras *Instruction Set Architectures* (ISAs), porém para este artigo foram utilizadas apenas aquelas presentes acima.

O programa sendo executado pelo sistema simulado é o arquivo “hello”, presente no código fonte do gem5 na pasta “gem5/tests/test-progs/hello/bin/<arquitetura escolhida>/linux”. O caminho difere para cada teste, portanto devemos alterar o texto <arquitetura escolhida> pelo nome da arquitetura instalada, utilizando letras minúsculas. Esse arquivo apenas imprime “*Hello world!*” na tela. Apesar de ser simples, é o suficiente para os propósitos deste artigo.

Após a compilação do simulador com as arquiteturas desejadas é possível realizar os testes. Para isso, foi utilizado o seguinte comando:

```
build/ARM/gem5.opt configs/example/se.py -c
tests/test-progs/hello/bin/arm/linux/hello
--cpu-type=TimingSimpleCPU --caches
```

É necessário alterar o nome da arquitetura e o tipo de CPU para repetir os testes, mantendo caixa alta após `build/` e caixa baixa após `/bin/`. Um exemplo com outros tipos de arquitetura e CPU é o seguinte:

```
build/X86/gem5.opt configs/example/se.py -c
tests/test-progs/hello/bin/x86/linux/hello
--cpu-type=X86O3CPU --caches
```

Esse comando contém informações importantes para a configuração do simulador. Com ele definimos a arquitetura, o arquivo de configuração, o binário a ser executado, e o tipo de CPU desejados, além do fato do sistema conter caches com configuração padrão. É possível incluir vários outros argumentos nesse comando para definir outros parâmetros do sistema, e obter mais informações com *debug flags*, porém, essas opções são mais avançadas, e fogem do escopo deste artigo. Mais informações estão disponíveis no site do simulador<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> [https://www.gem5.org/documentation/learning\\_gem5/part1/example\\_configs/](https://www.gem5.org/documentation/learning_gem5/part1/example_configs/)

Para analisar os resultados, algumas estatísticas são necessárias. Elas podem ser encontradas no arquivo `gem5/m5out/stats.txt`. Nos testes realizados, foram verificados os valores presentes nas linhas que começam com os seguintes nomes:

`s im Seconds`

`system . cpu . dcache . o v e r a l l H i t s : : t o t a l`

`system . cpu . dcache . o v e r a l l M i s s e s : : t o t a l`

`system . cpu . dcache . o v e r a l l M i s s R a t e : : t o t a l` `system . cpu . c p i`

Caso haja necessidade de se verificar algo que não está presente nas estatísticas padrão, é possível adicionar seus próprios valores ou *debug flags*<sup>4</sup>.

## AVALIAÇÃO DE RESULTADOS

Com os dados presentes na Figura 1, podemos verificar algumas características de cada arquitetura e tipo de CPU. Como esperado, a *AtomicSimpleCPU* executa muito mais rápido que as outras duas. As duas CPUs *TimingSimpleCPU* e *AtomicSimpleCPU* apresentam exatamente a mesma quantidade de *hits* e *misses* na cache em todos os testes, e é notável uma taxa de *misses* muito maior que as outras na *O3CPU*, exceto quando é utilizada a arquitetura x86. Também é visível que há uma diferença de *Cycles Per Instruction* (CPI) entre as ISAs, sendo a arquitetura RISC-V a mais eficiente nesse quesito.

Os resultados indicam que há conhecimento a ser adquirido através dessas estatísticas, mesmo quando são testados apenas sistemas com componentes e ISAs já existentes e conhecidos. Isso pode ser utilizado por professores de arquitetura de computadores para ensinar aos seus estudantes conceitos como a importância das caches e a diferença de CPI entre arquiteturas ou programas. Pesquisadores com mais experiência testando alguma nova tecnologia podem acelerar sua introdução ao simulador realizando os testes aqui apresentados para se ambientar.

---

<sup>4</sup> [https://www.gem5.org/documentation/learning\\_gem5/part2/debugging/](https://www.gem5.org/documentation/learning_gem5/part2/debugging/)

Tipo de CPU	Arquitetura	Hits	Misses	Miss rate (%)	Tempo (em $\mu$ s)	CPI
	ARM	1833	142	7,18	29	-
Timing	x86 RISC-V	1890	135	6,66	31	-
		1935	238	6,52	30	-
	ARM	2292	519	18,46	14	5.764
O3	x86 RISC-V	2313	200	7,95	16	5.655
		2204	527	19,29	15	5.258
	ARM	1833	142	7,18	3	-
Atomic	x86 RISC-V	1890	135	6,66	6	-
		1935	135	6,52	3	-

Figure 1. Resultados dos testes com três tipos de CPU e arquitetura

## CONCLUSÕES

O simulador gem5 é uma ferramenta que promove diversos benefícios a estudantes e pesquisadores que o utilizam. Ele apresenta várias funcionalidades que englobam grande parte dos aspectos da arquitetura de computadores, por ém, por possuir tantos recursos, ele se torna difícil de se ambientar e utilizar, para iniciantes. Este artigo propõe uma abordagem complementar e mais simplificada para o primeiro uso do simulador, com objetivo de diminuir a sua barreira de entrada. Em vez de seguir o passo-a-passo disponibilizado pelos desenvolvedores do simulador, foi proposto o uso de configurações pré-montadas, para que não seja necessário se aprofundar nos aspectos específicos do simulador em um primeiro uso.

Os testes realizados apontam que existe conhecimento a ser obtido mesmo sem a construção de arquivos de configuração customizados. O uso do simulador dessa maneira pode ser útil para o ensino de arquitetura e organização de computadores, além de proporcionar uma primeira experiência no gem5 com menos barreiras que o seu uso tradicional. Portanto, os objetivos propostos foram alcançados com sucesso.

Trabalhos futuros poderão explorar aspectos mais complexos do simulador, para facilitar a utilização de recursos mais avançados que ele disponibiliza. Poderão ser exploradas a funcionalidade de simulação de sistemas completos, a criação de novos componentes a serem simulados, e a introdução de novas tecnologias.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à execução desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

FAPEMIG, ao CNPq e a PUC Minas pelo suporte parcial na Ayaz Akram and Lina Sawalha. A survey of computer architecture simulation techniques and tools. *IEEE Access*, 7:78120–78145, 2019. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2917698.

Nathan Binkert, Bradford Beckmann, Gabriel Black, Steven K. Reinhardt, and et al. The gem5 simulator. *SIGARCH Comput. Archit. News*, 39(2):1–7, aug 2011. ISSN 0163-5964. doi: 10.1145/2024716.2024718. URL <https://doi-org.ez93.periodicos.capes.gov.br/10.1145/2024716.2024718>.

Daniel Carmo, Matheus Souza, and Henrique Freitas. Avaliação de topologias de redes-em-chip usando simulação de sistemas completos e aplicações paralelas. In *Anais do XVII Simpósio em Sistemas Computacionais de Alto Desempenho*, pages 109–120, Porto Alegre, RS, Brasil, 2016. SBC. doi: 10.5753/wscad.2016.14252. URL <https://sol.sbc.org.br/index.php/wscad/article/view/14252>.

M. Isabel Garcia, Santiago Rodriguez, Antonio Perez, and Antonio Garcia. p88110: A graphical simulator for computer architecture and organization courses. *IEEE Transactions on Education*, 52(2):248–256, May 2009. ISSN 1557-9638. doi: 10.1109/TE.2008.927690.

Jason Lowe-Power, Abdul Mutaal Ahmad, Ayaz Akram, Mohammad Alian, and et al. The gem5 simulator: Version 20.0. *arXiv.org*, 2020. ISSN 2331-8422.

Debadatta Mishra. gemos: Bridging the gap between architecture and operating system in computer system education. In *Proceedings of the Workshop on computer architecture education*, WCAE'19, pages 1–8. ACM, 2019. ISBN 1450368425.

Bosko Nikolic, Zaharije Radivojevic, Jovan Djordjevic, and Veljko Milutinovic. A survey and evaluation of simulators suitable for teaching courses in computer architecture and organization. *IEEE Transactions on Education*, 52(4):449–458, 2009. doi: 10.1109/TE.2008.930097.

PH Penna and Henrique C Freitas. Análise e avaliação de simuladores de sistemas completos para o ensino de arquitetura de computadores. *Int. Journal of Computer Architecture Education*, 2(1):13–16, 2013.

P. W. C. Prasad, Abeer Alsadoon, Azam Beg, and Anthony Chan. Using simulators for teaching computer organization and architecture. *Computer applications in engineering education*, 24(2):215–224, 2016. ISSN 1061-3773.

Zaharije Radivojevic, Zarko Stanisavljevic, and Marija Punt. Configurable simulator for computer architecture and organization. *Computer applications in engineering education*, 26(5):1711–1724, 2018. ISSN 1061-3773.

Sasko Ristov, Marjan Gusev, Blagoj Atanasovski, and Nenad Anchev. Using edu-cache simulator for the computer architecture and organization course. *International Journal of Engineering Pedagogy (iJEP)*, 3(3):pp. 47–56, Jun. 2013. doi: 10.3991/ijep.v3i3.2784. URL <https://online-journals.org/index.php/i-jep/article/view/2784>.

Jorge Fernando Maxnuck Soares, Luís Tadeu M. Raunheite, and Takato Kurihara. The use of marie cpu simulator in computer architecture course: A case study of student's perception of learning and performance. *Journal of systemics, cybernetics and informatics*, 14(7):7–13, 2016. ISSN 1690-4524.

Leonardo BA Vasconcelos, Max V Machado, and Henrique C Freitas. Ambiente para estudo de computação paralela baseado no simulador completo gem5 e em algoritmos de ordenação escritos com openmp. *International Journal of Computer Architecture Education (IJCAE)*, 3(1):1–4, 2014.

# UM DISPOSITIVO DE BIOMETRIA PARA A SEGURANÇA RESIDENCIAL

*Data de submissão: 10/01/2023*

*Data de aceite: 01/02/2024*

**Vicente Brito Soares**  
Nova Friburgo - RJ

**Aline Z. Lunkes**  
Orientadora  
Nova Friburgo - RJ

**RESUMO:** Pensando em formas de aumentar a segurança nas residências, foi criado um leitor biométrico de baixo custo-benefício, eficiente e independente, tendo uma fácil implementação e sem nenhum botão para o seu manuseio, deixando todo sistema intuitivo e fácil de ser operado. Nele foi implementado um sistema de cadastro e remoção automático, onde apenas o dono do aparelho poderia fazer esse cadastro, além de possuir uma bateria externa, mantendo o aparelho funcionando mesmo caso acabe a energia do local, o aparelho possui uma grande variedade de aplicabilidades, sendo utilizado tanto para residências como para uma empresa de pequeno porte. Sua principal vantagem na parte de segurança é que todo seu sistema se encontra offline e tornando bem difícil de ser hackeado por outro aparelho, além de manter um histórico de todas as biometrias acessadas e cadastradas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Segurança, Biometria, Arduino, Automação

**ABSTRACT:** Thinking about ways to increase security in homes, a low cost-effective, efficient and independent biometric reader was created, with easy implementation and no buttons to handle, making the whole system intuitive and easy to operate. An automatic registration and removal system was implemented in it, where only the owner of the device could make this registration, in addition to having an external battery, keeping the device working even if the power goes out of the place, the device has a wide variety of applicabilities, being used both for homes and for a small business. Its main advantage in terms of security is that its entire system is offline, making it very difficult to be hacked by another device, in addition to keeping a history of all biometrics access and registers.

**KEYWORDS:** Security, Biometrics, Arduino, Automation

## INTRODUÇÃO

Uma das maiores preocupações nos dias de hoje envolvendo segurança

residencial são as invasões por intrusos, assim, devemos encontrar soluções eficientes e baratas para a segurança. Entretanto, os dispositivos de monitoramento presentes no mercado são caros ou possuem uma grande dificuldade de implementação necessitando de pessoas especializadas para fazer a instalação e as vezes até para operá-la. Pensando nisso, foi criada uma alternativa de baixo custo, eficiente, autossuficiente e de fácil instalação para o usuário. O projeto consiste em fabricar um leitor de biometria com Arduino de fácil instalação e implementação, independente, ou seja, sem a necessidade de um computador ou outro aparelho, podendo ser colocado em qualquer portão elétrico, sem a necessidade de alterar o ambiente no qual ele será instalado.

Além disso, o próprio usuário conseguirá fazer a instalação e a configuração do leitor de biometria. Pode, também, ser instalado em uma empresa de pequeno porte. Neste projeto utilizamos um recurso que consiste no cadastro e remoção instantâneos de usuários. No primeiro momento cadastramos o usuário principal, como primeiro cadastro, em seguida esse usuário principal teria autonomia para cadastrar os demais usuários, após isso fazemos o cadastro de uma segunda digital desse usuário, essa digital corresponderia a digital com autorização para fazer a remoção de outros usuários. A tela contém todas as informações necessárias para orientar o usuário como a validação de uma digital, ou caso a digital não seja reconhecida, além de orientar na hora do cadastro. As vantagens do nosso leitor são que o aparelho não possui acesso à internet e os códigos ficam gravados no próprio Arduino que converte todo o código para hexadecimal e assim só é possível ter acesso ao código através do computador em que o código foi feito, e apenas o usuário principal pode modificar as digitais cadastradas, outra vantagem se encontra no baixo custo tanto financeiro como de implementação e manutenção já que o sistema é todo feito utilizando o Arduino e sensores compatíveis e a estrutura foi toda e impressa utilizando o material PLA e uma impressora 3D.

Outra vantagem seria a segurança que a biometria traz, sendo bem difícil outra pessoa se utilizar de uma biometria que não fosse a sua própria. Foi implementado junto ao leitor de biometria uma bateria recarregável de 10000 mA, que mantém ligado por aproximadamente 6 dias consecutivos o nosso leitor. Além disso, o cabeamento de energia se encontra fora do aparelho por cabos USB, sendo possível a conexão por vias externas e mantendo o aparelho ligado na energia da casa. Outra vantagem da bateria é a sua utilização quando a luz da residência acaba, mantendo o aparelho ligado e funcionando, pois não é necessário a utilização de internet para o seu funcionamento.

A segurança biométrica se divide em 5 categorias indo da 1 até a 5 de acordo com sua qualidade de verificar uma biometria e a sua veracidade, o sensor utilizado para o projeto foi o DY-50 que se encontra no nível 3, e isso significa que ela possui uma chance de 1 em 100 de rejeitar uma biometria correta e uma chance de 1 em 100.000 de ela aceitar uma biometria que não esteja autorizada pelo sistema, fazendo vários testes foi possível concluir que um sistema de nível 3 seria suficiente para trazer segurança para uma casa e

ainda assim manter o custo do aparelho baixo. Tratando da segurança presente no sistema como um todo, ao receber o código, o Arduino faz uma conversão para hexadecimal e caso alguém queria ter acesso a esse código, será necessário a utilização de um programa específico e mesmo com o código em mãos não seria possível alterá-lo dentro do Arduino apenas conectando o computador ao aparelho, baixando o driver específico daquele microcontrolador usado e mesmo assim seria necessário saber qual porta está sendo usada para liberar o portão para abrir, Na documentação do Arduino NANO, ele traz exemplos de sua utilização na área de segurança e por fim, toda a verificação da biometria não é feita no processador do Arduino, mas sim no próprio módulo DY-50 que fica responsável pela comparação e armazenamento das digitais, apenas mandando para o Arduino as validações e status de operação.

O software demora em média 3 segundos para começar a operar e entrarem funcionamento, o intervalo de entre cada usuário pode colocar sua digital é de em média 2 segundos e para realizar um novo cadastro será necessário no mínimo 20 segundos de operação caso o usuário siga todas as instruções corretamente. O sistema tem capacidade de armazenar até 162 digitais, uma com autorização para cadastro e uma para remoção, entretanto o número de digitais com autorização para cadastro e remoção podem ser alterados.

## **METODOLOGIA**

### **Arduino**

O Arduino é uma placa de prototipagem eletrônica que permite o desenvolvimento de projetos de automação. Ela conta com a tecnologia open source, ou seja, tem o código aberto, o que permite o acesso por qualquer pessoa. Ele também conta com uma IDE (Integrated Development Environment) para o desenvolvimento do software que será inserido na placa para realizar as atividades programadas (NOLETO,2021)

### **Modulo Relê**

O Relê consiste em um interruptor eletromagnético que é usado para ligar e desligar um circuito por um sinal elétrico de baixa potência, ou onde vários circuitos devem ser controlados por um único sinal (MARQUES,2019). Os relés são nomeados com designação, para o caso do presente trabalho usa-se o relê Single Double Pole Throw (SPDT). Esse possui um total de cinco terminais, destes dois são os terminais da bobina e um terminal comum também está incluído, que se conecta a qualquer um dos outros dois (MARQUES,2019)

## Sensor DY-50

O DY-50 é um sensor de impressão digital tudo-em-um tornando a adição de detecção e verificação de impressão digital super simples. Esses módulos são normalmente usados em cofres - há um chip DSP de alta potência que faz a renderização, o cálculo, a localização de recursos e a pesquisa da imagem. Conecte-se a qualquer microcontrolador ou sistema com serial TTL e envie pacotes de dados para tirar fotos, detectar impressões, fazer hash e pesquisar. Você também pode registrar novos dedos diretamente - até 162 impressões digitais podem ser armazenadas na memória FLASH integrada.

## Sensor Bluetooth HC-06/ HC-05

O HC-05/ HC-06, é um sensor Bluetooth que tem como objetivo fazer a comunicação via wireless entre o Arduino e algum dispositivo com Bluetooth, podendo ser ele um próprio Arduino. Ao se utilizar dois Arduino para se comunicar via Bluetooth, um é denominada e codificado com servo e o outro como mestre, sendo o primeiro com o objetivo de receber o dado e o segundo para enviar.

## Módulo leitor de cartão SD

Este Módulo serve para leitura e escrita em cartão SD, com suporte para a biblioteca oficial do Arduino. Ele é compatível com cartões formatados em FAT32 com capacidade de até 4GB. Pode ser utilizado para guardar histórico de valor de entradas ou data logging, valores de módulos GPS, sensores de temperaturas, distância, humidade e luminosidade e etc.

## Módulo Real Time Clock RTC DS3231

O Módulo Real Time Clock RTC DS3231 é um relógio em tempo real (RTC) de alta precisão e baixo consumo de energia. O módulo possui um sensor de temperatura embutido e possui também um cristal oscilador para ampliar sua exatidão. O mesmo é capaz de fornecer informações de hora, minutos, segundos, dia, data, mês e ano.

## ESP 8266

O Módulo ESP8266 é um chip microcontrolador desenvolvido pela empresa chinesa Espressif. Por possuir Wi-Fi integrado, esse chip chegou para revolucionar o mercado maker e facilitar as aplicações com projetos IoT, por suas características técnicas e por seu preço acessível.



Imagem: Esp 8266

## Projeto

O projeto começou visando trazer tecnologia, conforto e segurança para minha residência. Mesmo o Arduino sendo uma placa de prototipagem, quando feito com cuidado possui uma longa vida e um alto desempenho. O aparelho foi projetado de forma que com apenas poucas instruções qualquer usuário pudesse instalá-lo e colocá-lo em funcionamento. O aparelho possui um Arduino® Uno; um display LCD 16x2 (5V); um leitor biométrico DY50; um Módulo Relé (5V) - 1 Canal, um módulo micro SD card, um módulo de relógio DS1307, cabos Jumpers para fazer as conexões e duas protoboards para auxiliar no cabeamento e diminuir a chance de curtos-circuitos, além de trazer organização para o cabeamento.

O seu funcionamento acontece por um código feito na própria plataforma do Arduino usando uma linguagem chamada Wiring, semelhante à linguagem C e foi usada como base a biblioteca Adafruit-Fingerprint-Sensor-Library. Um dos objetivos é a remoção de todos os botões e ainda assim continuar autônomo para evitar tanto erro de manipulação, quanto criar confusão na hora de manuseá-lo. Para isso, instalamos um sistema que permite que o cadastro e a remoção possa ser feito pelo usuário responsável pela segurança da casa e caso o portão não possua nenhuma pessoa cadastrada ainda, o programa inicia em uma área para cadastro, sendo esse primeiro cadastro o único permitido para fazer novos cadastros e após isso o usuário poderá fazer um segundo cadastro que lhe permitirá fazer as remoções de digitais. Como o Arduino não possui um sistema de memória, foi necessário fazer no código uma busca para ver qual a última biometria cadastrada e assim os cadastros continuariam daquele momento em diante. Caso o módulo de biometria apresente algum problema, seja por mal uso ou por causa do tempo, é possível conecta-lo ao computador e o monitor serial da Arduino IDE apresentará qual parte do aparelho não está funcionando de forma correta, seja na leitura da biometria, no cadastro ou até no reconhecimento do sensor de biometria, também é possível ver qual biometria está acessando o aparelho pelo monitor serial, contudo essa digital está convertida em hexadecimal e essa informação pode ser removida para não correr o risco de alguém acessar esse monitor serial.

Quando o projeto foi idealizado, não possuía uma caixa para colocá-lo, mantendo todos os fios e componentes expostos e nesse estado, o aparelho se tornou muito instável, tanto por causa de mal contato e pela dificuldade do manuseio como mostrado na foto..., após isso foi feito um primeiro modelo da caixa que logo foi descartada por não atender a todas as características necessárias para deixar o sistema intuitivo e fácil de ser utilizado, por fim, foi feita o modelo final. A caixa finalizada possui 8,2 cm de largura na base, 12,7 cm de altura e 10,5 cm de comprimento, A caixa foi projetada no Sketchup e impressa em uma impressora 3D, possuindo 4 entradas laterais, sendo duas para os cabos de energia do Arduino, uma para a conexão do portão, e a outra lateral no qual a biometria fica posicionada. Na frente possui um monitor inclinado em 45° para tornar mais fácil de ler as instruções para o funcionamento correto do aparelho, como podemos ver na Figura abaixo. A caixa possui uma porta na parte de trás, permitindo que o usuário tenha um fácil acesso a todos os circuitos tanto para manutenção e troca de bateria quanto para carregar a bateria caso seja necessário. O aparelho não possui nenhum prego ou parafuso e por isso sua manutenção se torna prática e podendo ser feita por qualquer usuário mesmo que o próprio não tenha nenhum conhecimento na área.

Por fim foi substituído o Arduino nano por uma ESP 8266 devido ao seu modulo wi-fi embutido nele, com ele foi criado um ip próprio que serviria com um roteador e então foi feito um site web com Html, CSS e Javascript informando o horário que o Modulo RTC forneceria além de todas as informações de uso do aparelho, como autorização, cadastro, remoção entre outros.

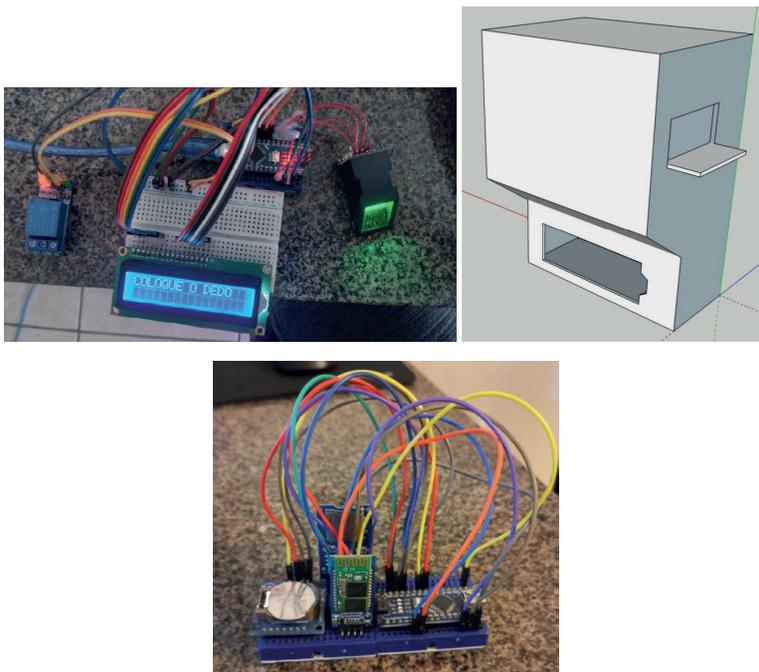


Foto: imagem do projeto durante a montagem e teste

## Custo

Com o aparelho pronto, foi feita uma pesquisa sobre onde encontrar os sensores e o Arduino para saber enquanto sairia todo o equipamento, já que um dos maiores benefícios dele seria seu valor e sua facilidade de implementação. Pegando como referências os preços encontrados em aplicativos que trabalham com lojas da China e de outros países, o custo de todo equipamento fica em torno de 129,62 reais incluindo o preço de produção da caixa feito na impressora 3d. O custo também pode variar de acordo com a quantidade comprada, já que o valor estipulado considera apenas a compra de uma única unidade de cada um dos componentes, para a impressão 3d, foi considerado apenas o preço de custo do material e da luz, pois ela foi impressa em minha impressora, promoções e descontos não foram considerados para os cálculos, apenas os preços fechados.

	Internacional	Internacional	Nacional	Nacional	Nacional
Sensor Biometrico DY-50	37,31	34,9	65,9	-	-
Arduino Nano	18,34	20,88	20	-	-
LCD 16x2	10,4	10,61	17,9	25	-
Cabos Jumpers	7,5	-	13,36	8,18	9,18
Modulo Rêlé	-	-	9,9	8,99	12,03
Impressão 3D	-	-	21,68	-	-
PowerBank 10000 mA	-	-	29,88	24,49	25,98
Menor Custo	126,3				
Maior Custo	186,19				

Gráfico: Tabela de preços

## PROCESSO

O sensor de biometria funcionava em primeira medida tendo que usar vários códigos um após o outro para fazer o cadastro e operá-lo, após algumas mudanças o código principal conseguia ler as biometrias cadastradas no aparelho. A segunda implementação foi a de cadastro no próprio código principal com a funcionalidade de cadastro instantâneo. Contudo qualquer, pessoa cadastrada poderia cadastrar uma nova biometria. Para evitar riscos, foi colocado como parâmetro de que apenas o usuário escolhido poderia fazer o cadastro de novas pessoas trazendo mais conforto e segurança para os moradores. Após toda a pinagem e o aparelho pronto, foi implementado um módulo Relé para conectar o portão ao aparelho e uma bateria recarregável de 10000mA. O Arduino seria alimentado pela bateria e o portão também usaria a energia da bateria para abri-lo. Depois de alguns cálculos, foi constatado que a bateria conseguiria manter o Arduino ligado por 6 dias consecutivos. Realizamos todo o cabeamento e para a instalação no portão, usamos dois

firos, um fio terra do portão e o outro para alimentá-lo. Para um maior conforto e segurança, foi feita a configuração de uma nova função que permitiria o usuário principal apagar a última digital cadastrada, caso a digital não tenha sido cadastrada corretamente ou caso o usuário não queira mais essa digital com autorização no aparelho.

Então foi pensado em colocar um módulo Bluetooth no aparelho e criar um segundo sistema, nele foi implementado um módulo de cartão SD, um receptor Bluetooth e um módulo RTC, esse segundo aparelho ficaria alocado dentro da residência e teria uma comunicação com o aparelho principal via Bluetooth, o aparelho secundário receberia as informações de cadastro do aparelho no portão como o cadastro de uma nova digital, a remoção de um usuário, a autorização ou algum erro que poderia acontecer com o aparelho, esse sistema então pegaria o horário em que a ação aconteceu e armazenaria em um cartão SD através de um arquivo .txt, fazendo com que todas as informações ficassem dentro da casa e sempre que o usuário quisesse saber de algum acesso feito a sua casa, ele teria como ficar ciente através do .txt, assim como o dia e a hora do ocorrido. Com esse sistema, o usuário teria controle sobre quem está acessando o aparelho, entretanto o sistema continuaria offline, mantendo o sistema seguro.

Entretanto a comunicação Bluetooth entre dois módulos não se torna muito estável, pensando nisso, foi decidido trocar o Arduino NANO por uma ESP 8266, e nela foi implementado as mesmas funções anteriores, porém ela daria acesso a uma página web mais intuitiva e com mais funções que utilizando o Bluetooth, além de baratear o custo do aparelho pois não se faz necessário a utilização de um segundo aparelho, também diminuindo a chance de erros de pinagem.

## DISCUSSÃO

Durante o desenvolvimento do projeto, alguns problemas foram encontrados, principalmente pensando nos recursos que os aparelhos encontrados no mercado possuem, sendo o principal deles a estabilidade do sistema e o tamanho dos aparelhos, a questão financeira se manteve um fator positivo do projeto, entretanto seu tamanho é maior que dos aparelhos usados como referência.

## CONCLUSÃO

Todos os objetivos para o projeto foram concluídos, desde a pinagem, até a projeção e impressão da caixa. Esse projeto ainda se encontra em um formato de prototipagem, entretanto ele já é possível de ser colocado para funcionamento, após muita pesquisa foi constatado que seu custo está abaixo dos outros aparelhos de biometrias além de possuir funcionalidades exclusivas que muitos não possuem, como a autossuficiência e a facilidade de implementação e por usar uma placa Arduino, o projeto pode sofrer atualizações sem abrir mão de suas principais características na parte de segurança. O próximo passo é

transformá-lo em um produto através da utilização de uma placa de circuito impresso, diminuindo a possibilidade de erros por manuseio já que todos os dispositivos estariam soldados na placa o que também diminuiria o número de fios, podendo até diminuir o tamanho do aparelho. outra implementação seria a criação de um aplicativo de celular, ou seja, a implementação de um módulo de internet, para assim, fazermos o cadastramento com foto e nome, além de dar ao usuário um controle de quem está passando pelo sensor toda vez que ele for utilizado. Gerando assim, um controle remoto dos usuários ao acesso do portão e para auxiliar no cadastro, provendo mais informações das pessoas que possuem a digital cadastrada. Outro limitante visto no projeto foi no caso de a residência utilizar outro aparelho biométrico, nesse caso, o usuário precisaria fazer o cadastro nas duas biometrias separadamente isso também se torna um problema para empresas que normalmente possuem mais de uma catraca ou porta, além do limitante de 162 digitais que o aparelho consegue guardar, podendo causar alguns problemas em empresas de médio porte ou caso a empresa não apague as digitais que não estão sendo utilizadas. Com a mudança para a ESP 8266 foi pensando em algumas mudanças futuras que auxiliariam bastante o usuário, sendo elas, fazer um site interativo e de fácil utilização, permitir o cadastro pelo site além de manter o aparelho e com o site, o cadastro poderá ser nominal, podendo ter a informação direta de quem está utilizando o aparelho.

## REFERÊNCIAS

Hemalatha, S. A systematic review on Fingerprint based Biometric Authentication System. In: 2020 International Conference on Emerging Trends in Information Technology and Engineering (ic-ETITE), v.3 : 1, 1 – 4, 2020

L. M. Arslan and J. H. L. Hansen. Language accent classification in American English. In: Speech Communication, v. 18 : 1, 353 – 367, 1996.

Liu, S. and Silverman, M. A practical guide to biometric security technology. In: IT Professional, v.3 : 1, 27 – 32, 2001.

MARQUES, Jemerson. Como funcionam os Relés, quais suas características, e suas aplicações. Disponível em: < <https://www.fvml.com.br/2019/01/como-funcionam-os-reles- quais-suas.html>>. Acesso em: 09 dez. 2022.

N. I. Zainal, K. A. Sidek, T. S. Gunawan, H. Manser and M. Kartiwi, “Design and development of portable classroom attendance system based on Arduino and fingerprint biometric,” The 5th International Conference on Information and Communication Technology for The Muslim World (ICT4M), Kuching, Malaysia, 2014, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICT4M.2014.7020601.3 : 1, 27 – 32, 2001.

NOLETO, Cairo. *Arduino: o que é, para que serve e como começar a usar?*. Disponível em: < <https://blog.betrybe.com/tecnologia/arduino-tudo-sobre/>>. Acesso em: 08 dez. 2022.

<https://www.hackster.io/LithiumION/how-to-get-code-program-back-from-arduino-2ed9ff#:~:text=Open%20the%20software%20and%20select,will%20automatically%20detect%20the%20microcontroller.&text=Set%20the%20fuse%20bits%20by,a%20notepad%20file%20for%20future.>

<https://html.alldatasheet.com/html-pdf/241077/ATMEL/ATMEGA328P/3015/19/ATMEGA328P.html>

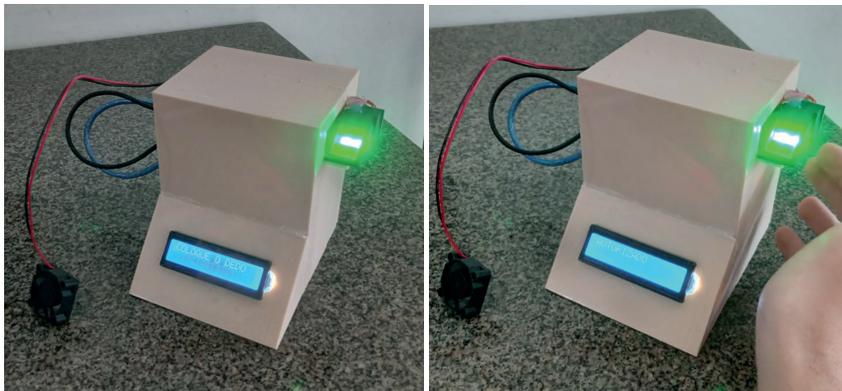
<https://docs.arduino.cc/static/224797bd731fc29c46172f9198cb1fc1/A000005-datasheet.pdf>

[https://www.vanta.com/landing/iso-27001?cq\\_src=google\\_ads&cq\\_cmp=20255242959&cq\\_con=148784809574&cq\\_term=iso27001&cq\\_med=&cq\\_plac=&cq\\_net=g&cq\\_pos=&cq\\_plt=gp&utm\\_term=&utm\\_campaign=&utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_content=&hsa\\_acc=4880914058&hsa\\_cam=20255242959&hsa\\_grp=148784809574&hsa\\_ad=661448638690&hsa\\_src=g&hsa\\_tgt=kwd-473470047&hsa\\_kw=iso27001&hsa\\_mt=e&hsa\\_net=adwords&hsa\\_ver=3&gad=1&gclid=EAlaIqobChMIwsLw2rHh\\_wIVROZcCh01TQXNEAAYASAAEgKit\\_D\\_BwE](https://www.vanta.com/landing/iso-27001?cq_src=google_ads&cq_cmp=20255242959&cq_con=148784809574&cq_term=iso27001&cq_med=&cq_plac=&cq_net=g&cq_pos=&cq_plt=gp&utm_term=&utm_campaign=&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_content=&hsa_acc=4880914058&hsa_cam=20255242959&hsa_grp=148784809574&hsa_ad=661448638690&hsa_src=g&hsa_tgt=kwd-473470047&hsa_kw=iso27001&hsa_mt=e&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gad=1&gclid=EAlaIqobChMIwsLw2rHh_wIVROZcCh01TQXNEAAYASAAEgKit_D_BwE)

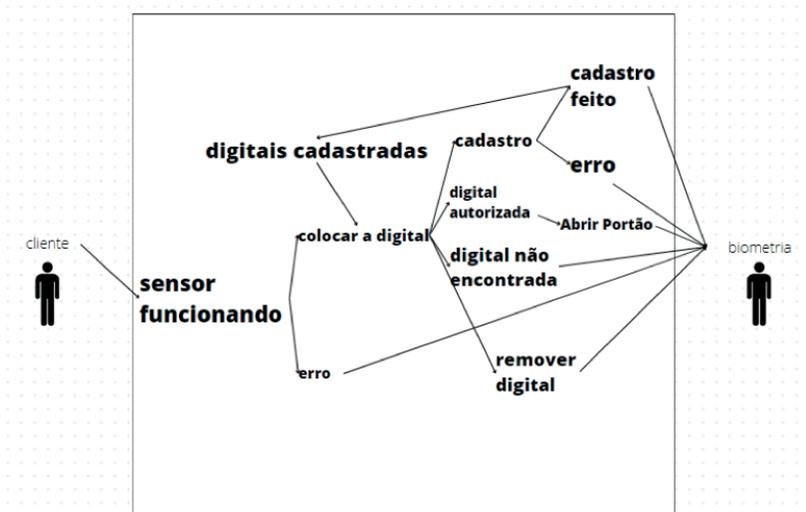
<https://cdn.awsli.com.br/945/945993/arquivos/FPM10A-DY50.pdf>

## APENDICES

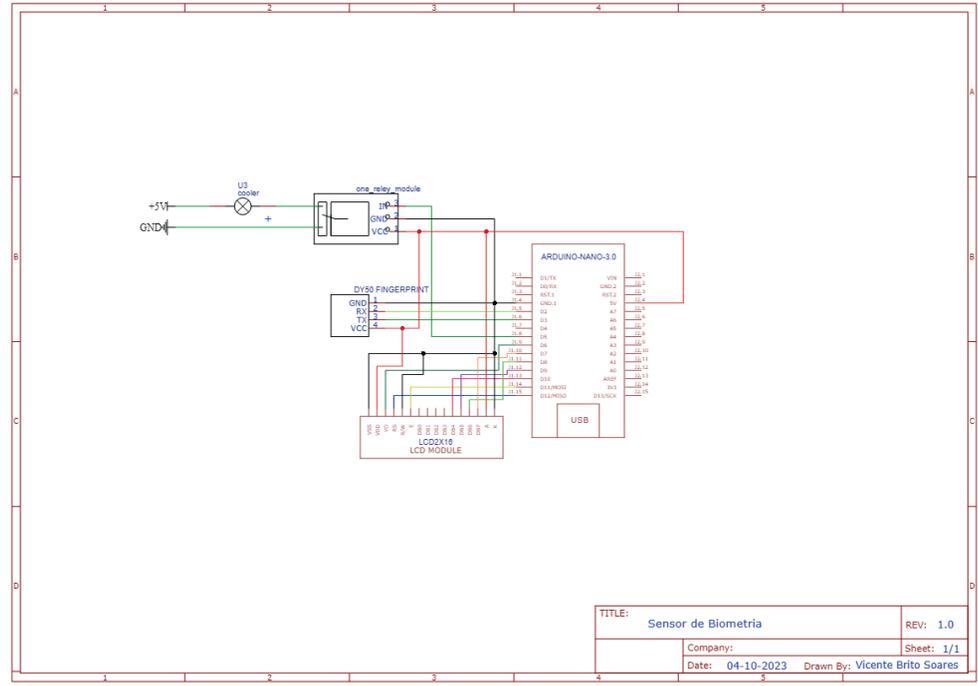
### Apendices A



### Apendice B - Diagrama de caso de uso



## Apendice C – Circuito criado no Easyeda



# DIMENSIONAMENTO DE HIDROELÉTRICAS E SELEÇÃO DE TURBINAS: UM ESTUDO DE CASO

*Data de aceite: 01/02/2024*

### **Braulison Felizardo Viana**

Instituto Superior de Educação do Centro Educacional Nossa Senhora Auxiliadora (ISECENSA); Engenharia mecânica

### **Fabio Seabra Puglia**

Instituto Superior de Educação do Centro Educacional Nossa Senhora Auxiliadora (ISECENSA); Engenharia mecânica

### **Victor Melo Azevedo**

Hydra ALphard; Departamento de Engenharia

### **David Coverdale Rangel Velasco**

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF); Laboratório de Materiais Avançados (LAMAV)

alcançados tais objetivos. Este trabalho calcula o potencial de geração de energia de uma Central Hidrelétrica e seleciona a turbina hidráulica. As etapas de ordem técnica aqui expostas podem ser utilizadas como esboço de um Projeto Básico para este tipo de indústria. Utilizando-se de uma metodologia analítica, observou-se um potencial de geração de 26 MW, o que caracteriza a instalação como Pequena Central Hidrelétrica, com capacidade de atender cerca de 45 mil residências. Por fim, foi selecionada uma turbina de médio porte (30 MW) do tipo Francis muito lenta, sendo esta acoplada a um gerador de 2 polos.

**PALAVRAS-CHAVE:** HIDRELÉTRICA, TURBINA, SELEÇÃO.

## HYDROELECTRIC SIZING AND TURBINE SELECTION

**ABSTRACT:** The Paris Climate Conference established guidelines for all signatory countries of the agreement to reduce the emission of carbon dioxide in the atmosphere, with the aim of reducing global warming. In this sense, renewable and non-polluting energy sources have gained relevance, in the current context, the use of hydroelectric potential presents itself as

**RESUMO:** A Conferência do Clima de Paris estabeleceu a todos os países signatários do acordo diretrizes para redução da emissão de dióxido de carbono na atmosfera, com objetivo de reduzir o aquecimento global. Neste sentido, fontes de energia renováveis e não poluentes têm ganhado relevância, no contexto atual, o uso do potencial hidroelétrico apresenta-se como uma alternativa viável para que sejam

a viable alternative to achieve such objectives. This work calculates the energy generation potential of a Hydroelectric Power Plant and selects the hydraulic turbine. The technical steps presented here can be used as an outline of a Basic Project for this type of industry. Using an analytical methodology, a potential generation of 26 MW was observed, which characterizes the installation as a Small Hydroelectric Power Plant, with capacity to serve around 45 thousand homes. Finally, a medium-sized turbine (30 MW) of the very slow Francis type was selected, which was coupled to a 2-pole generator.

**KEYWORDS:** HYDROELECTRIC, TURBINA, SELECTION

## INTRODUÇÃO

A comunidade científica atribui a emissões do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera como causa das mudanças climáticas, cuja quantidade expressiva tem origem no setor energético. Em alternativa para descontinuar este processo logo foi estabelecido entre os 195 países participantes da Conferência do Clima de Paris (COP21) um acordo com metas visando a manutenção do aquecimento global abaixo de 2°C em comparação aos níveis pré-industriais, tendo a transição energética como a principal instrumento para alcançar este objetivo, abrindo boas perspectivas para geração elétrica de matriz renovável (REI, GONÇALVES e DE SOUZA, 2017).

A matriz energética brasileira tem como principais fontes de energia primária são: gás natural, carvão mineral, petróleo, biomassa, energia eólica, solar e hídrica. Dentre as opções apresentadas acima a oferta de energia hidrelétrica ocupa expressiva parcela na matriz energética, pois supera em mais da metade o total calculado na geração elétrica de origem: fóssil; biomassa; eólica; solar devido a condicionantes topográficas e geológicas favoráveis do território nacional. Por sua vez, a ampliação do uso da biomassa esbarra na demanda por grandes áreas de terra podendo afetar a segurança alimentar, por outro lado a geração com origem fóssil limitar-se-á por questões relacionadas com a transição energética, dados da EPE (2022).

Considerando potencial hidráulico brasileiro divulgado pela EPE e a expertise tecnológica. A proposta deste trabalho em calcular a capacidade instalada da hidroelétrica; definir número de polos do gerador; dimensionar o diâmetro do rotor; selecionar uma turbina hidroelétrica segundo as condições do sítio de instalação tem compatibilidade com as demandas imediatas da sociedade. Pois segue a passos firmes em direção a convergência com a transição energética que no Brasil é uma realidade já em curso.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta etapa estaremos descrevendo de modo detalhado toda a memória de cálculo empregada na seleção da turbina.

## Descrição do problema

Um projeto para construção de uma Central de Geração Hidroelétrica (CGH) deve ser analisado de forma a verificar o tipo de turbina hidráulica recomendado e estimar a produção de energia. Para tal, arbitrou-se como rendimento da turbina o valor de 90% e nível de instalação de 3 metros, bem como definiu-se como frequência de geração 60 Hz (frequência utilizada no Brasil).

Para tal projeto, considera-se o nível de água a montante de 850 m e jusante de 270 m, bem como a temperatura do fluido igual a 25°C. A seleção da tubulação já foi realizada, sendo esperado que o fluido seja aduzido a velocidade de entrada 4,92 m/s por uma tubulação de diâmetro nominal 48" e espessura de parede 31,8 mm, utilizando como material o aço API-5L Gr B sem costura. O comprimento equivalente desta tubulação é de 300 metros e a perda de carga de 0,42m/100m. Ao passar pela turbina, a água escoar à 2 m/s em um canal de fuga com diâmetro igual 1,81 m.

O procedimento adotado neste trabalho pode ser observado na Figura 1, sendo este detalhado nas subseções seguintes.

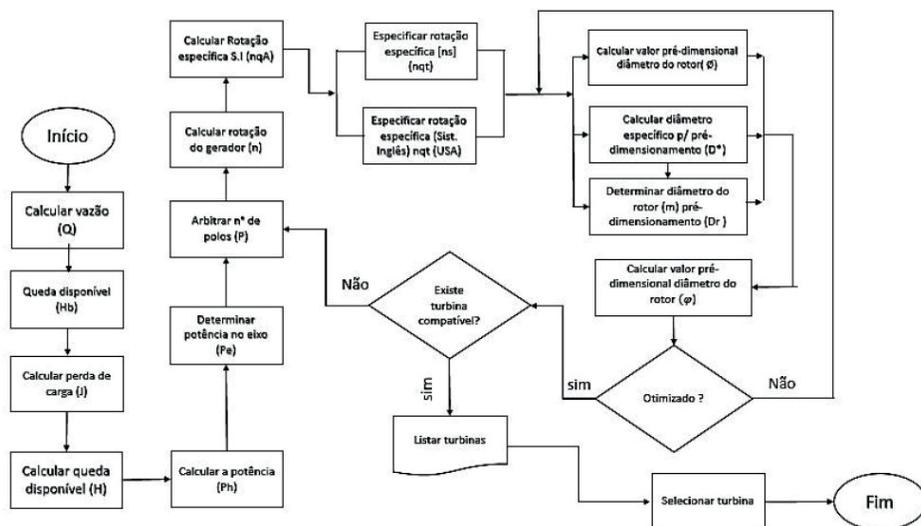


FIGURA 1. Processo para seleção de turbina.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

## Vazão volumétrica

O marco inicial será a determinação da vazão volumétrica. A velocidade média do escoamento é dada no estudo de caso, no entanto diâmetro interno da tubulação será retirado da ANSI B.36.10, onde se apresentam os tamanhos normalizados de tubulações e assim então inserir o valor na equação 1 apresentada.

$$Q = v_m \times A = v_m \times \pi D_m^2 / 4 \quad (1)$$

Onde,

Q – Vazão de escoamento (m<sup>3</sup>/s);

v<sub>m</sub> – Velocidade média de escoamento (m/s);

A – Área da seção transversal (m<sup>2</sup>);

D<sub>m</sub> – Diâmetro interno (m).

## Queda disponível

Calcular através equação 2 a queda bruta disponível expressando a diferença entre os valores do nível d'água a montante e jusante retirados do estudo de caso.

$$H_b = Z_1 - Z_2 \quad (2)$$

Onde,

H<sub>b</sub> – Queda bruta disponível (m);

Z<sub>1</sub> – Nível d'água a montante normal (m);

Z<sub>2</sub> – Nível d'água mínimo (m).

De modo simultâneo a determinação da queda bruta disponível e de posse dos dados comprimento equivalente e a perda de carga, indicados no estudo de caso, encontrou-se o valor da perda de carga total ao longo do conduto da equação 3. Uma vez conhecida a perda de carga total e queda bruta recorre-se aos dados do estudo de caso para buscar os valores da instalação do nível à jusante e velocidade de saída lança-los na equação 4 e encontrar o valor da queda bruta disponível.

$$J = j \times L' / 100 \quad (3)$$

$$H = H_b - (V_s^2 / (2 \times g)) - J - H_s \quad (4)$$

Onde,

J – Perda de carga total (m);

j – Perda de carga (m/100m);

L' – Comprimento equivalente (m).

H – Queda disponível (m);

H<sub>b</sub> – Queda bruta disponível (m);

H<sub>s</sub> - Instalação do nível a jusante (m);

V<sub>s</sub> – Velocidade de saída (m/s);

g – Aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>).

## Potencia

A potência hidráulica extraída do fluxo d'água pela turbina terá seu valor conhecido com base na equação 5 fazendo o produto entre a densidade e gravidade, indicados no estudo de caso, vazão e altura da queda especificados nas etapas acima.

$$P_h = \rho \times Q \times H \times g/1000 \quad (5)$$

Onde,

$P_h$  – Potencia hidráulica (Kw);

$\rho$  – Densidade (Kg/m<sup>3</sup>);

H – Queda disponível (m);

g – Aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>).

Multiplicando o valor da Potência hidráulica com o rendimento da turbina especificado no estudo de caso, como apresentado na equação 6, tem-se a potência no eixo.

$$P_e = P_h \times \eta \quad (6)$$

Onde,

$P_e$  – Potencia do eixo (Kw);

$P_h$  – Potencia hidráulica (Kw);

$\eta$  – Rendimento (%).

## Rotação do gerador

O valor rotação do gerador foi obtido por meio da equação 7, sendo esta obtido em função da frequência dada no estudo de caso e do número de polos do gerador. Variável esta que foi testada para múltiplos cenários, número de polos, de forma apresentar mais de uma velocidade que influenciou na rotação da turbina.

$$n = 2 \times 60 \times f_r / P \quad (7)$$

Onde,

n – Rotação (rpm);

$f_r$  – Frequência (Hz);

P – Número de polos.

## Turbina hidráulica

A rotação específica será calculada através da equação 8 uma vez que sabe-se a rotação do gerador, vazão volumétrica, queda disponível, bem como a aceleração da gravidade dada no estudo de caso para só então calcular-se o valor da rotação específica no sistema internacional.

$$n_{qa} = 1000 \times (n/60) \times \sqrt{\bar{Q}/4} \sqrt{(H \times g)^3} \quad (8)$$

Onde,

$n_{qa}$  – Rotação específica (Sist. internacional);

$n$  – Rotação (rpm);

$Q$  – Vazão de escoamento ( $m^3/s$ );

$H$  – Queda disponível (m).

O cálculo da rotação específica no sistema técnico é resultado da divisão da rotação específica (Sist. Internacional) por 3, conforme apresentada na equação 9.

$$n_{qt}[ns] = n_{qa}/3 \quad (9)$$

Onde,

$n_{qt}[ns]$  – Rotação específica (sist. Técnico) [ns];

$n_{qa}$  – Rotação específica (Sist. Internacional).

O cálculo da rotação específica no sistema inglês, seguirá conforme a equação 10, multiplicando a rotação específica (Sist. Técnico) por 51,6.

$$n_{qt}[USA] = n_{ns} \times 51,6 \quad (10)$$

Onde,

$n_{qt}[USA]$  – Rotação específica (sist. Inglês);

$n_{qt}[ns]$  – Rotação específica (Sist. Técnico).

Posteriormente, fazendo uso de soluções numéricas, por meio do MS Excel para calcular de modo interativo o valor pré-dimensionado diâmetro do rotor; diâmetro específico  $p$ / prédimensionamento; diâmetro do rotor pré-dimensionamento e valor pré-dimensionado diâmetro do rotor, segundo as equações (11), (12), (13) e (14).

$$\phi = (\sqrt[4]{2^3} \times Q) / (\sqrt{\pi} \times n \times D_r^3) \quad (11)$$

$$D^* = \sqrt[4]{\phi} / \sqrt{\phi} \quad (12)$$

$$D_r = ( (4 \times D^* \times \sqrt{Q}) / (\pi^2 \times \sqrt[4]{H \times g}) ) \quad (13)$$

$$\phi = 2 \times g \times H / \pi^2 \times n^2 \times D_r \times 2 \quad (14)$$

Onde,

$\phi$  – Valor pré-dimensional do diâmetro do rotor (adimensional);

n – Rotação (rpm);

$D_r$  – Diâmetro do rotor pré-dimensionamento (m);

Q – Vazão de escoamento (m<sup>3</sup>/s).

$D^*$  - Diâmetro específico para pré-dimensionamento (m<sup>-0,5</sup>);

$\phi$  – Valor pré-dimensional diâmetro do rotor (m).

H – Queda disponível (m);

g – Aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>).

## Seleção das Turbinas

Conhecidos valores numéricos nas etapas anteriores, foram selecionadas as turbinas adequadas, sendo estas verificadas conforme gráfico de seleção disponibilizado por Freitas (2020).

## RESULTADOS

Todas as operações matemáticas que deram embasamento a esta etapa do trabalho encontram-se nos APENDICE I cujo objetivo é facilitar a organização e exposição dos resultados. As variáveis iniciais utilizadas nos cálculos e listadas no cenário de instalação da turbina hidrelétrica foram organizadas na Tabela 1.

Descrição da variável	Símbolo	Resultado
Frequência	$F_r$	60 Hz
Nível da água montante normal	Z1	850 m
Nível água jusante mín.	Z2	270 m
Temperatura	T	25°C
Massa específica	$\rho$	997 Kg/m <sup>3</sup>
Viscosidade cinemática	$\mu$	1.013 x 10 <sup>-3</sup> N.S./m <sup>2</sup>
Comprimento equivalente	L'	300 m
Diâmetro interno	Dm	1,1554 m
Velocidade	$v_m$	4,92 m/s
Perda de carga	j	0,42m/100m
Rendimento total da turbina	$\eta$	90%
Instalação nível jusante	H <sub>s</sub>	3m
Velocidade de saída tubo jusante	V <sub>s</sub>	2m/s
Número de polo	P	2 a 6

TABELA 1. Campo de aplicação dos diversos tipos de turbina

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após realização dos cálculos desenvolvidos no APENDICE I, os resultados apurados para as variáveis comuns ao sítio de construção apresentaram valores relacionados na Tabela 2. Cabe mencionar que tais dados não dependem do tipo de turbina hidráulica instalada.

Descrição da variável	Símbolo	Resultado
Vazão de escoamento	Q	5,16 m <sup>3</sup> /s
Queda bruta e disponível	H <sub>b</sub>	580,00m
Perda de carga total no conduto e montante	J	1,26m
Queda disponível	H <sub>b</sub>	575,28m
Potência hidráulica da turbina	P <sub>h</sub>	29,03 MW
Potência do eixo	P <sub>e</sub>	26,13 MW

TABELA 2. Variáveis comuns ao sítio de construção

Fonte: Elaborado pelo Autor.

O potencial hidroelétrico calculado foi de aproximadamente 26 MW caso seja mantido o perfil hidrológico por sua influência com a vazão apresentada no cenário de instalação. Pelo seu porte, este empreendimento foi classificado como Pequena Central Hidroelétrica (PCH) devido sua potência instalada esta faixa entre 5 MW e 30 MW e ao interliga-se ao Sistema Elétrico Nacional tem capacidade para abastecer, por tipo de consumidor, os quantitativos à saber: 45.139 residenciais, 638 consumidores rurais, 6.570 unidades comerciais, 625 unidades prestadoras de serviço público e 150 indústrias, considerando dados da Figura 3.

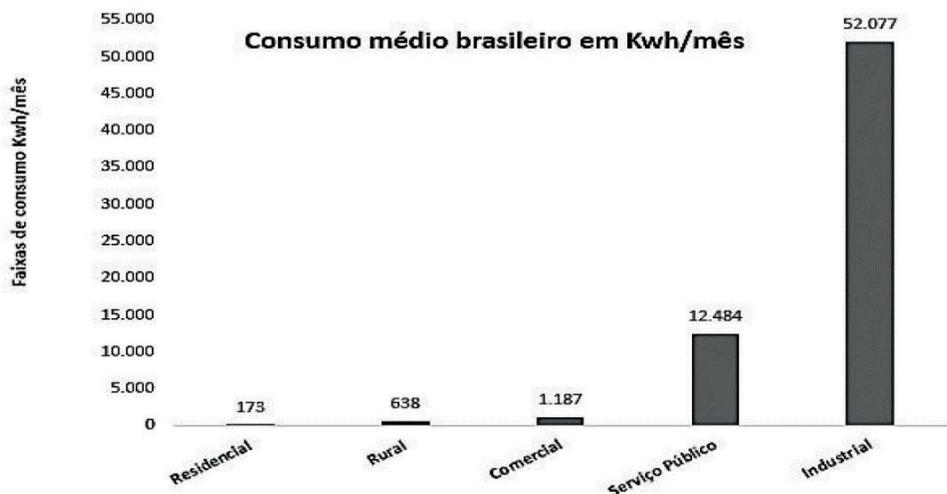


FIGURA 3. Perfil médio da demanda por tipo de consumidores Kwh/mês

Fonte: Elaborado pelo Autor (adaptado de EPE, 2022).

A unidade de geração hidroelétrica deste porte torna-se uma alternativa viável porque a área de alagamento é pequena e sua liberação, em termos teóricos, mais rápida. Outro ponto favorável a este tipo de instalação é a construção mais rápida contribuindo para um prazo de retorno de investimento menor. Todos estes aspectos corroboram para a viabilidade técnica do local em que se propõe construir a PCH. Com os dados da Tabela 2 a tomada de decisão para seleção do tipo de turbina mais adequada a instalação levou e consideração as grandezas que se alteraram em função do número de polos dos geradores, exibidas na Tabela 3.

Descrição da variável	Símbolo	Resultados			Unid.
		2 (Polos)	4 (Polos)	1200	
Rotação	N	3600	1800	1200	rpm
Rotação específica (Sist. Internacional)		209,22	104,61	69,74	-
Rotação específica (Sist. Técnico)		69,74	34,87	23,25	-
Rotação específica (Sist. Inglês)		3598,6	1799,3	1199,53	-
Valor pré-dimensional diâmetro do rotor		1,80 X 10 <sup>-5</sup>	1,09 X 10 <sup>-4</sup>	3,13 X 10 <sup>-4</sup>	m
Valor pré-dimensional diâmetro do rotor		9,22 X 10 <sup>-5</sup>	6,42 X 10 <sup>-4</sup>	2,00 X 10 <sup>-3</sup>	-
Diâmetro específico para pré-dimensionamento		23,1	15,24	11,95	m-0,5
Diâmetro do rotor pré-dimensionamento		2,453	1,618	1,269	m

TABELA 3. Resultado em relação ao n° de polos

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Nessa direção, foram testados cenários considerando a variação dos números de polos do grupo gerador com base no fluxograma apresentado na Figura 1. Em que apenas três opções de grupos geradores com 2, 4 e 6 polos alcançaram valor de rotação específica (Sistema Técnico) para turbina hidráulica, bem como queda bruta disponível compatíveis com as listadas no Apêndice I. As opções de turbinas hidráulicas elencadas foram: Francis muito lenta trabalhando com gerador elétrico de 2 polos; Pelton de dois jatos acoplada a unidade de geração com 4 polos e Pelton de um jato conectada ao gerador de energia com 6 polos. Para confirmar os cálculos apresentados, foi consultada a Figura 4 que reforçou indicativo de seleção concentrado entre as turbinas Francis e Pelton.

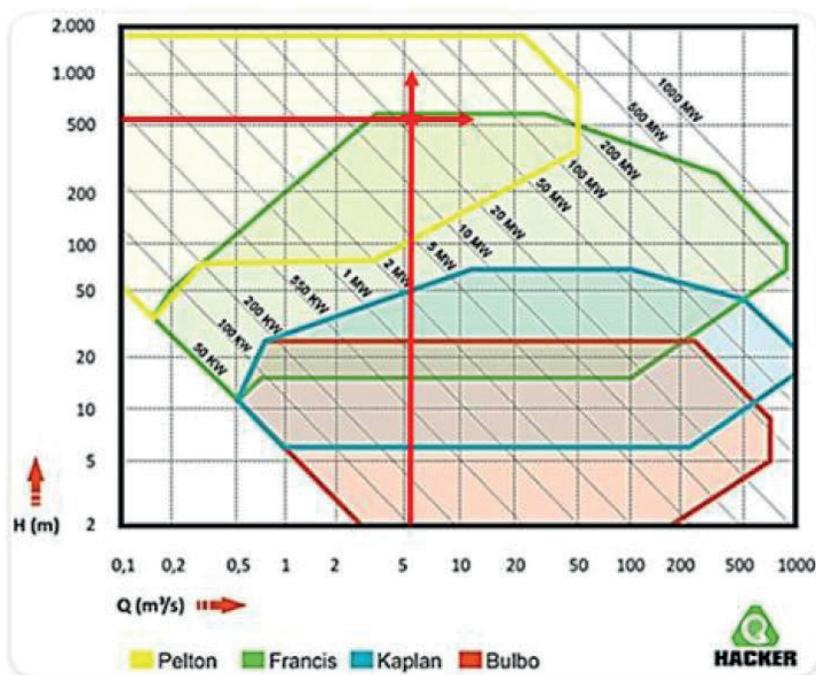


FIGURA 4. Gráfico para seleção de Turbina.

Fonte: Adaptado de Freitas (2020).

A maior velocidade de rotação específica (sistema técnico) elegeu a turbina Francis Muito Lenta com potência de 30 Mw como a opção mais vantajosa para o sítio de construção. Isso permite que ela trabalhe acoplada a um grupo gerador com menor número de polos ocasionando redução de custos de aquisição do equipamento, bem como de instalação, por serem mais leves, demandaram menor investimento com fundações, casa de máquina de menor tamanho. Associado a isto, podemos ainda acrescentar a facilidade de manutenção ou troca do equipamento que por ser mais leve pode ser movimentado com mais facilidade.

## CONCLUSÃO

Com base na Tabela 3 verificou-se que o sítio de construção apresenta uma queda bruta de 580 m e devido a característica do arranjo de instalação a queda disponível está com uma perda de aproximadamente 1% em relação a queda bruta, o que se considera um valor razoável.

A queda disponível tem capacidade de gerar aproximadamente 26 Mw de potência no eixo que podem ser aproveitados pela turbina. A máquina de fluxo escolhida para cumprir esta finalidade será a turbina de médio porte tipo Francis muito lenta com capacidade de extrair até 30 Mw de potência é compatível em níveis energéticos com o local de instalação.

Considerando apenas aspectos de ordem técnica para a seleção do equipamento: a turbina Pelton de dois jatos é uma opção melhor quando comparada com a turbina Pelton de um jato, tendo em vista, poder trabalhar com uma velocidade de rotação do eixo menor. Porém, ambas foram superadas pela turbina Francis Muito Lenta, devido a velocidade de rotação desta turbina superar em mais da metade o da turbina Pelton de dois jatos. Tal condição permitiu que além da seleção de uma turbina mais barata, também a possibilidade de trabalhar com um grupo gerador de menor quantidade de polos que é mais barato e de maior facilidade de manutenção, inclua-se o custo de instalação.

Como tema de trabalhos futuros, sugere-se que seja mensurada a eficiência energética do processo visto que se arbitrou um valor de 90%, mas que a depender das características operacionais podem sofrer alterações.

## DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este trabalho.

## REFERENCIAS

EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS (EPE). Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2022. Rio de Janeiro: EPE, 2022. 30 p.

FREITAS, C. P. M. D. Prototipagem de uma turbina de baixa queda a baixo custo. 2020. 55p. Monografia ( Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental ), Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia. Niterói. 2020.

HENN, É. A. L. Máquinas de Fluxo. 2ª. ed. Santa Maria: UFSM, 2006. 474 p.

MACINTYRE, A. J. Máquinas Motrizes Hidráulicas. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983.

NETTO, A.; FERNÁNDEZ, M. F. Y. Manual de hidráulica. 9ª. ed. São Paulo: Bulcher, 2015.

REI, F. C. F.; GONÇALVES, F.; DE SOUZA, L. P. Acordo de Paris: Reflexões e desafios para o regime internacional de mudanças climáticas. Veredas do Direito: Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável, v. 14, n. 29, p. 81-99, 2017.

SCHREIBER, G. P. Usinas Hidrelétricas. Rio de Janeiro: Edgard Blucher, 1977.

SILVA FILHO, D. Dimensionamento de usinas hidroelétricas através de técnicas de otimização evolutiva. 2003. 362p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 2003.

TELLES, P. C. S.; BARROS, D. G. P. Tabelas e Gráficos para Projetos de Tubulações. 6ª. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1998.

## APENDICE I - MEMORIAL DE CÁLCULO

### 1. Cálculo dos parâmetros comuns

#### 1.1. Vazão volumétrica

$$Q = v_m \times A = v_m \times \pi D_m^2 / 4 \quad (1)$$

$$Q = v_m \times A = 4,92 \times \pi 1,1554^2 / 4$$

$$Q = 5,16 \text{ m}^3/\text{s}$$

Obs. Diâmetro interno especificado com base na Tabela 4.

Diâmetro Nominal Diâmetro Externo	Espessura (mm)	Diâmetro interno (mm)	Peso Vazio (kg/m)
48,00	8,7	1201,6	259,66
	9,5	1200	283,35
	10,3		307,01
	11,1	1198,4	330,63
	11,9		354,23
	12,7	1196,8	377,79
	14,3	1195,2	424,82
	15,9		471,73
	17,5	1193,6	518,51
			1190,4
		1187,2	
		1184	
1219,00	19,1	1180,8	565,16
	20,6		608,78
	22,2	1177,8	655,19
	23,8		701,47
	25,4 27	1174,6	747,63
	28,6	1171,4	793,66
	30,2		839,58
		1168,2	885,34
		1165	
		1161,8	
	1158,6		
	31,8	1155,4	930,99

TABELA 4. Especificação tubo aço Ø 56" norma API-5L, API-5LX E API-5LS.

Fonte: Adaptado de Telles (1998).

### 1.2. Queda Bruta disponível

$$H_b = Z_1 - Z_2 \quad (2)$$

$$H_b = 850 - 270$$

$$H_b = 580 \text{ m}$$

### 1.3. Cálculo da perda de carga total

$$J = j \times L'/100 \quad (3)$$

$$J = 0,42 \times 300/100 = 1,26 \text{ m}$$

### 1.4. Cálculo de queda disponível

$$H = H_b - (V_s^2/(2 \times g)) - J - H_s$$

$$H = 580 - (3^2/(2 \times 9,81)) - 1,26 - 3$$

$$H = 575,54 \text{ m}$$

### 1.5. Potência hidráulica extraída do fluxo d'água pela turbina

$$P_h = \rho \times Q \times H \times g/1000$$

$$P_h = 997 \times 5,16 \times 575,54 \times 9,81/1000$$

$$P_h = 29.037,38 \text{ kw}$$

Obs. Densidade ( $\rho$ ) à temperatura de 25°C indicada na Tabela 5.

Temperatura (°C)	Massa específica (Kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade dinâmica (N.s/m <sup>2</sup> )
0	1000	1,76x10 <sup>-3</sup>
5	1000	1,51x10 <sup>-3</sup>
10	1000	1,30x10 <sup>-3</sup>
15	1000	1,14x10 <sup>-3</sup>
20	998	1,013x10 <sup>-3</sup>
25	997	8,931x10 <sup>-3</sup>
30	996	8,000x10 <sup>-3</sup>

TABELA 5. Variação de densidade e viscosidade dinâmica com a temperatura.

Fonte: Netto e Fernandez (2015).

### 1.6. Potência no eixo da da turbina

$$P_e = P_h \times \eta \quad (6)$$

$$P_e = 29033,08 \times 0,9 = 26133,65 \text{ Kw}$$

## 2. Seleção de turbina para gerador de 2 polos

### 2.1. Cálculo na velocidade do gerador

$$n = 2 \times 60 \times f/P \quad (7)$$

$$n = 2 \times 60 \times 60/2$$

$$n = 3600 \text{ rpm}$$

### 2.2. Rotação específica no sistema internacional

$$n_{qa} = 1000 \times (n/60) \times \sqrt{Q} / \sqrt[4]{(H \times g)^3} \quad (8)$$

$$n_{qa} = 1000 \times (3600/60) \times \sqrt{5,16} / \sqrt[4]{(575,54 \times 9,81)^3}$$

$$n_{qa} = 209,2$$

### 2.3. Rotação específica no sistema técnico

$$n_{qt[ns]} = n_{qa} / 3 \quad (9)$$

$$n_{qt[ns]} = 209,2 / 3$$

$$n_{qt[ns]} = 69,75$$

### 2.4. Rotação específica no sistema inglês

$$n_{qt[USA]} = n_{ns} \times 51,6 \quad (10)$$

$$n_{qt[USA]} = 69,75 \times 51,6$$

$$n_{qt[USA]} = 3598,6$$

### 2.5. Valor pré-dimensional do rotor

$$\sigma = \frac{(\sqrt[4]{2^3} \times Q) / (\sqrt{\pi} \times n \times D_r^3)}{(\sqrt[4]{2^3} \times Q) / (\sqrt{\pi} \times 3600 \times 2,4525^3)} \quad (11)$$

$$\sigma = 0,0000922$$

### 2.6. Diâmetro específico para pre-dimensionamento (m)

$$D^* = \sqrt[4]{\sigma} / \sqrt{\varphi} \quad (12)$$

$$D^* = \sqrt[4]{0,0000922} / \sqrt{0,000018}$$

$$D^* = 23,09 \text{ m} - 0,5$$

### 2.7. Diâmetro do rotor (m) pré-dimensionamento

$$D_r = \left( (4 \times D^* \times \sqrt{Q}) / (\pi^2 \times \sqrt[4]{H \times g}) \right) \quad (13)$$

$$D_r = \left( (4 \times 23,1 \times \sqrt{5,16}) / (\pi^2 \times \sqrt[4]{575,54 \times 9,81}) \right)$$

$$D_r = 2,4525 \text{ m}$$

## 2.8. Cálculo pré-dimensionamento diâmetro do rotor

$$\varphi = 2 \times g \times H / \pi^2 \times n^2 \times D_r \times 2 \quad (14)$$

$$\varphi = 2 \times 9,81 \times 575,54 / \pi^2 \times 3600^2 \times 2,4525 \times 2$$

$$\varphi = 0,000018 \text{ m}$$

## 2.9. Seleção da turbina

Analisando a Tabela 6 e fazendo o cruzamento dos valores de velocidade de pré-dimensionamento do rotor no sistema internacional de nqt [ns] 69,7 e queda disponível de 575,54 m a turbina selecionada para trabalhar acoplada a um grupo gerador de 2 polos foi a Francis Muito lenta.

Tipo de turbina		Nqt (rpm)	H (m)
Pelton	1 jato	18	800
	1 jato	18-25	800-400
	jato	26-35	400-100
	jatos	26-35	800-400
	2 jatos	36-50	400-100
	4 jatos	40-50	400-100
	4 jatos	51-71	500-200
	6 jatos	72-90	400-100
Francis	Muito lenta	55-70	600-200
	Lenta	71-120	200-100
	Normal	121-200	100-70
	Rápida	201-300	70-25
	Extra rápida	301-450	25-15
Kaplan, Bulbo, Straflo, Propeller	8 pás	250-320	70-50
	7 pás	321-430	50-40
	6 pás	431-530	40-30
	5 pás	534-620	30-20
	4 pás	624 em diante	30

TABELA 6. Campo de aplicação dos diversos tipos de turbina (seleção para gerados de 2 polos).

Fonte: Macintyre (1983).

## 3. Seleção de turbina para gerador de 4 polos

### 3.1. Calculo na velocidade do gerador

$$n = 2 \times 60 \times f/P \quad (7)$$

$$n = 2 \times 60 \times 60/4$$

$$n = 1800 \text{ rpm}$$

### 3.2. Rotação específica no sistema internacional

$$n_{qa} = 1000 \times (n/60) \times \sqrt{Q}/\sqrt[4]{(H \times g)^3} \quad (8)$$

$$n_{qa} = 1000 \times (3600/60) \times \sqrt{5,16}/\sqrt[4]{(575,54 \times 9,81)^3}$$

$$n_{qa} = 104,6$$

### 3.3. Rotação específica no sistema técnico

$$n_{qt[ns]} = n_{qa}/3 \quad (9)$$

$$n_{qt[ns]} = 104,6/3$$

$$n_{qt[ns]} = 34,9$$

### 3.4. Rotação específica no sistema inglês

$$n_{qt[USA]} = n_{ns} \times 51,6 \quad (10)$$

$$n_{qt[USA]} = 34,9 \times 51,6$$

$$n_{qt[USA]} = 1799,3$$

### 3.5. Valor pré-dimensional do rotor

$$\phi = \sqrt[4]{2^3} \times Q / (\sqrt{\pi} \times n \times D_r^3) \quad (11)$$

$$\phi = \sqrt[4]{2^3} \times 5,16 / (\sqrt{\pi} \times 1800 \times 1,6181^3)$$

$$\phi = 0,0000642$$

### 3.6. Diâmetro específico para pre-dimensionamento (m)

$$D^* = \sqrt[4]{\phi} / \sqrt{\varphi}$$

$$D^* = \sqrt[4]{0,0000642} / \sqrt{0,000109}$$

$$D^* = 15,2 \text{ m}-0,5$$

### 3.7. Diâmetro do rotor (m) pré-dimensionamento

$$D_r = \left( (4 \times D^* \times \sqrt{Q}) / (\pi^2 \times \sqrt[4]{H \times g}) \right) \quad (13)$$

$$D_r = \left( (4 \times 15,2 \times \sqrt{5,16}) / (\pi^2 \times \sqrt[4]{575,54 \times 9,81}) \right)$$

$$D_r = 1,6181 \text{ m}$$

### 3.8 Cálculo pré-dimensionamento diâmetro do rotor

$$\varphi = 2 \times g \times H / \pi^2 \times n^2 \times D_r \times 2 \quad (14)$$

$$\varphi = 2 \times 9,81 \times 575,54 / \pi^2 \times 1800^2 \times 1,6181 \times 2$$

$$\varphi = 0,000019\text{m}$$

### 3.9 Seleção da turbina

Analisando a Tabela 7 e fazendo o cruzamento dos valores de velocidade de prédimensionamento do rotor no sistema internacional de nqt [ns] 34,9 e queda disponível de 575,54 m a turbina selecionada para trabalhar acoplada a um grupo gerador de 4 polos foi a Pelton 2 jatos.

Tipo de turbina	Nqt (rpm)		H (m)
Pelton	1 jato	18	800
	1 jato	18-25	800-400
	1 jato	26-35	400-100
	2 jatos	26-35	800-400
	2 jatos	36-50	400-100
	4 jatos	40-50	400-100
	4 jatos	51-71	500-200
Francis	6 jatos	72-90	400-100
	Muito lenta	55-70	600-200
	Lenta	71-120	200-100
	Normal	121-200	100-70
	Rápida	201-300	70-25
Kaplan, Bulbo, Straflo, Propeller	Extra rápida	301-450	25-15
	8 pás	250-320	70-50
	7 pás	321-430	50-40
	6 pás	431-530	40-30
	5 pás	534-620	30-20
	4 pás	624 em diante	30

TABELA 7. Campo de aplicação dos diversos tipos de turbina (seleção para gerados de 4 polos).

Fonte: Macintyre (1983).

## 4. Seleção de turbina para gerador 6 polos

### 4.1. Calculo na velocidade do gerador

$$n = 2 \times 60 \times f/P \quad (7)$$

$$n = 2 \times 60 \times 60/6$$

$$n = 1200 \text{ rpm}$$

#### 4.2. Rotação específica no sistema internacional

$$\begin{aligned}n_{qa} &= 1000 \times (n/60) \times \sqrt[4]{Q} / \sqrt[4]{(H \times g)^3} \\n_{qa} &= 1000 \times (1200/60) \times \sqrt[4]{5,16} / \sqrt[4]{(575,54 \times 9,81)^3} \\n_{qa} &= 69,7\end{aligned} \quad (8)$$

#### 4.3. Rotação específica no sistema técnico

$$\begin{aligned}n_{qt[ns]} &= n_{qa} / 3 \\n_{qt[ns]} &= 69,7 / 3 \\n_{qt[ns]} &= 23,2\end{aligned} \quad (9)$$

#### 4.4. Rotação específica no sistema inglês

$$\begin{aligned}n_{qt[USA]} &= n_{ns} \times 51,6 \\n_{qt[USA]} &= 23,2 \times 51,6 \\n_{qt[USA]} &= 1199,5\end{aligned} \quad (10)$$

#### 4.5. Valor pré-dimensional do rotor

$$\begin{aligned}\varnothing &= (\sqrt[4]{2^3} \times Q) / (\sqrt{\pi} \times n \times D3r) \\ \varnothing &= (\sqrt[4]{2^3} \times 5,16) / (\sqrt{\pi} \times 1200 \times 1,2687^3) \\ \varnothing &= 0,0019972\end{aligned} \quad (11)$$

#### 4.6. Diâmetro específico para pré-dimensionamento (m)

$$\begin{aligned}D^* &= \sqrt[4]{\varnothing} / \sqrt{\varphi} \\ D^* &= \sqrt[4]{0,0019972} / \sqrt{0,000313} \\ D^* &= 11,9 \text{ m}^{-0,5}\end{aligned} \quad (12)$$

#### 4.7. Diâmetro do rotor (m) pré-dimensionamento

$$\begin{aligned}D_r &= \left( (4 \times D^* \times \sqrt{Q}) / (\pi^2 \times \sqrt[4]{H \times g}) \right) \\ D_r &= \left( (4 \times 11,9 \times \sqrt{5,16}) / (\pi^2 \times \sqrt[4]{575,54 \times 9,81}) \right) \\ D_r &= 1,2686 \text{ m}\end{aligned} \quad (13)$$

#### 4.8. Cálculo pré-dimensionamento diâmetro do rotor

$$\varphi = 2 \times g \times H / \pi^2 \times n^2 \times D_r \times 2 \quad (14)$$

$$\varphi = 2 \times 9,81 \times 575,54 / \pi^2 \times 1200^2 \times 1,2686 \times 2$$

$$\varphi = 0,000313\text{m}$$

#### 4.9. Seleção da turbina

Analisando a Tabela 8 e fazendo o cruzamento dos valores de velocidade de prédimensionamento do rotor no sistema internacional de  $nqt$  [ns] 23,2 e queda disponível de 575,54 m a turbina selecionada para trabalhar acoplada a um grupo gerador de 6 polos foi a Pelton 1 jato.

Tipo de turbina		Nqt (rpm)	H (m)
Pelton	1 jato	18	800
	1 jato	18-25	800-400
	jato	26-35	400-100
	jatos	26-35	800-400
	2 jatos	36-50	400-100
	4 jatos	40-50	400-100
	4 jatos	51-71	500-200
Francis	6 jatos	72-90	400-100
	Muito lenta	55-70	600-200
	Lenta	71-120	200-100
	Normal	121-200	100-70
	Rápida	201-300	70-25
Kaplan, Bulbo, Straflo, Propeller	Extra rápida	301-450	25-15
	8 pás	250-320	70-50
	7 pás	321-430	50-40
	6 pás	431-530	40-30
	5 pás	534-620	30-20
	4 pás	624 em diante	30

TABELA 8. Campo de aplicação dos diversos tipos de turbina (seleção para gerados de 6 polos).

Fonte: Macintyre (1983).

# ESTUDO DA VIABILIDADE DE AUMENTAR A EFICIÊNCIA DE COLETORES SOLARES TÉRMICOS COMO FORMA DE DIVERSIFICAR A MATRIZ ENERGÉTICA PELA PRODUÇÃO DE SUPERFÍCIES SELETIVAS DE ALTA EFICIENCIA

*Data de submissão: 10/12/2023*

*Data de aceite: 01/02/2024*

### **Luiz Carlos de Lima**

Universidade Estácio de Sá  
Rio de Janeiro – RJ  
<http://lattes.cnpq.br/9446570774878019>

### **Guilherme Fialho Moreira**

Universidade Estácio de Sá  
Rio de Janeiro – RJ  
<http://lattes.cnpq.br/3693289548691924>

### **Gevanir Patricio de Oliveira Junior**

Universidade Estácio de Sá  
Rio de Janeiro – RJ  
<http://lattes.cnpq.br/4024587600758138>

### **Rafael dos Santos Cruz Paula**

Nanotex  
Rio de Janeiro - RJ  
<http://lattes.cnpq.br/0438673276285724>

### **Renata Antoun Simão**

Universidade Federal do Rio de Janeiro –  
Departamento de Engenharia Metalurgica  
e de Materiais  
Rio De Janeiro  
<http://lattes.cnpq.br/7450433597868881>

diretamente relacionado com esse crescimento. O índice desse aumento é maior nas regiões norte e nordeste do país. Nos últimos anos, os brasileiros se depararam com os termos “bandeira tarifária amarela” e “bandeira tarifária vermelha” na conta de luz, que são taxas relacionadas à geração de energia elétrica. Fatores climáticos como escassez de chuvas também podem interferir diretamente no custo da geração de energia.

No Brasil, a posição geográfica e o clima são fatores que privilegiam a geração de energia por hidrelétricas. Pesquisas recentes da ONS-BR mostram que o maior vilão no consumo de eletricidade em uma residência é o chuveiro, consumindo cerca de 25% da demanda de energia chegando até 13% da demanda nacional durante o horário de pico, entre 18 às 22 horas. No entanto, ainda existem regiões que não possuem acesso à energia elétrica, sendo substituída por processos térmicos de geração de energia, tal como a queima de derivados do petróleo ou cana de açúcar.

No contexto de buscar soluções para aumentar a oferta de energia, a viabilidade do uso de energias renováveis limpas, que não emitem outros poluentes no meio ambiente, passa a ser bastante questionado

**RESUMO:** O Brasil atualmente passa por um período de crescimento populacional, o aumento do número de novas residências e o consumo de energia elétrica está

e vislumbrado como uma alternativa para diversificar a matriz energética de forma a diminuir a dependência do regime de chuvas, sustentar o crescimento do país e atender áreas onde a geração de energia é realizada por queima de derivados do petróleo e cana.

**PALAVRAS-CHAVE:** sustentabilidade, energia limpa, educação ambiental, energia renovável.

## STUDY ON THE VIABILITY OF INCREASING THE EFFICIENCY OF SOLAR THERMAL COLLECTORS AS A WAY OF DIVERSIFYING THE ENERGY MATRIX THROUGH THE PRODUCTION OF HIGH-EFFICIENCY SELECTIVE SURFACES

**ABSTRACT:** Today Brazil is going through a period of population growth. The increase in the number of new homes and consumption of electricity is directly related to this growth. Regions where this increase is greatest are the north and northeast of the country.

In recent years, Brazilians have come across the terms yellow and red tariff flag on their electricity bills, which are fees related to the generation of electrical energy. Climatic factors such as lack of rainfall can directly affect the cost of energy generation.

In Brazil, the geographic position and the climate are factors that privilege the generation of energy hydroelectric. Recent research by ONS-BR shows that the biggest villain in consumption of electricity in a home is the electric shower, consuming around 25% of energy demand or up to 13% of electric energy during peak hours, between 6 pm and 10 pm. However, there are still regions that do not have electricity, where are using burn of petroleum and sugarcane derivatives.

In the context of solutions to increase energy supply, the viability of using clean renewable energy is now widely questioned and seen as an alternative to diversify the energy matrix, reducing dependence on rainfall, to sustain the country's growth and serve areas where energy is produced by burning petroleum derivatives and sugarcane.

**KEYWORDS:** sustainability, clean energy, environmental education, renewable energy.

## PROBLEMATIZAÇÃO E SOLUÇÕES EM ENERGIA SOLAR TÉRMICA

O Brasil atualmente passa por um período que o consumo de energia elétrica tem aumentado gradativamente. Em 2021 este aumento correspondeu a 5,2% do consumo de energia do ano anterior. A classe comercial registra o maior valor de consumo desde abril de 2021, expansão de 6,7% em relação ao mesmo período de 2020. A Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) demonstrou que o Brasil registrou, no primeiro trimestre de 2022, uma alta de 0,9% em relação ao mesmo período de 2021.

Estudos da Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE) mostram a diferença entre a matriz energética mundial e a matriz energética brasileira, concluindo que fontes de energias renováveis ainda são pequenas comparadas com outras formas de geração de energia no Brasil, principalmente quando se pontua o volume da geração de energia elétrica a partir de fonte solar.

A energia solar pode ser convertida de dois modos, fotovoltaica ou fototérmica. Na primeira é gerada energia elétrica a partir da conversão direta da luz do sol em eletricidade, para tanto a tecnologia mais utilizada são placas formadas por células de poli-silício. Na segunda há uma conversão da luz do sol em energia térmica, através de uma superfície absorvedora que retém grande parte do calor, transmitindo-o a um fluido.

Em sistemas de energia fototérmica, a energia é captada através de painéis solares térmicos, também chamados de coletores solares. Coletores solares são sistemas simples, econômicos e conhecidos por converter a luz do sol em energia térmica que transmite esse calor para fluidos, ou seja o coletor solar é o principal componente dentro de um sistema de aquecimento solar. Esses coletores solares são classificados como coletores de baixa, média e alta temperatura, dependendo da configuração projetada. Coletores solares atuais fornecem calor útil a temperaturas abaixo de 65 graus Celsius. Atualmente no Brasil são utilizados em casas e hotéis para o aquecimento de água para banho em chuveiros e piscinas. Coletores de temperaturas médias são dispositivos que concentram a radiação solar para fornecer calor útil a uma temperatura mais alta, geralmente entre 100°C e 400°C. Podem ser aplicados a Indústria, condomínios, hospitais, entre outras. Por possuírem eficiência superior na conversão térmica, estes coletores de média temperatura podem ser aplicados em demandas de baixa temperatura, como é o caso da aplicação residencial, porém com uma redução significativa na área de coleta solar, ou seja na quantidade de coletores necessários para o mesmo sistema de aquecimento. Coletores de alta temperatura trabalham em temperaturas acima de 400°C. Eles são utilizados em Usinas Heliotérmicas, para geração de energia elétrica por movimentação de turbinas, por exemplo.

No entanto, para conseguir atender à crescente demanda de geração de energia na forma de calor, a indústria de energia solar precisa avançar na pesquisa e desenvolvimento em três grandes áreas:

- (i) novas tecnologias de armazenamento de calor;
- (ii) novos materiais para aumentar a eficiência dos coletores solares;
- (iii) melhorar os projetos atuais, segundo estudo realizado pela ESTTP.

Neste contexto, o desenvolvimento de superfícies seletivas é um dos caminhos para compor as Aletas Seletivas (componente responsável no coletor solar pela conversão da radiação solar em energia térmica na forma de calor), para substituição das aletas normais utilizadas atualmente no mercado (produzidas por tintas automotivas) e sua adaptação em Coletores Solares formando uma nova linha de coletores solares nacionais: Coletores Seletivos com uso da tecnologia de revestimento nanestruturado, baseadas em estruturas de óxidos nano-particulados de titânio, alumínio e outros metais, com alta estabilidade e condução térmica, gerando um aumento na sua eficiência na captação e geração de energia.

Essa substituição de aletas pode levar ao aumento considerável da eficiência de conversão energética, podendo atingir temperaturas de 400°C, dependendo do design e arquitetura do coletor solar. Nesse caso o coletor solar pode ser aplicado a novos mercados como pequenos condomínios, indústrias, hospitais e novos produtos.

Dados apontam que 77% de toda a demanda de energia residencial é do tipo térmica, ou seja, para aquecer ou resfriar ambientes, e apenas 23% necessita de energia elétrica.

O segmento industrial é o maior consumidor de energia, respondendo por mais de um terço da demanda global de energia (31% do consumo final total de energia). No entanto, apesar do grande potencial para atender demanda de energia industrial com fontes renováveis, pouco progresso foi feito para uma transição do consumo de energia do segmento para as energias renováveis, especialmente para processos de baixa temperatura na faixa de 50°C a 200°C, que representam cerca de 35% de toda a demanda por energia térmica da indústria, conforme figura 1.

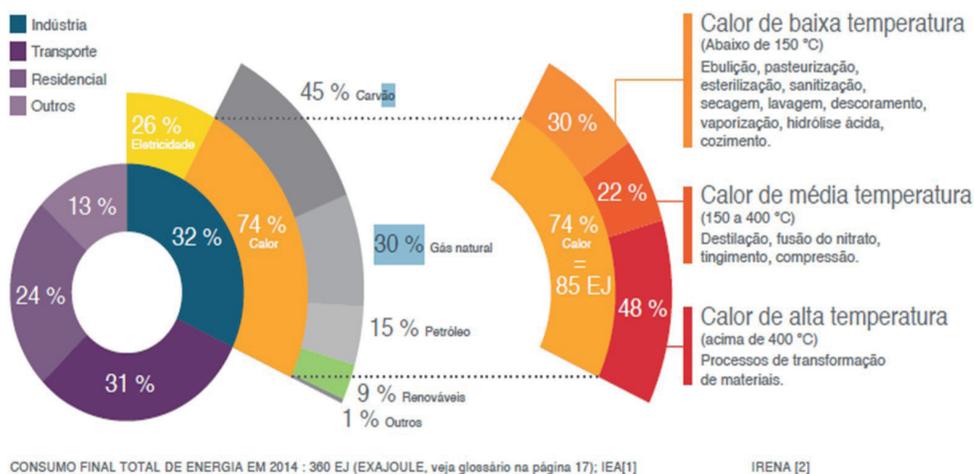


Figura 1: consumo final de energia [14].

A participação de energia renovável na indústria aumentou apenas 3,6 pontos percentuais entre 2011 e 2019, chegando a 16,1%. Enquanto isso, o uso de energia no setor cresceu 1% ao ano em média durante 2010-2019.

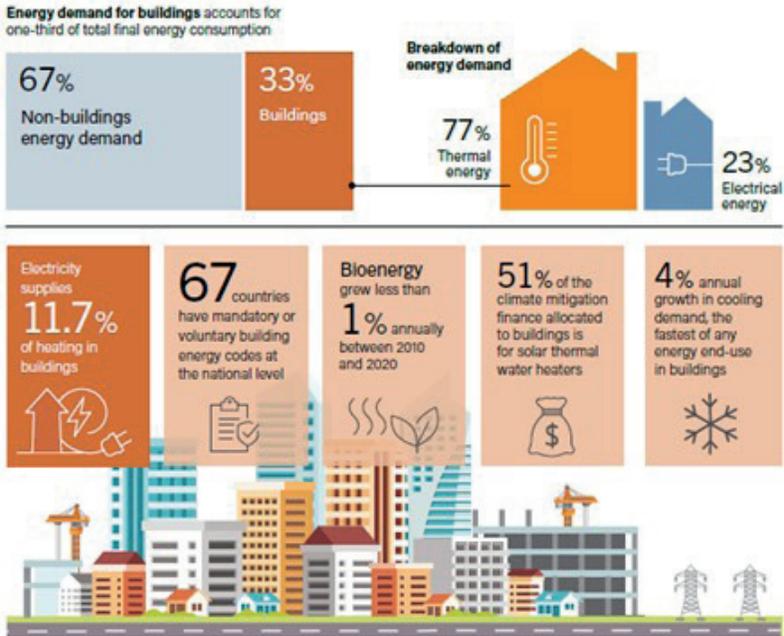


Figura 2: Demanda de energia residencial no mundo [15]

Para finalizar, observa-se que, apesar das imensas demandas por energia térmica em todo o mundo, tanto no mercado residencial quanto no industrial, a pouco crescimento do mercado, que se refletem nos baixos investimentos em 2021, conforme figura abaixo:

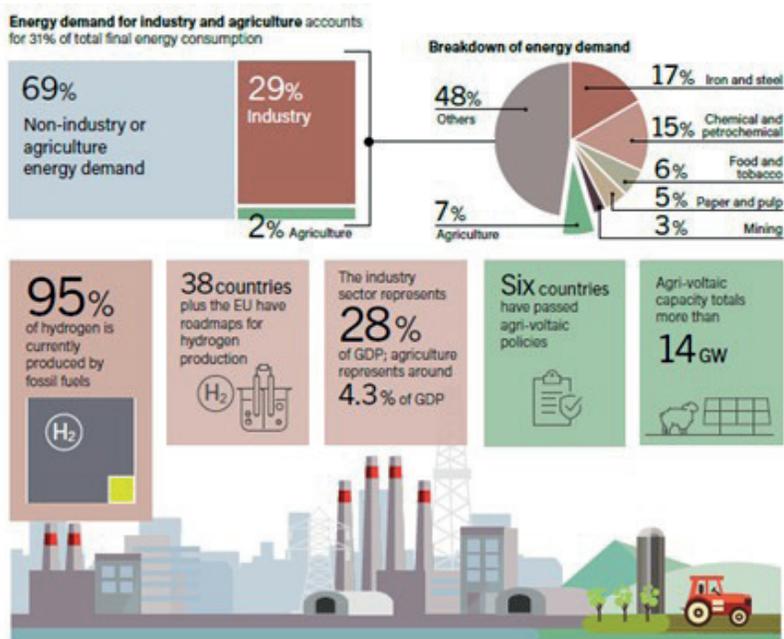


Figura 02: Energia renovável na indústria e agricultura [15]

Se utilizarmos diretamente o calor em baixas temperaturas, cerca de aproximadamente 25,5 EJ podem ser convertidos diretamente em trabalho como ebulição, pasteurização, esterilização, sanitização, secagem, lavagem, descoramento, vaporização, hidrólise ácida, cozimento entre outras.

Além disto, torna-se indiscutível que fontes renováveis de energia são a resposta para a crescente demanda de energia do mundo de forma sustentável com a capacidade de redução da emissão de CO<sub>2</sub>.

## **SUPERFÍCIES SELETIVAS**

Aplicação de aquecedores solares térmicos em habitações de interesse social e industrial é vista hoje no Brasil como uma prática comum para a redução do consumo de energia elétrica. No entanto, a eficiência dos painéis para coletores solares ainda é baixa por falta de tecnologia nacional limitando as aplicações dos coletores. Ao se aplicar superfícies seletivas em coletores solares tradicionais com designers e geometrias diferenciadas pode-se de aumentar a eficiência de conversão energética

Apesar de o Brasil ser um país onde a taxa de irradiação solar é tão alta em relação à taxa encontrada em outros países é importante aumentar a eficiência de coletores e nacionalizar a tecnologia de produção de superfícies seletivas, visto que a crescente preocupação com crise energética faz com que a energia sustentável seja considerada uma alternativa promissora com papel cada vez mais importante [7].

Nos últimos anos tem se intensificado a busca por soluções que visam substituir as matrizes energéticas atuais por fontes de energia renovável. Nesse sentido a fototérmica torna-se uma das formas de energia mais desenvolvida, principalmente pelo crescente consumo de energia do uso residencial que pode se estender à indústria [7].

A eficiência dos coletores solares térmicos pode ser aumentada melhorando as propriedades da superfície que absorve e converte a luz solar em calor, tais como aumentando o coeficiente de absorvância no espectro visível (VIS - 0,3-2,5 $\mu$ m) e diminuindo as perdas térmicas utilizando materiais com baixa emitância na região do infravermelho (IR - 2,5-20  $\mu$ m)[7,9,11,12]. Superfícies com estas características são ditas superfícies seletivas e apresentam melhor performance atingindo temperaturas mais elevadas, aumentando a gama de aplicações passando a atender com grande eficiência a indústria como por exemplo no aquecimento de água para a produção de calor e atendendo condomínios de pequeno porte.

Materiais e combinações de materiais diferentes têm sido testados como superfícies seletivas com especial interesse no desenvolvimento de materiais micro ou nano estruturados compostos de pequenas partículas metálicas dispersas em uma matriz dielétrica [1-5]. Dependendo das condições de produção estes recobrimentos podem apresentar diferentes composições e até variações da quantidade de partículas metálicas ao longo

da espessura do recobrimento levando a propriedades físicas e químicas interessantes. É possível se obter superfícies com ótimas propriedades óticas (absortância maior que 96% e emitância térmica menor que 10%) e maior resistência à corrosão, dada pelo aumento da condutividade elétrica e a diminuição do campo elétrico no óxido. É reportado na literatura também um aumento da estabilidade térmica de óxidos mistos em relação à estabilidade de superfícies de óxidos cobre ou alumínio puros [7, 9, 11].

Dentre os possíveis modos de produção de óxidos mistos ou superfícies de óxidos nano estruturadas por partículas metálicas, a eletroquímica é uma técnica de produção barata e facilmente implementada em uma linha de produção. Por outro lado, gera um resíduo químico que contrapõe a natureza limpa característica da produção de energia renovável por absorção solar. Outra técnica que tem sido avaliada para produção de recobrimentos mistos em larga escala é a técnica de deposição física (PVD) por magnetron sputtering. Magnetron Sputtering reativo permite a produção de recobrimentos cerâmico-metálicos, ditos cermet, com uma porção definida de partículas magnéticas. Com essa técnica podem ser produzidas ligas de metais-óxidos [3], metais-nitretos e mesmo de metais-oxinitretos[6] sem gerar resíduo, de forma limpa e ambientalmente correta.

Superfícies seletivas de  $Al_xTi_{1-y}(O_xN_{1-x})$  foram produzidas para validar o conceito de projeto de simulação desenvolvido por I. Heras e foi encontrado excelentes resultados confirmando que esse material pode ser aplicado à superfícies seletivas com boa estabilidade térmica até 800°C [8-9].

Filmes de Al dopado com fase CrN além de apresentar reflectância e absortância características de superfícies seletivas de TiN na região do espectro solar, entre 300 e 2600  $\mu m$ , exibem características naturais de semicondutores e são indicados a materias para superfícies seletivas aplicados a alta temperatura com boa estabilidade térmica [11].

Geralmente essas superfícies podem ser depositadas sobre substratos de alumínio ou cobre, dependendo dos metais escolhidos para serem os conversores de luz em calor é necessário utilizar uma camada intermediária aglutinadora que faz com que haja adesividade e afinidade entre substrato e camada absorvedora. A camada absorvedora pode ser composta por diversos materiais ou seus óxidos e por fim uma camada anti-reflectiva para evitar as perdas térmicas.

## IMPACTO SOCIOECONÔMICO E AMBIENTAL

Aletas seletivas faz parte de uma tecnologia de Impacto em coletores solares para geração de energia térmica e elétrica com mais eficiência que os atuais em um só equipamento, reduzindo o tamanho de coletores e diminuindo gastos energéticos não renováveis, onde cada  $m^2$  de coletor solar instalado gera uma economia média de 1.600 kWh/ano e evita a emissão de 2.000Kg/ano de  $CO_2$  na atmosfera. Com isso a implementação dessa tecnologia aumenta a possibilidade de capacitação de mão de obra especializada e renda.

O Brasil é o quinto maior mercado mundial de coletores solares térmicos. De acordo com a ABRASOL em 2022 já tínhamos no Brasil 20 M de m<sup>2</sup> de coletores térmicos instalados com receita anual 1.4 B. de reais. Segundo a ABRASOL são instaladas 170 mil soluções anualmente no Brasil, fazendo com que este mercado movimente mais de 2.1 bilhões de reais por ano. Em 2023 pela primeira vez na história do Brasil, a energia solar térmica apareceu no mapa da matriz energética brasileira, com significativos 0,7% de toda energia gerada no país.

No Brasil a Nanotex, empresa do setor de pesquisa em nanotecnologia, tem buscado soluções para diversificar o mercado nacional no que se refere a modificação de superfícies com nanotecnologia para produção de novas aletas seletivas.

## CONCLUSÕES

Nesse artigo foi discutido sobre a viabilidade de se adaptar coletores solares térmicos já existentes no mercado substituindo as aletas comuns por aletas seletivas formando uma nova linha de produto capaz de diversificar a matriz energética do país em acordo com as ODS propostas pela ONU.

Para a implementação dessas aletas seletivas ainda falta investimentos para sua produção em escala industrial no país, mas já em andamento por uma empresa privada.

Resultados dos estudos preliminares mostraram favoráveis a introdução desse material para a diversificação do mercado e com isso uma nova linha de produtos.

## REFERÊNCIAS

1. A. G. Munõz et al, *Thin Sol. Films* 460 (2004) 143
2. Anika Himmler et al, *Surface & Coatings Tech.* 336 ( 2018) 123-127
3. C. Nunes et al, *Vacumm* 67 (2002) 623
4. C. Nunes, *Thin Sol. Films* 442 (2003) 173
5. Chengzhu ke et al, *Vaccum* 152 (2018) 114-122
6. E. E. Chain et al., *Thin Sol. Films.* 83 (1981) 387
7. Hae-jun Seok et al, *Journal of Alloy and Comp.* 775 (2019) 853-864
8. H Yang et al *Energy* 145 (2017) 206-216
9. I. Heras et al, *Sol Energy Mat. Solar Cells* 176 (2018) 81-92
10. Jianlin Chen et al, *Mat. Letters* 133(2014) 71-74

11. L. Li, Sol Energy Mat. Solar Cells 64 (2000) 279
12. Mingke Hu et al, Energy 155 (2018) 360-369
13. R. Escobar-Galindo et al, Sol Energy Mat. Solar Cells 185 ( 2018) 183-191
14. Rodríguez-Carvajal, Ricardo Alberto cap. 03 (2019) 22 – 35
15. Renewable Energy Data in perspective (2022) - 19
16. S. Sützer et al, Sol Energy Mat. Solar Cells 52 (1998) 55

**HENRIQUE AJUZ HOLZMANN:** Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutor em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

**GÉSSICA KATALYNE BILCATI:** Professora do Curso de Engenharia Civil na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Guarapuava. Possui Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Mestrado em Engenharia Civil com ênfase em Materiais e Componentes de Construção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Curitiba. Desenvolveu pesquisas relacionadas à painéis cimento-madeira. Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), na área de compósitos cimentícios com adição de materiais celulósicos.

**A**

Arduino 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94

Área de preservação permanente 2, 8

Automação 85, 87

**B**

Biometria 85, 86, 87, 89, 90, 91

**C**

Congestão de filas 65, 69

**D**

Diagnóstico ambiental 2, 3, 5, 6, 8

Diversidade florestal 16

**E**

Educação ambiental 116

Energia limpa 116

Energia renovável 116, 118, 119, 120, 121

Espécies madeireiras 16

Exploração de terras 25

**F**

Falha 49, 50, 51, 53, 54, 57, 59, 60, 61, 66

FMEA 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 58, 61, 62, 63

**G**

Gargalos de exportação 35

**H**

Hidrelétrica 96, 97, 102

**I**

Intermodalidade 35, 37, 38, 39

**L**

Logística 35, 36, 37, 40, 46, 49, 54, 58, 62, 69

**M**

Manejo florestal 16, 17, 24

Meio ambiente 2, 14, 25, 30, 32, 33, 34, 115

Milho 35, 36, 38, 39, 40, 44

## **N**

Nordeste brasileiro 2, 15

## **O**

Ocupação de terras 25

## **R**

RCM 48, 49, 50, 51

Região amazônica 25, 28, 31

Restauração ecológica 1, 2, 3, 5, 8, 10, 12, 13, 15

## **S**

Segurança 3, 29, 51, 85, 86, 87, 89, 91, 92, 97

Seleção 54, 96, 97, 98, 102, 104, 105, 106, 109, 110, 112, 114

Simulação computacional 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 76

Software Arena 65, 69, 75, 76

Soja 35, 36, 38, 39, 40, 44, 46, 47

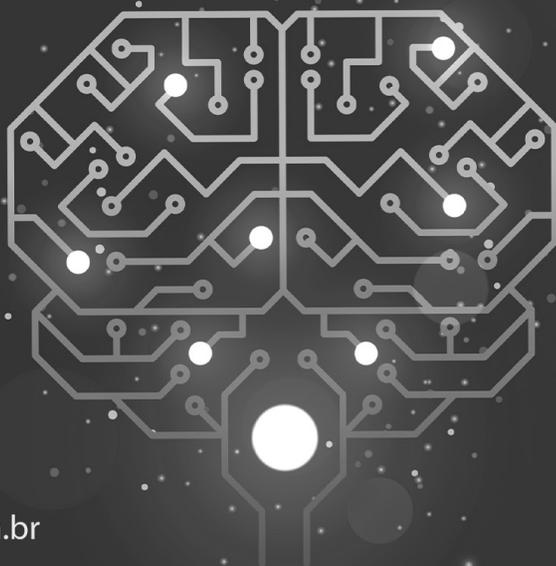
Sustentabilidade 3, 29, 31, 32, 34, 116

## **T**

Turbina 96, 97, 98, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 108, 109, 110, 112, 114

# ENGENHARIAS:

qualidade, produtividade  
e inovação tecnológica 4



 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)



  
Ano 2024

# ENGENHARIAS:

qualidade, produtividade  
e inovação tecnológica 4



 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)



  
Ano 2024