



# **CAMINHOS PARA O FUTURO:** Inovação, Engenharia e Sustentabilidade no Matopiba

Carla Caroline Alves Carvalho  
Tatiane Carolyne Carneiro

**ORGANIZADORAS**



**EDUFMA**

**CAMINHOS PARA O FUTURO:  
Inovação, Engenharia e Sustentabilidade no Matopiba**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO**  
**Reitor** Prof. Dr. Fernando Carvalho Silva  
**Vice-Reitor** Prof. Dr. Leonardo Silva Soares



**SIBI** SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS  
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

**Diretor** Prof. Dr. César Augusto Castro



**EDITORA DA UFMA**

**Coordenadora** Irenilma Cadête Lima  
**Conselho Editorial** Profa. Dra. Andréa Katiane Ferreira Costa  
Profa. Dra. Débora Batista Pinheiro Sousa  
Prof. Dr. Edson Ferreira da Costa  
Prof. Dr. José Carlos Aragão Silva  
Profa. Dra. Jussara Danielle Martins Aires  
Profa. Dra. Karina Almeida de Sousa  
Prof. Dr. Luís Henrique Serra  
Prof. Dr. Luiz Eduardo Neves dos Santos  
Profa. Dra. Luma Castro de Souza  
Prof. Dr. Márcio José Celeri  
Profa. Dra. Maria Áurea Lira Feitosa  
Profa. Dra. Raimunda Ramos Marinho  
Profa. Dra. Rosângela Fernandes Lucena Batista  
**Bibliotecária** Iole Costa Pinheiro



Associação Brasileira das Editoras Universitárias



All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International license.

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0.

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia Creative Commons Reconocimiento 4.0.

Carla Caroline Alves Carvalho  
Tatiane Carolyne Carneiro  
(ORGS)

**CAMINHOS PARA O FUTURO:  
Inovação, Engenharia e Sustentabilidade no Matopiba**

**São Luís**



**EDUFMA**

**2025**

© 2025 EDUFMA - Todos os direitos reservados

Projeto Gráfico, diagramação e capa: Carla Caroline Alves Carvalho

Logotipo comemorativa: Carla Caroline Alves Carvalho

Revisão: Gislane Pinho de Oliveira

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Congresso de Tecnologia, Engenharia e Ciência do MATOPIBA (CONTEC MATOPIBA) (l.: 2024 : Balsas, MA).

Caminhos para o futuro: inovação, engenharia e sustentabilidade no MATOPIBA [recurso eletrônico] / Carla Caroline Alves Carvalho, Tatiane Carolyne Carneiro, organizadoras. — São Luís: EDUFMA, 2025.

248 f.

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN: 978-65-5363-544-9

1. Engenharia. 2. Sustentabilidade. 3 Meio Ambiente. I. Carvalho, Carla Caroline Alves. II. Carneiro, Tatiane Carolyne. III. Título.

CDD 62

CDU 620.1+50(812.1)

Ficha catalográfica elaborada pelo bibliotecário: Iomar Lima Lago  
CRB 13 / 555

CRIADO NO BRASIL [2025]

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte deste livro pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação ou transmitida de qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotocópia, microimagem, gravação ou outro, sem permissão do autor.

| EDUFMA | EDITORA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

Av. dos Portugueses, 1966 | Vila Bacanga

CEP: 65080-805 | São Luís | MA | Brasil

Telefone: (98) 3272-8157

www.edufma.ufma.br | edufma@ufma.br

**CAMINHOS PARA O FUTURO:  
Inovação, Engenharia e Sustentabilidade no Matopiba**

**COORDENAÇÃO GERAL**

Dra. Tatiane Carolyne Carneiro

**COMISSÃO ORGANIZADORA**

***Professores***

Dra. Carla Caroline Alves Carvalho  
Dra. Daiana Caroline dos Santos Gomes

Dr. Leomar dos Santos Veras

Dr. Anderson Alles de Jesus

Dra. Gislane Pinho de Oliveira

Dr. Jefferson Fontinele da Silva

***Técnicos***

Raíssa de Oliveira Silva Messias

Sandra Rodrigues dos Santos

***Discentes***

Ellen Raissa Lima Passos

David de Almeida Sousa

Flaviany Aguiar de Souza

Manayara Santos Rodrigues Bezerra

Marina da Silva Miranda

Mohama Paz de Melo Silva

Millena Marinho Rocha

Nadia Cruz de Jesus

Samara Lopes Pereira

## COMISSÃO CIENTÍFICA

Dr. Antonio Rodrigues da Cunha  
*Universidade Federal do Maranhão*

Dr. Ivanilson Sousa da Costa  
*Universidade Federal do Maranhão*

Dr. Daniel Beserra Costa  
*Universidade Federal do Maranhão*

Me. Leandro Gomes Domingos  
*Universidade Federal do Maranhão*

Dr. Cláudio de Sousa Bezerra  
*Universidade Federal do Maranhão*

Dra. Juliana Bezerra Martins  
*Universidade Federal Rural de  
Pernambuco*

Elisângela Maria da Silva  
*Universidade Federal do Sul da  
Bahia*

Dr. Manoel Mariano Neto da Silva  
*Universidade Federal de Alagoas*

Me. Francisco de Assis Alves da  
Cunha  
*Universidade Federal do Maranhão*

Dr. Paulo Cristiano Queiroz Moraes  
*Universidade Federal do Maranhão*

Dra. Gislane Pinho de Oliveira  
*Universidade Federal do Maranhão*

Pedro Bezerra Leite Neto  
*Universidade Federal do Maranhão*

Me. Gustavo Araujo de Andrade  
*Universidade Federal do Maranhão*

Dra. Regina Maria Mendes Oliveira  
*Universidade Federal do Maranhão*

Dra. Yáscara Maia Araújo de Brito  
*Universidade Federal do Oeste da  
Bahia*

## **AGRADECIMENTOS**

A elaboração deste e-book, que reúne os trabalhos apresentados no I Congresso de Tecnologia, Engenharia e Ciência do Matopiba (I CONTEC MATOPIBA), reflete a convicção de que a ciência se constrói com pessoas — com sonhos, coragem e esperança — e de que o conhecimento floresce quando é compartilhado. Ele nasceu do encontro de muitas mãos, mentes e corações, cuja união tornou possível esta obra.

Aos autores e pesquisadores, nossa mais profunda gratidão. Cada artigo aqui reunido é uma semente de inovação, lançada sobre o solo fértil da curiosidade e do rigor científico. Seus estudos iluminam o presente e projetam o futuro, reafirmando que a pesquisa é a ponte entre o pensamento e a transformação do mundo.

À Universidade Federal do Maranhão (UFMA) e ao Centro de Ciências de Balsas (CCBL), agradecemos pelo abrigo institucional e pelo impulso que torna possíveis encontros como este — onde o saber encontra o fazer, e o aprender se torna também um ato de criação.

Aos professores, orientadores e mentores, nosso reconhecimento sincero. São faróis que guiam o caminho da descoberta e que, com paciência e generosidade, despertam nos alunos o desejo de compreender e transformar. Aos estudantes e participantes do evento, que emprestaram suas vozes, ideias e energia à construção deste congresso, agradecemos pela presença vibrante e pelo olhar inquieto que move a ciência. Vocês são o pulso que dá vida à universidade.

Aos técnicos e colaboradores, que estiveram presentes em cada etapa da organização — planejando, resolvendo, acolhendo e tornando possível o que parecia inviável —, nosso reconhecimento e admiração. A dedicação e o comprometimento de cada um foram fundamentais para que o evento alcançasse sua plenitude. Aos parceiros institucionais e empresas apoiadoras, que acreditaram no potencial deste encontro e ajudaram a torná-lo real, expressamos nossa gratidão. Sua confiança renova a ponte entre o conhecimento e o desenvolvimento regional.

Por fim, dedicamos esta obra a todos que veem na ciência, na tecnologia e na sustentabilidade não apenas um campo de estudo, mas um gesto de esperança. Que as ideias aqui registradas ecoem além das páginas e inspirem novos caminhos, novas vozes e novos horizontes — para o Matopiba, para o Sul do Maranhão, e para um futuro onde inovação e sensibilidade caminhem lado a lado.

Com gratidão e respeito,

Dra. Tatiane Carolyne Carneiro  
Coordenação Geral

## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO</b> .....	<b>5</b>
<b>SEÇÃO 1: ENGENHARIA CIVIL E MATERIAIS</b> .....	<b>6</b>
CAPÍTULO 1: EFICIÊNCIA E SEGURANÇA EM CANTEIROS DE OBRA COM ESTRUTURA ICF: UM ESTUDO DE CASO EM BALSAS - MARANHÃO.....	7
CAPÍTULO 2: COPRODUTO DA INDÚSTRIA DA ALUMINA NA FABRICAÇÃO DE ARTEFATOS COM DESIGN SUSTENTAVEIS .....	17
CAPÍTULO 3: ANÁLISE DO LODO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE BALSAS- MA E APLICAÇÃO COMO AGREGADO MIÚDO EM ARGAMASSA .....	29
<b>SEÇÃO 2: SANEAMENTO, RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE</b> .....	<b>59</b>
CAPÍTULO 5: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS ESTADOS DA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL COM RELAÇÃO A COLETA E TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO .....	60
<b>Referências</b> .....	<b>69</b>
CAPÍTULO 6: ANÁLISE DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO NA MICRORREGIÃO DO GERAIS DE BALSAS - MA .....	70
CAPÍTULO 7: ANÁLISE GEOESPACIAL DOS INDICADORES DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA MICRORREGIÃO GERAIS DE BALSAS .....	75
CAPÍTULO 8: AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA EM TRECHOS DO RIO DAS BALSAS - BALSAS/MA.....	82
<b>Referências</b> .....	<b>89</b>
CAPÍTULO 9: AVALIAÇÃO DE EFLUENTES NO DESENVOLVIMENTO DE VEGETAÇÃO EM ÁREAS DE DEPÓSITO DE RESÍDUO DE BAUXITA .....	91
<b>SEÇÃO 3: AGRICULTURA, MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE</b> .....	<b>107</b>
CAPÍTULO 10: SUBSTRATOS E TELAS DE SOMBREAMENTO NA QUALIDADE .....	108
CAPÍTULO 11: ENRAIZADOR E BIOESTIMULANTE NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE MILHO (Zea mays L.) .....	118
<b>SEÇÃO 4: ENERGIAS RENOVÁVEIS E TECNOLOGIAS LIMPAS</b> .....	<b>166</b>
CAPÍTULO 16: VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA SERRAGEM DE MADEIRA DE PINUS EM QUÍMICOS RENOVÁVEIS A PARTIR DA APLICAÇÃO DA PIRÓLISE .....	167
CAPÍTULO 17: ESTUDO TEÓRICO DAS PROPRIEDADES ESTRUTURAIS E ELETRÔNICAS DE NANOFITAS DE POLIANILINA 5BB COM DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE BORDA.....	179
CAPÍTULO 18: INVESTIGAÇÃO DO EFEITO DA SUJIDADE NA PRODUTIVIDADE DE UMA USINA FOTOVOLTAICA LOCALIZADA NO DISTRITO FEDERAL.....	190

<b>SEÇÃO 5: INOVAÇÃO, GESTÃO E EMPREENDEDORISMO .....</b>	<b>201</b>
CAPÍTULO 21: MOTIVOS QUE LEVAM O CONSUMIDOR A BUSCAR A FEIRA DA AGRICULTURA FAMILIAR EM BALSAS-MA .....	231

## APRESENTAÇÃO

O I Congresso de Tecnologia, Engenharia e Ciência do Matopiba (I CONTEC MATOPIBA) representou um marco para o Centro de Ciências de Balsas da Universidade Federal do Maranhão (UFMA) e para toda a região do Matopiba. Realizado entre os dias 25 e 29 de novembro de 2024, com o tema “Inovação Tecnológica e Sustentabilidade: Caminhos para o Futuro”, o evento reuniu estudantes, professores, pesquisadores e profissionais de diversas áreas do conhecimento, unidos pelo propósito comum de repensar o papel da ciência e da tecnologia no desenvolvimento sustentável do território.

Durante cinco dias, o congresso promoveu palestras, minicursos, mesas-redondas, apresentações científicas, atividades culturais e o Ideathon, integrando o conhecimento acadêmico à prática e à inovação social. Essa multiplicidade de experiências reafirmou o compromisso da universidade com o fortalecimento da ciência como instrumento de transformação e de diálogo com a sociedade.

Os trabalhos submetidos ao I CONTEC MATOPIBA foram distribuídos nas sete grandes áreas do conhecimento que orientaram as inscrições no evento: Ciência e Tecnologia; Ciências Agrárias; Ciências Biológicas; Ciências Exatas e da Terra; Engenharias; Inovação e Tecnologia; e Interdisciplinar.

A partir dos temas abordados pelos trabalhos aprovados, esta publicação foi organizada em eixos temáticos que refletem os principais campos de estudo e as convergências observadas durante o congresso: Engenharia Civil e Materiais Sustentáveis; Saneamento, Recursos Hídricos e Meio Ambiente; Agricultura, Meio Ambiente e Sustentabilidade; Energias Renováveis e Tecnologias Limpas; Inovação, Gestão e Empreendedorismo

Cada seção deste e-book revela a pluralidade de ideias e a riqueza das pesquisas apresentadas, que vão desde o desenvolvimento de materiais alternativos de construção e o aproveitamento de resíduos industriais, até o uso de tecnologias de sensoriamento remoto, a gestão ambiental de recursos hídricos e o fortalecimento de práticas empreendedoras e inovadoras.

Mais do que um registro acadêmico, este e-book é um retrato da força criativa do Matopiba — um território que abriga desafios ambientais, econômicos e sociais, mas também um imenso potencial científico e humano.

A primeira edição do CONTEC MATOPIBA inaugura um espaço de convergência entre ensino, pesquisa e extensão, celebrando a capacidade transformadora da ciência e a colaboração entre universidade, setor produtivo e comunidade.

Que os resultados aqui reunidos inspirem novas pesquisas, parcerias e ações capazes de fortalecer a sustentabilidade, a inovação e o desenvolvimento do nosso território. Que este seja apenas o primeiro capítulo de uma jornada que continuará a escrever, com conhecimento e esperança, os caminhos para o futuro do Matopiba.

Dra. Carla Caroline Alves Carvalho  
Comissão Organizadora

# SEÇÃO 1: ENGENHARIA CIVIL E MATERIAIS

Esta seção reúne estudos dedicados ao aprimoramento de materiais, técnicas construtivas e soluções inovadoras que promovem uma engenharia civil mais sustentável e eficiente. As pesquisas exploram a aplicação de resíduos industriais em novos produtos, a eficiência energética em obras e o desenvolvimento de alternativas para redução da pegada de carbono na construção civil. Os trabalhos apresentados reforçam o compromisso da engenharia com a sustentabilidade, revelando como a ciência dos materiais e as boas práticas construtivas podem contribuir para um futuro mais equilibrado e ambientalmente responsável. Os artigos que compõem os capítulos desta seção são:

- Eficiência e segurança em canteiros de obra com estrutura ICF: um estudo de caso em Balsas - Maranhão
- Coproduto da indústria da alumina na fabricação de artefatos com design sustentáveis
- Análise do lodo da estação de tratamento de água de Balsas-MA e aplicação como agregado miúdo em argamassa
- A importância da carbonatação acelerada na sustentabilidade no setor cerâmico no Matopiba

## CAPÍTULO 1: EFICIÊNCIA E SEGURANÇA EM CANTEIROS DE OBRA COM ESTRUTURA ICF: UM ESTUDO DE CASO EM BALSAS - MARANHÃO

*Alúísio Vieira de Sousa Júnior<sup>1</sup>; Igor Almeida da Silva<sup>2</sup>; Madson Marques de Paula<sup>3</sup> & Carla Caroline Alves Carvalho<sup>4</sup>;*

### Resumo

Este estudo avalia a segurança e a organização de um canteiro de obra residencial em Balsas-MA, no qual há a utilização da metodologia ICF (Insulated Concrete Forms), destacando as condições de armazenamento de materiais e medidas de segurança. A análise seguiu as normas NR 18 e NBR 12284, que fornecem diretrizes para a segurança e a organização dos canteiros, com a utilização de procedimentos metodológicos de checklist, croqui e registro fotográfico. A partir disso foram identificados problemas nas instalações provisórias, como a falta de refeitório e sanitários, além de deficiências na oferta de EPs e na sinalização de segurança. O armazenamento de materiais mostrou-se bem localizado, próximo ao ponto de carga e descarga, mas com falta de contenção para evitar contaminação. O estudo propõe ajustes no layout e melhorias em segurança, com o objetivo de criar um ambiente mais seguro e eficiente, favorecendo a proteção dos trabalhadores e a otimização dos recursos.

**Palavras-chave:** canteiro de obras; segurança; ICF.

### 1 Introdução

O setor da construção civil é um dos principais pilares da economia brasileira, pois gera empregos diretos e indiretos relativos à sua cadeia produtiva e contribui para o desenvolvimento de infraestrutura urbana e moradia. No entanto, essa área também enfrenta desafios significativos, especialmente no que se refere à organização e segurança em canteiros de obra. Esses espaços são complexos e frequentemente operam sob condições de intensa movimentação, exigindo um planejamento

- 
- <sup>1</sup>) Universidade Federal do Maranhão, Curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, aluisio.vieira@discente.ufma.br  
<sup>2</sup>) Universidade Federal do Maranhão, Curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, almeida.igor@discente.ufma.br <sup>2</sup>) Universidade Federal do Maranhão, Curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, almeida.igor@discente.ufma.br  
<sup>3</sup>) Universidade Federal do Maranhão, Curso de Engenharia Civil, madson.marques@discente.ufma.br  
<sup>4</sup>) Universidade Federal do Maranhão, Curso de Engenharia Civil, cca.carvalho@ufma.br

detalhado para a gestão de materiais e a proteção dos trabalhadores. Nesse sentido, a implementação de medidas de segurança e de instalações provisórias bem planejadas é crucial para minimizar riscos e promover a eficiência nas operações.

Os canteiros de obra, por sua vez, enfrentam desafios significativos que impactam diretamente a segurança dos trabalhadores e a eficiência das operações. A necessidade de garantir a proteção no ambiente de trabalho exige a implementação rigorosa de medidas preventivas e o uso adequado de equipamentos de proteção individual (EPIs). Para isso, seguem-se as diretrizes das Normas Regulamentadoras (NRs), em especial a NR18 (MTE, 2020), que estabelece condições e procedimentos voltados à segurança nas atividades de construção civil, incluindo regras para instalações temporárias, acessos e transporte de materiais, de forma a minimizar riscos e promover a integridade dos trabalhadores

Além da NR-18, a NBR 12284 (ABNT, 1991) é uma norma técnica que fornece orientações específicas para o planejamento, organização e dimensionamento dos canteiros de obra. Ela define requisitos para a distribuição física dos elementos no espaço limitado do canteiro, incluindo áreas de armazenamento de materiais, circulação de trabalhadores e equipamentos, e áreas de apoio como refeitórios e sanitários. O objetivo da NBR 12284 (ABNT, 1991) é promover a eficiência e a segurança operacional, orientando a construção de canteiros que evitem desperdícios, otimizem o uso de recursos e proporcionem um ambiente de trabalho organizado e seguro.

Neste contexto, este estudo apresenta uma avaliação das condições de um canteiro de obra um canteiro de obra residencial localizado no condomínio Prime Ville, em Balsas - MA. O projeto envolve a construção de uma casa térrea utilizando a metodologia ICF (Insulated Concrete Forms), que incorpora formas de EPS (poliestireno expandido) com vergalhões metálicos e concreto, aumentando a eficiência térmica e acústica e reduzindo o tempo de execução em até 40%. A avaliação do canteiro foi baseada nas diretrizes da Norma Regulamentadora NR-18 e da Norma Brasileira NBR 12284 (ABNT, 1991), abordando aspectos como segurança, acesso e organização de materiais por meio método proposto por Saurin e Formoso (2006), que combina três ferramentas principais: lista de

verificação (checklist), croqui do layout e registro fotográfico.

Vale ressaltar que a metodologia ICF oferece benefícios como isolamento térmico e acústico e redução do tempo de execução. Contudo, essa tecnologia também requer adaptações nas práticas de organização e segurança do canteiro, visto que seu uso ainda é relativamente recente no país. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é analisar a aplicação das normas de segurança, o sistema de movimentação e armazenamento de materiais no canteiro em questão, visando contribuir para o aprimoramento das práticas e para a ampliação do uso dessa metodologia no setor da construção civil.

## 2 Metodologia

Para avaliar o layout do canteiro de obras, foi utilizado o método proposto por Saurin e Formoso (2006), que combina três ferramentas principais: lista de verificação (checklist), registro fotográfico e croqui do layout, Figura 1. Essa abordagem permite uma análise detalhada das condições do canteiro, possibilitando a identificação de problemas e oportunidades de melhoria.



Figura 1 - Procedimentos metodológicos para avaliação de layout de canteiro de obras.  
Fonte: Adaptado de Saurin e Formoso, 2006.

A lista de verificação foi aplicada para avaliar o cumprimento das normas de segurança e organização em diferentes áreas do canteiro, incluindo instalações provisórias, acessos, almoxarifado, áreas de refeição e sanitárias. Esse checklist serve como um instrumento para identificar aspectos que estão em conformidade com as exigências das Normas Regulamentadoras (NRs), como a NR 18( MTE, 2020) e a NBR 12284 (ABNT, 1991), além de outros itens de segurança e eficiência.

Em seguida, o registro fotográfico foi realizado para documentar visualmente o estado atual do canteiro, complementando a avaliação da lista de verificação e o croqui. As fotografias servem como evidência das condições observadas e ajudam na identificação de pontos críticos para a melhoria da segurança e da eficiência do canteiro. Por fim, foi elaborado um croqui do layout do canteiro, representando a distribuição física de elementos importantes,

como vias de acesso, áreas de armazenamento e zonas de trabalho. Esse croqui fornece uma visualização clara da organização espacial do canteiro e facilita a análise de fluxos de trabalho e da acessibilidade.

Com o uso dessas ferramentas, foi possível obter uma visão abrangente do layout e das condições operacionais do canteiro de obras, identificando tanto os pontos fortes quanto as áreas que necessitam de ajustes e propondo melhorias específicas.

### 3 Resultados e Discussão

O canteiro foi classificado como "restrito", ocupando integralmente o terreno e com acessos limitados. Durante a vistoria, a obra estava em fase intermediária, com várias frentes de trabalho simultâneas, incluindo estrutura, alvenaria e cobertura. A estrutura de segurança, composta por tapumes de zinco e isolamento de lona, foi considerada resistente e em bom estado, proporcionando controle de acesso adequado, como mostra a Figura 2.

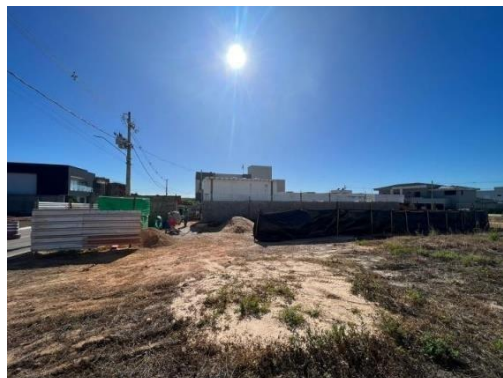


Figura 2 - Visão externa da obra.  
Fonte: Autores, 2024.

No geral, o relatório apontou que a obra tem bom desempenho em movimentação e armazenamento de materiais, mas requer intervenções urgentes em segurança e instalações temporárias para garantir um ambiente mais seguro e eficiente. As tabelas de checklist apresentam a pontuação de cada seção, evidenciando os pontos que atendem às normas e as áreas com necessidade de ajustes.

#### 3.1 Instalações Provisórias

As instalações provisórias do canteiro de obras foram avaliadas com base em itens de organização e segurança, como a presença de tapumes, acessos exclusivos para trabalhadores, refeitório, almoxarifado, e instalações sanitárias. A

pontuação obtida nesta categoria foi 4,8 pontos em 10, indicando algumas conformidades, mas também diversas oportunidades de melhoria, como mostra na Tabela 1. Problemas identificados incluíram a ausência de refeitório adequado e a falta de instalações sanitárias para os trabalhadores, o que pode impactar tanto o conforto quanto a higiene no local.

Tabela 1 - Instalações Provisórias

Itens Avaliados	Pontuação Máxima	Pontuação Obtida	Comentários
Instalações móveis (containers)	1	0	Não há contêineres no local; barracões improvisados foram usados.
Tapumes	2	1	Falta pintura decorativa; segurança geral mantida.
Acessos	3	1	Ausência de caminho pavimentado para trabalhadores e visitantes.
Escritório (Engenheiro/mestre de obra)	2	1	Não há chaveiro ou kit de primeiros socorros.
Almoxarifado	2	1	Almoxarifado sem etiquetagem; falta de controle rigoroso.
Refeitório e instalações sanitárias	10	4.8	Inexistência de local para refeições e sanitários adequados.
<b>Total Pontos Obtidos/ Máximos: 4.8 / 10</b>			

Fonte: Autores,2024.

A análise das instalações provisórias destacou algumas deficiências, como a ausência de contêineres e a utilização de barracões improvisados, sem pintura protetiva nos painéis, como exemplifica a Figura 3.

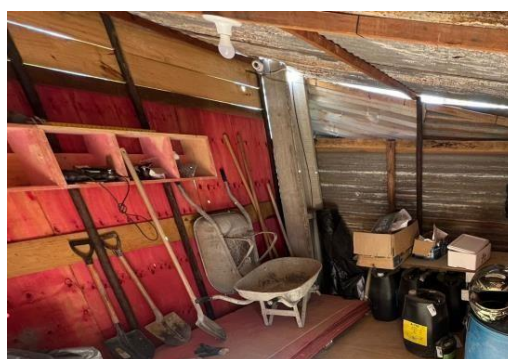


Figura 3 - Barracão.

Fonte: Autores, 2024.

### 3.2 Sistema de Movimentação e Armazenamento de Materiais

Nesta categoria, foi avaliado o layout do canteiro em termos de movimentação de materiais, áreas de circulação, e o armazenamento de insumos como cimento, tijolos e areia. O sistema obteve uma pontuação de 7,8 pontos em 10, evidenciando uma organização satisfatória. No entanto, foi observado que o

armazenamento de areia e brita não possui contenção adequada, o que poderia levar à contaminação dos materiais e ao desperdício.

Tabela 2 - Sistema de Movimentação e Armazenamento de Materiais

Itens Avaliados	Pontuação Máxima	Pontuação Obtida	Comentários
Vias de circulação	2	1.5	Falta de contrapiso em áreas de movimentação de materiais.
Armazenamento de cimento	3	2.5	Proteção contra umidade adequada; falta de estocagem PEPS.
Armazenamento de agregados (areia e brita)	2	1.8	Baias sem fundo cimentado; risco de contaminação da areia.
Armazenamento de tijolos/blocos	2	2	Armazenamento adequado; altura de empilhamento dentro do padrão.
Armazenamento de tubos de PVC	1	1	Tubos armazenados corretamente; protegidos do sol.
Produção e transporte de argamassa/concreto	10	7.8	Betoneira bem posicionada; necessidade de sinalização.
<b>Total Pontos Obtidos/ Máximos: 7.8 / 10</b>			

Fonte: Autores, 2024.

A organização do armazenamento de materiais foi o aspecto mais bem avaliado, obtendo 7,81 pontos. A área de armazenagem era próxima ao ponto de descarga e adequada para evitar desperdícios, mas melhorias poderiam ser feitas, como a instalação de baias cimentadas para evitar contaminação dos materiais, Figura 4.



Figura 4 - Materiais sem uso de baias para divisão

Fonte: Autores, 2024.

### 3.3 Segurança no Canteiro de Obra

A segurança no canteiro de obra foi avaliada considerando a presença de equipamentos de proteção individual (EPIs), sinalização, proteção contra quedas, e conformidade com normas de segurança. Nesta seção, a obra obteve uma pontuação de 2,3 pontos em 10, o que indica a necessidade urgente de intervenções. Os problemas mais críticos foram a ausência de EPIs para os trabalhadores e visitantes, além da falta de extintores de incêndio.

Tabela 3 - Segurança no Canteiro de Obra

Itens Avaliados	Pontuação Máxima	Pontuação Obtida	Comentários
EPIs (capacetes, uniformes, botas)	3	0.8	Capacetes não fornecidos para visitantes; poucos uniformes.
Sinalização de segurança	2	0.5	Falta de sinalização adequada no canteiro.
Proteção contra quedas (andaimes e plataformas)	2	0.5	Obras com um pavimento não exigem, mas faltam sinalizações.
Proteção contra incêndio	1	0	Não foram encontrados extintores de incêndio no local.
Instalações elétricas seguras	2	1	Equipamentos seguros, mas sem proteção extra.
<b>Total Pontos Obtidos/ Máximos: 2.3 / 10</b>			

Fonte: Autores, 2024.

A segurança no canteiro apresentou falhas críticas: a disponibilização de equipamentos de proteção individual - EPIs era limitada, sem capacetes para visitantes, e não havia extintores de incêndio, Figura 5. Embora os materiais para a construção com ICF tenham baixa inflamabilidade, a presença de equipamentos elétricos e ferramentas de corte exige proteção adicional para evitar acidentes.



Figura 5 - Visão interna em dia operacional

Fonte: Autores, 2024.

### 3.4 Análise de Layout de Canteiro de Obras

O croqui do canteiro de obras apresenta a organização espacial dos principais elementos e áreas de apoio necessárias para a execução da construção. Diante da análise do checklist e do levantamento fotográfico pode-se observar que o layout atual do canteiro de obras apresenta diversos problemas que comprometem a segurança, eficiência e organização do espaço. A falta de instalações sanitárias e de um refeitório adequado obriga os trabalhadores a improvisarem locais para suas necessidades, o que cria situações insalubres e desconfortáveis. As baias de armazenamento para areia e brita não possuem contenção cimentada, o que aumenta o risco de contaminação dos materiais e

desperdício. Além disso, a ausência de capacetes e EPIs para visitantes, aliada à sinalização de segurança insuficiente, eleva o risco de acidentes para todos que acessam o canteiro. A área de circulação para pedestres e trabalhadores também é inadequada, pois não possui pavimentação nem cobertura, tornando o deslocamento inseguro, especialmente em dias de chuva. No almoxarifado, embora a localização seja próxima ao ponto de descarga, a falta de etiquetagem dos materiais dificulta a organização e o controle de insumos, prejudicando a comunicação e a eficiência operacional. A disposição do layout do canteiro encontrada na visita está representada Figura 6.



Figura 6 - Visão interna em dia operacional  
Fonte: Autores, 2024.

Diante disso foi elaborado um croqui em três dimensões com melhorias para o canteiro em estudo, Figura 7. A disposição desses elementos no canteiro foi planejada para maximizar o uso do espaço disponível e permitir a realização das atividades com um menor risco de acidentes e maior produtividade, seguindo o modelo proposto por Saurin e Formoso (2006) e os requisitos da NBR 12284 (ABNT, 1991).



Figura 7 - Proposta de layout de canteiro de obras.  
Fonte: Autores, 2024.

Conforme observado na figura 7, a proposta inclui as áreas destinadas ao armazenamento de materiais, como baias para areia e brita, depósito de cimento e área para o estoque de blocos e tijolos, posicionados próximos ao ponto de carga e descarga para facilitar o fluxo de insumos. As áreas de circulação para trabalhadores e equipamentos também são destacadas, incluindo vias de acesso para pedestres e entradas para veículos, que foram planejadas para evitar cruzamento de fluxos e minimizar o risco de acidentes. Além disso, o croqui ilustra as instalações provisórias, como o almoxarifado, escritório do mestre de obras, refeitório e sanitários. Essas áreas de apoio estão dispostas de forma a atender as necessidades diárias dos trabalhadores, proporcionando conforto e segurança durante a jornada de trabalho.

#### 4 Considerações Finais

Os resultados da análise evidenciam que, embora o canteiro apresente uma organização razoável no sistema de movimentação e armazenamento de materiais, as condições de segurança e as instalações provisórias demandam melhorias substanciais. A pontuação insuficiente em segurança ressalta a necessidade de uma abordagem mais rigorosa quanto ao fornecimento de EPIs, sinalização adequada e proteção contra incêndios, aspectos essenciais para minimizar o risco de acidentes e garantir um ambiente de trabalho seguro. Além disso, a ausência de instalações adequadas para refeições e sanitários representa um ponto crítico, impactando negativamente o bem-estar e a produtividade dos

trabalhadores.

Por outro lado, o layout do canteiro, com áreas de armazenamento estrategicamente localizadas próximas aos pontos de carga e descarga, favorece a eficiência na movimentação de materiais, e a utilização de baias e estrados reduz o desperdício. Contudo, a correção das falhas de contenção é necessária para evitar a contaminação dos materiais, e a implementação de um controle mais rígido de insumos contribuiria para uma gestão mais eficiente dos recursos. Assim, as melhorias propostas no layout, na segurança e nas instalações provisórias do canteiro são fundamentais para aumentar a produtividade, promover o conforto e reduzir os riscos de acidentes. A adoção dessas medidas contribuirá para um ambiente de trabalho mais seguro, eficiente e alinhado às normas regulamentadoras, garantindo o bem-estar dos trabalhadores e a eficácia nas operações da obra.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12284**: áreas de vivências em canteiros de obras. Rio de Janeiro: Abnt, 1991.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR 18**: SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Brasília: Mte, 2020.

SAURIN, Tarcisio Abreu; FORMOSO, Carlos Torres. **Planejamento de canteiros de obra e gestão de processos**. ANTAC, 2006.

## CAPÍTULO 2: COPRODUTO DA INDÚSTRIA DA ALUMINA NA FABRICAÇÃO DE ARTEFATOS COM DESIGN SUSTENTÁVEIS

Wener M.T. dos Santos<sup>1</sup>, Valeria Galdino<sup>2</sup>, Luis Claudio de O.Silva<sup>3</sup>,  
Marcus Vinicius de S.Lopes<sup>4</sup>, Geovane B.da S. Junior<sup>5</sup>, Paulo Ricardo A.R.Santos<sup>6</sup>.

### Resumo

Este estudo se concentra no reaproveitamento de resíduos da indústria de alumina para o desenvolvimento de produtos de construção com design sustentável, referidos como coproduto. O foco foi criar cubas de argamassa que sejam funcionais, esteticamente agradáveis e ecologicamente responsáveis. Uma variedade de testes resultou na escolha de uma mistura que equilibra resistência física e sustentabilidade. A eficácia prática e a segurança ambiental do produto foram comprovadas, realçando vantagens econômicas e alinhamento com normas de sustentabilidade. Análises físico-químicas, fluorescência de raio-x e testes de lixiviação e solubilidade foram realizadas. O trabalho confirma a viabilidade de utilizar resíduos industriais como coprodutos e atua como um exemplo para a adoção de práticas sustentáveis na indústria e na sociedade.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade, coproduto, argamassa e produtos.

### 1 Introdução

Na busca por satisfazer as necessidades atuais sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atender às suas próprias necessidades, é fundamental considerar de maneira equilibrada os fatores ambientais, sociais e econômicos, promovendo práticas que minimizem os danos ao meio ambiente, garantam equidade social e viabilidade econômica a longo prazo. A construção dos sistemas sustentáveis em todos os aspectos, desde a produção de alimentos até a indústria e o desenvolvimento urbano, assegurando a preservação dos recursos para o futuro. Com essa visão de boas práticas, a fabricação de artefatos com foco no reaproveitamento de resíduos industriais abre-se várias oportunidades, como a produção de produtos para residências, como bacias e cubas arredondadas de argamassa, utilizando subprodutos da indústria de alumina. Esse coproduto é um exemplo prático de aplicação em artefatos com design sustentável. Essa

<sup>1</sup> Wener M.T. dos Santos, Universidade Federal do Maranhão, wener.santos@ufma.br

<sup>2</sup> Valeria Galdino, Universidade Federal do Maranhão, valeria.galdino@discente.ufma.br

<sup>3</sup> Geovane Bezerra da S. Junior, doutorando, Universidade Beira Interior, Portugal.  
geovane.junior@ubi.pt

<sup>4</sup> Paulo Ricardo Alves dos Reis Santos, Mestre, UNIFACEMA, coord.engcivil@unifacema.edu.br

<sup>5</sup> Luís Claudio de Oliveira Silva, Universidade Federal do Maranhão, claudio.luis@ufma.br

<sup>6</sup> Marcus Vinicius de Sousa Lopes, Universidade Federal do Maranhão, lopes.marcus@ufma.br

abordagem não só permite o reaproveitamento de resíduos industriais, reduzindo o impacto ambiental associado ao seu descarte, mas também contribui para a inovação no setor da construção civil. Utilizando técnicas específicas de mistura e moldagem, é possível criar novos produtos robustos e esteticamente agradáveis, demonstrando como materiais considerados resíduos podem ser transformados em produtos de valor agregado.

Este coproduto, resultado do processo Bayer, caracteriza-se pela produção aproximada de cerca de 2 milhões de toneladas para cada milhão de toneladas de óxido de alumínio produzido. No coproduto contém alumínio, ferro, silício, titânio, sódio e cálcio, este material apresenta partículas finíssimas e elevada alcalinidade, com pH superior a 12. A abordagem deste trabalho foca no desenvolvimento de um processo eficaz e viável para a utilização desse resíduo, que são armazenados em grandes reservatórios, sem reaproveitamento, com o objetivo de transformá-los como matéria-prima em novos produtos, através da aplicação de princípios de design. A intenção é não apenas reduzir o impacto ambiental associado ao descarte desse resíduo, mas também explorar as possibilidades de reutilização e reciclagem, promovendo assim a sustentabilidade ambiental e econômica da indústria (Santos, 2012).

Este trabalho objetiva atender aos requisitos do design sustentável, não podemos de deixar de citar que a dimensão ambiental, social e econômica, sendo um critério para a sustentabilidade o alto poder de regeneração social de um projeto, sendo essencial a perspectiva positiva de uma solução para melhorar a conjuntura atual de nossos mares, nossas metrópoles, rios, fauna e flora (Manzini, 2008).

De acordo com a Figura 1, citam algumas das abordagens de Design para a sustentabilidade existentes, tendo como eixos o escopo de intervenção de Design versus como o problema é enquadrado, e podemos observar que, quanto mais sistêmica e centrada no planeta, uma abordagem seria cada vez mais próxima de ser considerada profundamente sustentável (Ceschin, 2020; Dickie, 2010).

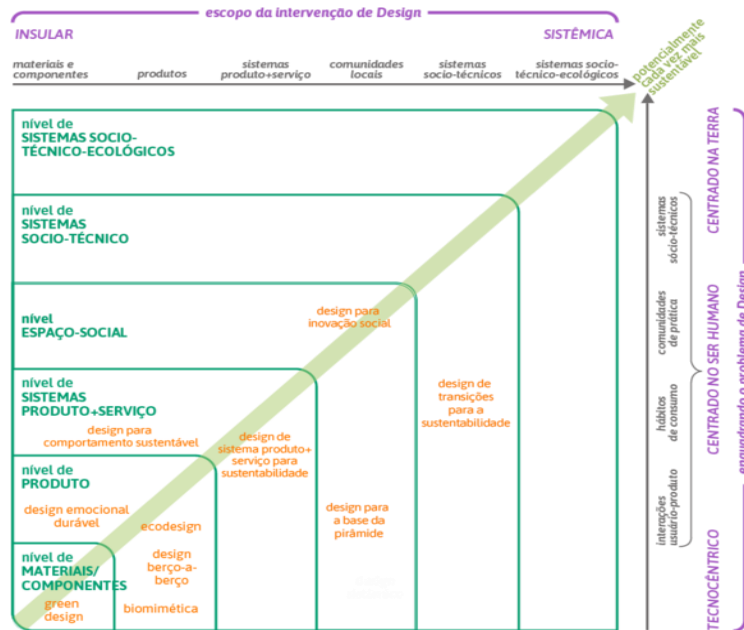


Figura 1 - Framework de Inovação em Design para a Sustentabilidade com mapeamento de abordagens

Fonte: Ceschin & Gaziuluzoy,2020.

## 2 Materiais e Métodos

Os materiais utilizados na formulação das composições incluíram água, o coproduto de alumina proveniente de uma empresa no Maranhão e cimento Portland MIZU, tipo CP-II-F-32. Na metodologia, foi realizado três composições de argamassa (cimento e coproduto), em duplicata, conforme Tabela 1, e submetidos análises de resistência à compressão, fluorescência de raio-x, lixiviação e solubilidade. A confecção de pias no formato de cubos de sobrepor, foi realizada na empresa Koncretek, com sede no município de Bacabal no Maranhão a 250 quilômetros da capital São Luís. As amostras foram preparadas na forma de argamassa, com a exclusão da brita na mistura, seguindo os percentuais estabelecidos na Tabela 1.

Tabela 1- Composição (Argamassas) das amostras

Amostras	Cimento (%)	Coproduto (%)
Composição 1	30	70
Composição 2	50	50
Composição 3	70	30

Fonte: Autores, 2024.

As três composições foram moldadas quatro corpos de prova, em duplicata, de cada amostra totalizando doze corpos de prova de formato cilíndrico e analisado apenas a cura do vigésimo oitavo dia, 28 dias. Esses corpos de prova apresentaram dimensões de 5x10 cm, seguindo as diretrizes estabelecidas pela norma NBR 7215, que regula o procedimento de moldagem e cura de corpos de prova (ABNT,2003), conforme ilustrado na Figura 2. Após um período de 24 horas, procedeu-se à desmoldagem dos corpos de prova, identificando-os individualmente. Em seguida, esses corpos de prova foram imersos e mantidos em água saturada de cal até a realização dos ensaios de resistência à compressão, conforme a NBR 5739 (ABNT,2003). Após definir a melhor composição, as pias e um tipo de piso foram confeccionadas para avaliar as características visuais do produto.



Figura 2 - Foto ilustrativa dos corpos-de-prova.  
Fonte: Autores, 2024.

### 3 Resultados e discussões

Com as especificações definidas para o experimento, os resultados obtidos serão descritos abaixo. A água utilizada foi da região de Bacabal, do serviço autônomo de água e esgoto (SAAE).

#### 3.1 Coproduto da alumina

Este coproduto, que também denominado lama vermelha ou resíduo de bauxita, apresenta o pH de 12,6 e uma granulometria com partículas extremamente finas, representando 97,12% do seu conteúdo, com uma densidade de 3,09 g/cm<sup>3</sup>. Além disso, a análise química reforça a presença significativa de óxido de ferro, alumina e sílica, como evidenciado na Tabela 2.

Tabela 2 - Análise química do coproduto

Elementos	Coproduto (%)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,28
SiO <sub>2</sub>	17,311
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27,33
CaO	1,91

Elementos	Coproduto (%)
K <sub>2</sub> O	0,54
MnO	0,28
Na <sub>2</sub> O	5,08
SO <sub>3</sub>	1,17

Fonte: Autores, 2024.

### 3.2 Cimento CP II F 32 RS

Com relação às características físico-químicas, o cimento CP II F 32 RS MIZU, conforme Figura 2, contém 3,43% de trióxido de enxofre, SO<sub>3</sub>, 2,28% de óxido de cálcio livre, CaO livre, 8,96% de perda ao fogo, com massa específica de 3,13 g/cm<sup>3</sup>, blaine de 4,37 cm<sup>2</sup>/g, finuras de # 325 com 6,74% e # 200 com 0,75%, resistência a compressão no vigésimo oitavo dia maior ou igual a 32 MPa, pega inicial em 170 minutos e final com 240 minutos.



Figura 2: Foto ilustrativa dos corpos-de-prova

Fonte: Autores, 2024.

A amostra A1 apresenta uma relação água/cimento (A/C) de 1,032, conforme Tabela 3, indicando que há mais água do que cimento por peso. Essa proporção mais alta sugere que a mistura pode ser mais trabalhável e fluida, mas pode resultar em menor resistência final do material devido à maior porosidade. Na amostra A2 tem uma relação A/C de 0,569, significando uma quantidade menor de água em relação ao cimento. Esta mistura é potencialmente mais resistente que a A1, devido à menor porosidade, e ainda mantém uma boa trabalhabilidade. E a amostra A3 apresenta a menor relação A/C de 0,331, o que implica uma quantidade significativamente menor de água em comparação com o cimento. Esta é a mistura com a maior potencial resistência devido à baixa porosidade, embora possa ser mais difícil de trabalhar devido à sua menor fluidez.

Tabela 3 - Análise química do coproduto

Amostras	Cimento (kg)	Coproduto (kg)	Água (Litros)	A/C
A1	30,23	70,66	31,21	1,032
A2	50,08	50,12	28,51	0,569
A3	70,08	30,44	23,24	0,331

Fonte: Autores, 2024.

Com foco na sustentabilidade econômica, a amostra A1 tem a maior quantidade de coproduto em relação ao cimento, o que sugere ser a mais econômica se o coproduto for significativamente mais barato que o cimento. A amostra A2, equilibra o uso de cimento e coproduto, potencialmente oferecendo uma solução de custo médio, e a amostra A3, favorece o cimento em detrimento do coproduto, sendo provavelmente a opção mais cara, dado o custo típico mais alto do cimento.

### 3.3 Resistências a compressão

Ao analisar a variação da resistência à compressão em relação ao tempo de cura durante o período de 28 dias, conforme Tabela 4 e Gráfico 1, a amostra A1 tem a menor resistência à compressão de 8,80 MPa. Na amostra A2 oferece um equilíbrio entre cimento e coproduto, com uma relação A/C intermediária. Sua resistência à compressão é de 18,47 MPa, mostrando um aumento significativo na resistência em comparação à Amostra A1. Esta amostra demonstra como um equilíbrio na mistura pode resultar em um material com boas propriedades estruturais e potencialmente um custo moderado. Já a amostra A3 tem a maior quantidade de cimento e a menor relação A/C, além da menor quantidade de coproduto. Resulta na maior resistência à compressão, 25,64 MPa, confirmando que uma menor proporção de água para cimento contribui para uma maior densidade e resistência do material.

Tabela 4 - Resistência a compressão no 28º dia de cura.

Amostras	Cimento (kg)	Coproduto (kg)	Água (Litros)	A/C	R28 (MPa)
A1	30,23	70,66	31,21	1,032	8,80
A2	50,08	50,12	28,51	0,569	18,47
A3	70,08	30,44	23,24	0,331	25,64

Fonte: Autores, 2024.

Com estes dados obtidos se identifica o ponto de equilíbrio entre cimento e coproduto para produção. Além da propriedade física como a resistência nas amostras, a quantidade de coproduto adicionada a massa, sem comprometer a qualidade do produto e da produção, conforme Gráfico 1. A amostra 2 apresentou um equilíbrio entre custo e resistência, a amostra A2 parece ser a opção intermediária, com quantidades iguais de cimento, coproduto e uma resistência à compressão moderada.

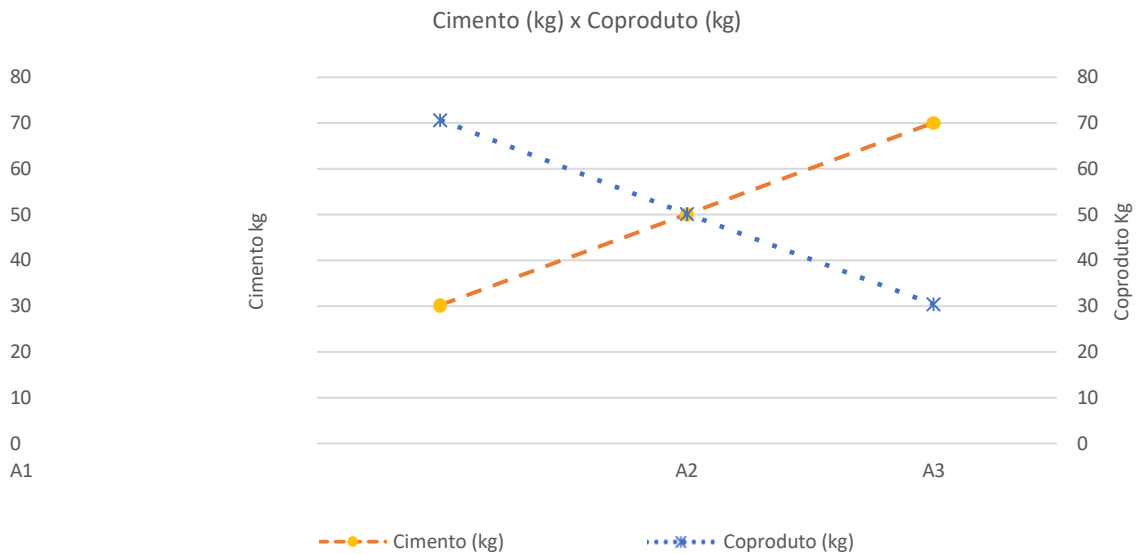


Gráfico 1- Qt de Cimento (kg) x Qt Coproduto (kg)  
Fonte: Autores, 2024.

De acordo com a NBR 8492, para tijolos maciços de solo-cimento, a resistência a compressão média tem que ser igual ou superior a 2 MPa, e os resultados obtidos foram maiores que a especificação, conforme Gráfico 2. Há uma relação entre a resistência a compressão e quantidade de coproduto adicionado, onde a medida que reduz o coproduto a resistência aumenta.

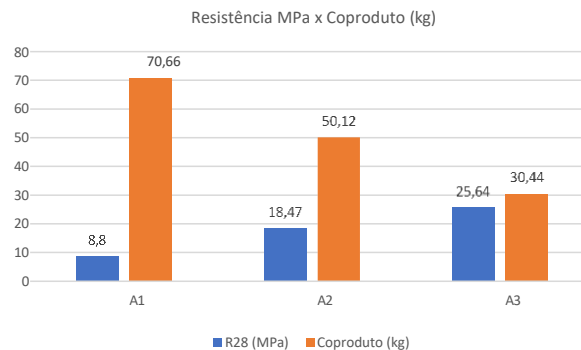


Gráfico 2- Resistência a compressão 28º dia de cura x Qt de coproduto  
Fonte: Autores, 2024.

### 3.2 Fluorescências de raio-x

De acordo com os dados obtidos por meio da fluorescência de raio-x nas amostras, observa-se um aumento progressivo no teor de alumina à medida que o coproduto é adicionado às composições. Esse comportamento era antecipado, uma vez que a composição do coproduto apresenta um teor significativo de óxido de alumínio e resíduos de ferro, conforme indicado na Tabela 5.

Tabela 5 - Elementos químicos das amostras.

Elementos	A1 (%)	A2 (%)	A3(%)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,28	19,22	18,79
SiO <sub>2</sub>	18,77	19,66	16,37
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,53	20,22	18,92
CaO	3,11	4,01	3,34
K <sub>2</sub> O	1,98	0,91	0,42
MnO	1,31	1,12	0,83
Na <sub>2</sub> O	6,22	4,11	2,19
SO <sub>3</sub>	2,59	2,15	1,26

Fonte: Autores, 2024.

### 3.3 Teste de lixiviação e solubilidade

No seguimento ambiental do Design Sustentável, estes dois ensaios têm como objetivo de avaliar se os produtos podem promover algum indicativo de periculosidade e toxicidade. A norma ABNT 10005 analisa a lixiviação, simulando o cenário de aterro. Já a ABNT 10006 que é análise de solubilidade, que objetiva diluir substâncias contidas nos materiais, por meio de lavagem em meio aquoso (ABNT 10005,2004; ABNT 10006,2204).

Todas três amostras A1, A2 e A3 foram classificadas como material classe II A - Não perigoso, conforme Tabela 6 e 7, tendo propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Sendo também conhecidos com resíduos orgânicos e merecem destaque especial pela capacidade de transformação e aproveitamento de nutrientes.

Tabela 6 - Análise lixiviação das amostras.

AMOSTRAS	Arsênio (Lixiviado) REF 1,0 mg/L	Ário (Lixiviado) REF 70 mg/L	Cromo (Lixiviação) REF 5 mg/L	Fluoreto (Lixiviação) REF 150 mg/L	Ph Final Lixiviado
A1	0,0091	0,18	0,019	0,212	6,91
A2	0,0054	0,19	0,045	0,131	7,30
A3	0,0038	0,18	0,005	0,273	9,04

Fonte: Autores, 2024.

Tabela 7 - Análise solubilidade das amostras.

AMOSTRAS	Alumínio (Solubilidade) REF 0,2 mg/L	Bário (Solubilidade) REF 0,7 mg/L	Cloreto (Solubilidade) REF 250 mg/L	Cobre (Solubilidade) REF 2 mg/L	Cromo (Solubilidade) REF 0,05 mg/L	Ferro (Solubilidade) REF 0,3 mg/L
A1	12,3016	0,0328	13,7630	0,0100	0,1654	0,2488
A2	14,3000	0,0100	10,0000	0,0500	0,0420	0,1690
A3	9,1136	0,0320	2,6800	0,0100	0,0100	0,1020
AMOSTRAS	Ferro (Solubilidade) REF 0,3 mg/L	Fluoreto (Solubilidade) REF 1,5 mg/L	Sódio (Solubilidade) REF 200 mg/L	Sulfato (Solubilidade) REF 250 mg/L	Ph Final (Solubilidade)	Declaração de Conformidade
A1	0,24	1,0000	257,10	117,21	11,57	CLASSE II A - RESÍDUO NÃO PERIGOSO NÃO INERTE. OBS: Teor de alumina
A2	0,16	1,0000	191,45	23,11	9,25	CLASSE II A - RESÍDUO NÃO PERIGOSO NÃO INERTE. OBS: Teor de alumina
A3	0,10	0,5280	40,18	51,12	8,88	CLASSE II A - RESÍDUO NÃO PERIGOSO NÃO INERTE. OBS: Teor de alumina

Fonte: Autores, 2024.

### 3.4 Artefatos fabricados

Para fabricação das duas pias do tipo cubas de sobrepor para lavatórios, se usou composição da amostra A2, por apresentar o resultado mais equilibrado para uso do coproduto com este tipo de cimento. As formas aplicadas foram cubas de sobrepor redonda de 3,8 litros com 35 cm diâmetro e 9 cm de altura e cuba arredondada de 4,2 litros, com dimensões de 38 x 28 cm, conforme Figura 3 e 4.



Figura 3 - Cuba de sobrepor redonda de 3,8 litros com 35 cm diâmetro e 9 cm de altura.

Fonte: Autores, 2024.

A cuba de sobrepor redonda não apresentou nenhuma fissura, trincas e não apresentou dificuldades na sua desmoldagem da forma. Um teste simples de permeabilidade foi realizado e não apresentou nenhuma infiltração.



Figura 4 – Cuba arredondada de 4,2 litros, com dimensões de 38 x 28 cm  
Fonte: Autores, 2024.

Assim como a cuba de sobrepor redonda, a cuba arredondada não apresentou problemas no visual, com linhas retas e cantos suavemente arredondados que oferecem um aspecto moderno e minimalista, podendo ser um design orgânico ou terroso, que pode combinar bem com uma variedade de estilos de decoração. O mesmo teste de permeabilidade foi feito e também não apresentou infiltração.

#### 4 Conclusão

Este estudo buscou integrar práticas de design sustentável com inovação industrial, utilizando o coproduto da indústria de alumina para o desenvolvimento de produtos construtivos que aliam responsabilidade ambiental e funcionalidade. A pesquisa evidenciou a viabilidade de produzir bacias de cubas arredondadas de argamassa que atendem tanto aos requisitos estéticos quanto à sustentabilidade, promovendo um uso mais eficiente de recursos.

A metodologia aplicada incluiu análises químicas, físicas e ambientais do coproduto, considerando sua interação com o cimento em diferentes composições de argamassa. Foram realizadas três composições de misturas, que resultaram em doze corpos de prova submetidos a testes de resistência à compressão, além de ensaios de lixiviação e solubilidade para avaliar a segurança ambiental. A amostra A2 destacou-se por oferecer o melhor equilíbrio entre resistência estrutural e sustentabilidade econômica, demonstrando o potencial de

reaproveitamento dos resíduos de alumina.

Os testes de lixiviação e solubilidade comprovaram que todas as amostras analisadas se enquadram na classificação de resíduos não perigosos, reafirmando o potencial de reciclagem desses resíduos industriais. A aplicação prática foi demonstrada na fabricação de cubas de sobrepor, que atenderam aos critérios de funcionalidade e estética, oferecendo uma solução sustentável para a construção civil. Incorporar o design sustentável como uma prática padrão pode resultar em benefícios econômicos de longo prazo, como a redução de custos operacionais e a criação de novos mercados para produtos verdes. Além disso, ele responde às demandas dos consumidores por práticas empresariais éticas, reforçando a imagem corporativa e a confiança da marca. Também desempenha um papel crucial na conformidade regulatória, pois muitos países estão implementando legislações mais rígidas para promover a sustentabilidade.

Com os resultados obtidos, este trabalho contribui não apenas para a economia circular, mas também para o campo do design, mostrando que é possível transformar resíduos em recursos valiosos. Ao explorar novas utilizações para o coproduto da alumina, este estudo oferece um modelo viável para reduzir impactos ambientais e promover a sustentabilidade no setor da construção, demonstrando como a inovação responsável pode ser implementada de forma bem-sucedida na indústria.

## REFERÊNCIAS

\_\_\_\_\_ NBR 7215 - Resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos.

\_\_\_\_\_ NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos

\_\_\_\_\_ NBR 10005 - Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos

\_\_\_\_\_ NBR 10006 - Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos

\_\_\_\_\_ NBR 8491 – Norma tijolo de solo cimento requisitos

SANTOS, Wener M. T. dos. Caracterização e análise de pisos intertravados utilizando a lama vermelha- São Luís, 2012. Tese de doutorado – Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, 2012.

MANZINI, E. Design para a inovação social e sustentabilidade: Comunidades criativas, organizações colaborativas e novas redes projetuais Rio de Janeiro: E-

papers, 2008.

CESCHIN, F; GAZIULUZOY, I. Design for Sustainability: A Multilevel Framework from Products to Socio-technical Systems. Nova Iorque: Routledge, 2020.

DICKIE, I. B. Gestão de Design Aplicada: Estratégias de comunicação no contexto do desenvolvimento sustentável. Dissertação de Mestrado do Departamento de Design e Expressão Gráfica da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10005  
—  
procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004<sup>a</sup>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10006  
—  
procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004c.

BROWN, T. Design thinking. Harvard Business Review, v. 86, n. 6, p. 84-92, 2008.

COLETTI, Chiara. et al. Use of industrial ceramic sludge in brick production: Effect on aesthetic quality and physical properties. Elsevier, p. 219-227, 2016. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.096>. Disponível em: . Acesso em: 06 jul 2021.

RYAN, Catherine O.; BROWNING, William D. Biophilic design. Sustainable built environments, p. 43-85, 2020.

LEAL FILHO, Walter et al. Living labs in the context of the UN sustainable development goals: state of the art. Sustainability Science, v. 18, n. 3, p. 1163-1179, 2023

LUZ, Fernanda Catarina Ribeiro da. Uso do sistema BIM na quantificação dos resíduos gerados na construção civil: utilização do Revit e Dynamo aliados a linguagens de programação Python / Fernanda Catarina Ribeiro da Luz. – 2024. 90 f.: il., fig., gráf., tab. e siglas.

ABRECON, 2020. Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição. Pesquisa Setorial ABRECON 2020. Disponível em: <https://abrecon.org.br/categoria-de-documentos/pesquisa>.

AKDAG, S. Girginkaya; MAQSOOD, Uzair. A roadmap for BIM adoption and implementation in developing countries: the Pakistan case. Archnet-IJAR: International Journal of Architectural Research, v. 14, n. 1, p. 112-132, 2019.

## CAPÍTULO 3: ANÁLISE DO LODO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE BALSAS- MA E APLICAÇÃO COMO AGREGADO MIÚDO EM ARGAMASSA

*David Almeida Sousa<sup>7</sup>; Nádia Cruz de Jesus<sup>8</sup> & Prof<sup>a</sup> Dra. Regina Maria Mendes Oliveira<sup>9</sup>*

### Resumo

As Estações de Tratamento de Água (ETA's) desempenham um papel essencial nos municípios brasileiros ao remover materiais suspensos da água bruta, utilizando flocculantes à base de alumínio e ferro, o que gera grande quantidade de lodo. No município de Balsas-MA, a legislação exige tecnologias de saneamento adaptadas às características locais, incluindo a gestão adequada do lodo, que, se não tratado, pode contaminar o ambiente e afetar a saúde pública. A reutilização de resíduos, como o lodo, em materiais para a construção civil é uma prática crescente devido à preocupação ambiental e à limitação de recursos naturais. O setor da construção, grande consumidor desses recursos, apresenta uma oportunidade para a incorporação de lodo em produtos como tijolos, promovendo a sustentabilidade. A reciclagem desses resíduos, além de reduzir os custos de produção, ajuda a evitar a poluição e preserva o meio ambiente.

**Palavras-chave:** Lodo, Saneamento, Sustentabilidade, Construção Civil.

### 1 Introdução

As Estações de Tratamento de Água (ETA's) têm grande importância econômica e social, estando inseridas em grande parte dos municípios brasileiros. As ETA's são responsáveis pelo processo de remoção do material em suspensão da água bruta, em que os flocculantes mais empregados no tratamento primário de água são sulfatos à base de alumínio e ferro, resultando em uma grande quantidade de resíduo denominado lodo (IWAKI, 2018). De modo geral, as características do lodo variam conforme a natureza da água bruta, os processos e os produtos químicos aplicados.

No município de Balsas-MA o saneamento básico é exigido no Plano Diretor Municipal, conforme a Lei N° 1.395/2018, no capítulo III Art. 15º parágrafo XI, que menciona sobre o aperfeiçoamento dos critérios de saneamento do município, através de tecnologias e métodos apropriados às características geoambientais locais. Além disso, a referida Lei também trata sobre o tratamento

<sup>7</sup> almeida.david@discente.ufma.br, Curso de Ciência e Tecnologia – CCBL, UFMA

<sup>8</sup> nadia.cj@discente.ufma.br, Curso de Ciência e Tecnologia – CCBL, UFMA

<sup>9</sup> Regina.oliveira@ufma.br, Curso de Ciência e Tecnologia – CCBL, UFMA

dos resíduos sólidos produzidos na cidade, incluindo o lodo gerado na ETA, cujo acúmulo no meio ambiente pode potencialmente contaminar o ambiente natural, a produção de alimentos ou afetar diretamente a saúde das comunidades.

A utilização de resíduos industriais na produção de cimento e argila para a construção civil é uma prática comum atualmente. Com o aumento das discussões sobre questões ambientais e a limitação dos recursos naturais disponíveis, torna-se crucial encontrar soluções sustentáveis. As empresas, responsáveis pelo descarte de insumos, buscam métodos que evitem a poluição do solo, da água e do ar. Nesse contexto, o reuso e a reciclagem de resíduos têm um grande potencial de crescimento, especialmente em países em desenvolvimento que necessitam reduzir custos de produção e, ao mesmo tempo, preservar o meio ambiente. O setor da construção civil, como grande consumidor de recursos naturais, oferece uma excelente alternativa para a gestão de resíduos como o lodo, incorporando-os em materiais cerâmicos e cimentícios e promovendo o desenvolvimento sustentável. Segundo Gomes (2019), é possível haver um aproveitamento do lodo para a produção de tijolos, que é um material essencial para a construção civil, dentre outras aplicações nesse setor.

No entanto, a dificuldade encontrada nessa demanda é a falta de aplicação de meios que possibilitem a utilização de resíduos industriais nas empresas, mesmo com literaturas que apoiem essa atividade. Para Gomes (2019):

A gestão mais adequada do lodo de esgoto gerado constitui-se em um desafio para os projetistas e operadores dos sistemas, pois a disposição final desse resíduo tornou-se um dos problemas ambientais mais relevantes dos tempos atuais, não apenas pelos grandes volumes gerados, mas também por ser um resíduo de composição muito variável (GOMES, 2019).

Portanto, o problema analisado neste trabalho é o descarte inadequado do lodo gerado na Estação de Tratamento de Água e Esgoto (ETA) da cidade de Balsas-MA e como forma de mitigação dos impactos ambientais busca-se estudar este resíduo para fins de aplicação como agregado miúdo em argamassa, visando a possibilidade de uma destinação ambientalmente correta para esse material.

Nas últimas décadas, a temática do desenvolvimento sustentável tem ganhado crescente relevância, impulsionada pelo aumento dos impactos ambientais e pela deterioração contínua da natureza devido às ações humanas. O descarte inadequado do lodo da ETA é uma problemática ambiental que deve

ser solucionada. Essa necessidade de solução é tão evidente que entre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) sugeridos pela Organização das Nações Unidas (ONU) na pauta Objetivo 6.3 diz que:

Até 2030, melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente (ONU, 2022).

Considerando a realidade brasileira, cerca de dois quartos do lodo de ETA gerados são destinados a aterros sanitários e um terço é despejado de forma imprópria (SILVA *et al.*, 2022). Assim, buscando-se desenvolver tecnologias e métodos que permitam o reaproveitamento eficiente do lodo de ETA, transformando-o em um recurso útil para a sociedade e contribuindo para a conservação do meio ambiente, diversas pesquisas têm mostrado resultados promissores quanto à viabilidade do uso desse resíduo (SILVA *et al.*, 2022; MIGUEL, ALEXANDRE, 2023; MORSELLI, 2021; PODKOWA *et al.*, 2015). A gestão sustentável do lodo de ETA é uma necessidade urgente que exige maior atenção e investimentos em pesquisa e desenvolvimento. A adoção de práticas sustentáveis pode transformar um problema ambiental em uma oportunidade para inovar e promover o desenvolvimento econômico, ao mesmo tempo em que se protege o meio ambiente para as gerações futuras.

Portanto, pesquisas científicas e de aplicação tecnológica e inovação podem contribuir efetivamente para potencializar o uso de lodo de ETA, inclusive na construção civil, setor que consome elevadas quantidades de recursos naturais. Desse modo, podem auxiliar na mitigação de problemas ambientais associados a esse resíduo ao proporcionar uma destinação final mais adequada.

O objetivo geral deste estudo é analisar os aspectos físicos e químicos do lodo proveniente da Estação de Tratamento de Água (ETA) da cidade de Balsas-MA e sua potencial aplicação como agregado miúdo em argamassa, com o intuito de promover uma destinação ambientalmente adequada para esse resíduo. Para alcançar esse objetivo, é necessário atender a alguns objetivos específicos, que incluem: caracterizar as matérias-primas utilizadas no estudo quanto às suas propriedades físicas, químicas e mineralógicas; analisar a influência que o teor de lodo de ETA, quando utilizado como agregado miúdo, exerce sobre as

propriedades físicas e mecânicas da argamassa; e correlacionar as características físico-químicas do lodo de ETA com as propriedades mecânicas que a argamassa apresenta ao final do estudo.

## 2 Desenvolvimento

A produção de lodo no tratamento de água é um desafio que demanda soluções multifacetadas. A adoção de métodos de tratamento e disposição que minimizem impactos ambientais, promovam a reutilização e garantam a segurança pública é essencial para uma gestão eficaz dos resíduos sólidos oriundos desse processo. Ao abordar essas questões de maneira integrada, podemos promover a sustentabilidade e a proteção dos recursos hídricos (OTANI et al., 2023).

O lodo da Estação de Tratamento de Água (ETA), são resíduos gerados em decorrência do tratamento de água. O resíduo é resultado das reações químicas entre reagentes utilizados no tratamento e as impurezas presentes na água. Essas impurezas incluem aglomerados de sólidos orgânicos e inorgânicos que são removidos durante os processos de decantação ou flotação (FERREIRA FILHO, 2017).

Segundo Richter (2009) especifica como o lodo de ETA é classificado pela norma ABNT NBR 10004/2004 como resíduo sólido Classe IIA, sendo não perigoso e não inerte (MORSELLI et al., 2022). Portanto, este resíduo deve seguir as legislações ambientais vigentes e ser disposto de forma adequada. No entanto, grande parte das ETAs brasileiras o descarte é realizado de forma inadequada, podendo ocasionar riscos ambientais e sociais (OTANI et al., 2023).

O tratamento de água é um processo complexo e de vital importância para a saúde pública. Cada uma dessas etapas desempenha uma função específica na remoção de contaminantes, garantindo que a água tratada seja segura para consumo humano. A Figura 1 ilustra diferentes etapas do processo envolvendo uma ETA, desde a captação até a distribuição de água.



Figura 1 - Imagem ilustrativa de uma ETA.  
Fonte: LIMA *et al.* (2019).

### 3 Metodologia

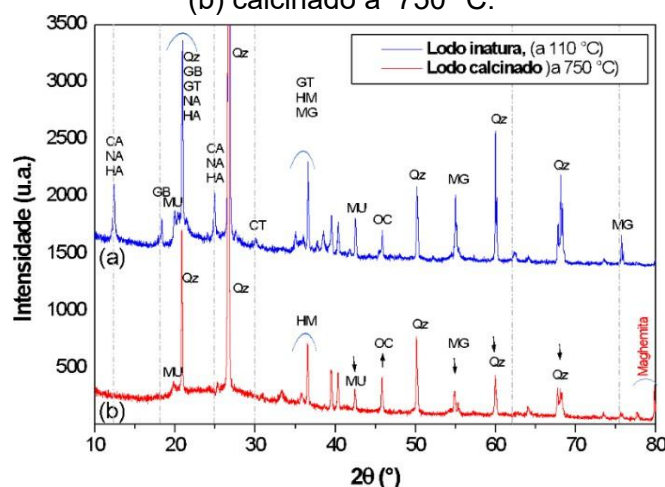
A técnica de observação não participante, amplamente utilizada na pesquisa qualitativa, foi aplicada para analisar as etapas de tratamento de água da Estação de Tratamento de Água (ETA) da cidade de Balsas-MA. A observação foi registrada por anotações e fotografias após autorização formal. Além disso, foram coletados sedimentos em conformidade com a norma técnica NBR 10.007, garantindo a exatidão das amostras. A correta aplicação dessa norma é essencial para a obtenção de informações confiáveis para análises ambientais, auxiliando na tomada de decisões sobre o descarte e o acompanhamento de resíduos.

A coleta do lodo da ETA foi realizada na câmara de decantação e, após o transporte ao laboratório, iniciou-se o processo de secagem. O lodo foi deixado ao ar livre por quatro dias para a evaporação natural da água, seguida de secagem em estufa a 110 °C por 48 horas, garantindo que o material atingisse um teor de umidade adequado para posteriores processos. Esse procedimento visa preservar as propriedades físicas e químicas do lodo, essencial para futuras análises ou usos industriais.

Após a secagem, o lodo passou por moagem e peneiração para obter partículas mais finas e uniformes, essenciais para análises químicas e outras aplicações técnicas. Esse processo foi realizado utilizando-se almofariz e peneira de mesh 75µm, garantindo a consistência granulométrica necessária para a reprodutibilidade das análises. Em seguida, o lodo foi submetido a calcinação a 750 °C, eliminando matéria orgânica residual e estabilizando sua composição química.

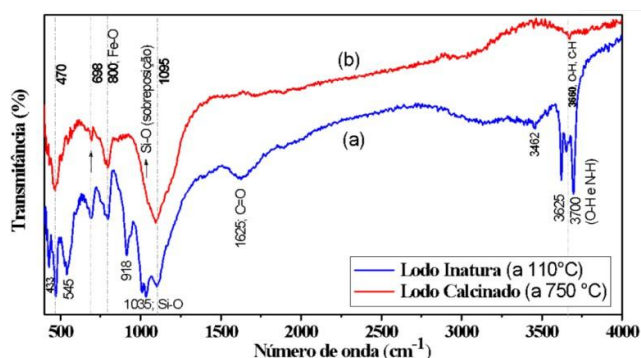
A análise química do lodo foi feita utilizando técnicas como espectroscopia de infravermelho e difração de raios-X (DRX), obtendo informações detalhadas sobre a estrutura molecular e composição do material. Além disso, foi determinada sua massa específica e realizada uma análise granulométrica para definir a dimensão máxima característica dos agregados. Esses dados foram fundamentais para a caracterização do lodo como material para aplicações na construção civil, como em argamassas.

Figura 2 - Difratoogramas do lodo da ETA de Balsas: (a) in natura, submetido a 110 °C; (b) calcinado à 750 °C.



Fonte: Autores, 2024.

Figura 3 - Espectros vibracionais no infravermelho do lodo da ETA de Balsas: (a) in natura, submetido a 110 °C; (b) calcinado a 750 °C.



Fonte: Autores, 2024.

Por fim, o lodo foi incorporado em argamassas, em proporções de 5% e 10%, para avaliação de suas propriedades físicas e mecânicas. Corpos de prova foram moldados e submetidos a testes de resistência à compressão após períodos de cura de 7, 14 e 28 dias. Os resultados desses testes indicaram a viabilidade do uso do lodo como agregado na argamassa, com potencial para aplicações industriais e ambientais.

#### 4 Resultados e Discussão

O tratamento da água no município de Balsas, Maranhão, envolve a purificação da água captada do Rio Balsas e de poços artesianos, as principais fontes de abastecimento da região. Na Estação de Tratamento de Água (ETA), são realizados processos físico-químicos para remover contaminantes e micro-organismos, utilizando a coagulação e floculação como etapas cruciais. Durante esses processos, substâncias como ácido sulfúrico e alumina são adicionadas para aglomerar as partículas suspensas na água, facilitando sua remoção e a formação de lodo, um subproduto do tratamento.

A coagulação e floculação são processos essenciais no tratamento da água, que aglomeram partículas em flocos maiores, facilitando sua sedimentação. Esse processo ocorre em tanques específicos da ETA, onde a água passa por várias etapas, como a adição de coagulantes e a decantação do lodo, que é posteriormente descartado. No entanto, a infraestrutura de Balsas carece de lagoas de decantação, o que compromete o tratamento adequado do lodo, levando à liberação de resíduos no Rio Balsas, com impactos ambientais significativos.

A principal fonte de água de Balsas, o Rio Balsas, sofre com a influência de fatores ambientais, como o desmatamento e o assoreamento, que afetam a qualidade da água captada. Além disso, eventos climáticos, como chuvas recentes, aumentam a variabilidade na composição da água, que apresenta diferentes níveis de sedimentos e metais. A falta de lagoas de decantação para o tratamento do lodo agrava os riscos de contaminação ambiental, já que o lodo descartado diretamente no rio pode conter substâncias nocivas.

A caracterização química do lodo gerado na ETA de Balsas revela a presença de compostos como sílica, óxidos de ferro e matéria orgânica. A análise espectroscópica do lodo, tanto in natura quanto após calcinação, identificou componentes como quartzo, hematita e calcita, que resultam do processo de purificação da água, incluindo o uso de coagulantes como cloreto de ferro e óxido de cálcio. Esses elementos são derivados tanto do material captado do rio quanto dos produtos químicos utilizados no tratamento.

A análise física do lodo, seguindo a norma NBR 7217, indica que suas propriedades granulométricas são semelhantes às da areia grossa, o que sugere

sua viabilidade como substituto parcial da areia em aplicações na construção civil. A distribuição de partículas do lodo é compatível com materiais utilizados em filtros e na produção de argamassa, abrindo possibilidades para o reaproveitamento desse resíduo em projetos de engenharia e construção sustentável.

Testes com corpos de prova de argamassa contendo 5% e 10% de lodo demonstraram que a adição de 5% não compromete a resistência do material, tornando-o uma alternativa viável para aplicações como pavimentação e construção de estruturas não estruturais. Já a adição de 10% de lodo reduziu a resistência da argamassa, mostrando que porcentagens mais elevadas podem prejudicar o desempenho do material, especialmente devido à absorção de água.

Tabela 5 - Dados de resistência dos corpos de prova em 7, 14 e 28 dias de cura, contendo 5 e 10 % de lodo na composição.

<b>PORCENTAGEM</b>	<b>7 DIAS</b>	<b>14 DIAS</b>	<b>28 DIAS</b>
5%	19,96 MPa	24,46 MPa	32,62 MPa (projeção)
10%	8,96 MPa	12,80 MPa	17,07 MPa (projeção)

Fonte: Autores, 2024.

O reaproveitamento do lodo de ETA em materiais de construção oferece vantagens ambientais e econômicas, reduzindo a quantidade de resíduos descartados e o consumo de matérias-primas tradicionais. Estudos indicam que o uso de lodo em tijolos e telhas também pode ser uma solução sustentável, embora seja necessário manter um equilíbrio na proporção de lodo para evitar a redução da resistência do material. Assim, o lodo gerado no tratamento de água pode ser transformado em um recurso valioso, promovendo práticas de construção mais sustentáveis.

## 5 Considerações Finais

Conforme os dados espectrais na região do infravermelho e de difração de raios X, o lodo in natura da ETA de Balsas possui uma composição constituída predominantemente por matéria orgânica, óxidos de ferro, cálcio e silício.

O processo de tratamento térmico na mufla, aplicado ao material, evidencia a presença de materiais inorgânicos, cristalinos e amorfos, o que pode melhorar a performance do lodo como agregado, tornando-o mais adequado e eficiente para a produção de argamassas.

Os dados dos ensaios realizados para a obtenção do módulo de finura

demonstram a adequação do lodo para uso em argamassas, apresentando um potencial significativo para ser utilizado como agregado.

Para os ensaios com percentuais de 5% de adição do lodo de ETA tratado à 110 °C, encontrou-se em destaque que, a partir do processo de cura e hidratação da argamassa, obteve-se valores de tensão de compressão próximos aos estimados previamente conforme a norma NBR 7217.

Nos ensaios com 10% de lodo de ETA tratado à 110 °C, os resultados foram satisfatórios, porém com um decaimento na performance mecânica, o que pode estar associado à presença de maior teor orgânico.

Estima-se que o aproveitamento do lodo calcinado à 750 °C, praticamente sem matéria orgânica, poderá possibilitar a obtenção de corpos de prova ainda mais resistentes, proporcionando a obtenção de um material de mais alta qualidade para uso na construção civil.

Portanto, como perspectiva, sugere-se a necessidade de análises mais detalhadas da viabilidade do uso de maiores porcentagem de lodo, especialmente o calcinado, de modo a possibilitar o maior reuso desses resíduo na construção civil, contribuindo com a adoção de técnicas mais sustentáveis nesse setor.

## Referências

ABNT NBR 10004 - Resíduos sólidos — Classificação. 2004. ABNT NBR 10007 - Amostragem de resíduos sólidos. 2004

ABNT NBR 11582 - Cimento Portland — Determinação da expansibilidade Le Chatelier. 2016.

ABNT NBR 13281-1 - Argamassas inorgânicas — Requisitos e métodos de ensaios Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e tetos. 2023.

ABNT NBR 16372 - Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de Blaine). 2015.

ABNT NBR 16606 - Cimento Portland — Determinação da pasta de consistência normal. 2019

ABNT NBR 16607 - Cimento Portland — Determinação dos tempos de pega. 2018. ABNT NBR 16697 - Cimento Portland — Requisitos. 2018.

ABNT NBR 16697 - Cimento Portland — Requisitos. 2018.

ABNT NBR 16916 - Agregado miúdo — Determinação da densidade e da absorção de água. 2021

ABNT NBR 17054 - Agregados — Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio. 2022.

ABNT NBR 5738 – Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. 2015

ABNT NBR 5739 - Concreto — Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. 2018.

ABNT NBR 7211 - Agregados para concreto — Requisitos. 2022.

AHMAD, T., AHMAD, K., ALAM, M. Characterization of Water Treatment Plant's Sludge and its Safe Disposal Options. *Procedia Environmental Sciences*, v. 35, n. p. 950-955, 2016.

ALEM SOBRINHO, p (1991) Contribuição ao estudo de remoção biológica de fósforo em excesso, de esgoto sanitário, por modificação de processos de lodos ativados. 1991. 2v. Tese, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

ANDREOLI, C. V. *et al.* Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro:

RiMa/ABES, 2001. Disponível em:

[https://www.academia.edu/download/53610361/Aproveitamento\\_do\\_Lodo\\_Gerado.pdf](https://www.academia.edu/download/53610361/Aproveitamento_do_Lodo_Gerado.pdf). Acesso em 13 de maio de 2022.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. *Cerâmica*, v. 61, p. 178- 189, 2015.

BRINATTI, A. M. Uso de espectroscopias de difração de raios-X aplicadas à caracterização mineralógica de solos. São Carlos, 2001.

BROSCH, C.D. Fabricação de Agregado Leve a partir do Lodo de Esgoto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, Rio de Janeiro, 1975.

VIEGAS, B. M. *et al.* A influência da temperatura nas transformações de fases dos minerais presentes na lama vermelha: redução da hematita à magnetita. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 25, p. e-12594, 2020.

CAPANAS, S. A. Caracterização e estudo do comportamento térmico de resíduo (lodo) proveniente de estações de tratamento de água e de esgotos do município de araraquarasp. Dissertação, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química. Araraquara. SP. 2009.

CORDEIRO, J. S. (2001). Processamento de estações de Tratamento de água (ETAs). in: ANDREOLI, C.V. *et al.* (2001). Coord. Resíduos sólidos do saneamento: Processamento, reciclagem e disposição final, Rio de Janeiro: ABES.

DE MORAIS SIMOKA, B. P.; REIS, C. Z.; BONI, H. T. Utilização de cinzas de lodo agroindustrial na elaboração da argamassa para construção civil. *Revista Brasileira de Iniciação Científica*, v. 3, n. 5, 2016.

DI BERNARDO, L. (1999) Disposição de resíduos líquidos de ETAs em ETEs. In: Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água, Marco Antônio Penalva Reali (coord). ABES.

DO AMARAL FREITAS, L. ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA NA UTILIZAÇÃO DE ESPECTROSCOPIA RAMAN NA CARACTERIZAÇÃO ONLINE DE SOLOS.

FELEOL, L. R. S. Métodos alternativos de secagem do lodo da estação de tratamento de água de Macapá-AP visando determinação da matéria orgânica residual. 2024.

FERRARESI, T. M. *et al.* Espectroscopia de infravermelho na determinação da textura do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, p. 1769-1777, 2012.

FIJALKOWSKI, K.; *et al.* The presence of contaminations in sewage sludge — The current situation. *Journal Of Environmental Management*, v. 203, p. 1126-1136, 2017.

GASTALDINI, A.L.G., HENGEN, M.F., GASTALDINI, M.C.C., *et al.* The use of water treatment plant sludge ash as a mineral addition. *Construction and building materials*, v. 94, n. p. 513-520, 2015.

GODOY, L.G.G. Incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) calcinado em cimento composto e pozolânico, Dissertação de M.Sc., Fundação Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2018.

GOMES, L. A. *et al.* Aproveitamento do lodo gerado em estações de tratamento de esgoto e a relação com o meio ambiente. 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/32595>. Acesso em 20 de março de 2022.

IBGE. Agência IBGE Notícias. Em abril, Índice Nacional da Construção Civil foi de 1,21%. Agência IBGE Notícias, [S. l.], 11 maio 2022. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/33671-em-abril-indice-nacional-da-construcao-civil-foi-de-1-21>. Acesso em: 18 maio 2022.

IWAKI, G. Destinação Final de Lodos de ETAs e ETEs. 2018. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/destinacao-final-de-lodos-de-et-as-e-etes/>.

JESUS, A. M. Utilização de lodo de estação de tratamento de água para produção de geopolímeros. 2018. 42 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018.

LAZZARI, J. Análise do potencial energético de lodos obtidos no tratamento de esgoto. 2018. 83 f. Monografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018.

LESSA, G. T. Contribuição ao estudo da viabilidade da utilização do lodo de estação de tratamento biológico de esgoto misto na construção civil. 2005.

LIMA, I. B.; SANTOS, I. F. S.; MENSAH, J. H. R. Estimativa de consumo de energia em Estações de Tratamento de Água (ETAs) em função da população abastecida. Conference: XIV Seminário de Meio Ambiente e Energias Renováveis. 2019.

LOPES, W. A.; FASCIO, M. Esquema para interpretação de espectros de substâncias orgânicas na região do infravermelho. *Química nova*, v. 27, p. 670-673, 2004.

MACHADO, P. C. M.; LANBEHN, J. T.; OLIVEIRA, M. C.; ELYSEU, F.; CARGNIN, M.;

DE NONI JR, A.; FRIZON, A. E. T.; PETERSON, M. Estudo do comportamento e caracterização de argilas bentoníticas após processo de liofilização. *Cerâmica*, 64 207-213, 2018.

MACIEL, P. R.; MACHADO, L. R. Alternativas para a Utilização de Lodo das Estações de Tratamento de Água (ETA) como agregado na Construção Civil. 2016.

MIGUEL, T. P.; ALEXANDRE, J. Avaliação da Pozolanicidade do Lodo de Estação de Tratamento de Água Aplicado em Argamassas de Múltiplo Uso. In: Congresso Fluminense de Pós-Graduação-CONPG. 2023.

MOSCHEM, J.C.; GONÇALVES, P. R. Impacto Toxicológico de Metais Pesados: Uma Análise de Efeitos Bioquímicos e Celulares. *Health and Biosciences*, v.1, n.2, 2020.

MORSELLI, L. B. G. A. Potencial de reciclagem de lodo de estação de tratamento de água (ETA). 2021. Dissertação, Universidade Federal de Pelotas.

MOTTA, W. H. *et al.* O papel dasecoinovações na transição para uma Economia Circular. *Liinc em Revista*, v. 18, n. 1, p. e5940-e5940, 2022.

NAKAMOTO, K. Infrared and raman spectra of inorganic and coordination compounds. 5th ed. New York: John Wiley & Sons, 1997.

NUVOLARI, A.; SANITÁRIO, E. Coleta, Transporte, Tratamento e Reuso Agrícola. Pág. 536–Publicação 2003 Editora Edgard Blucher. Lançamento 05/08, 2003.

OLIVEIRA, R. I. V.; ROCHA, G. C. M.; VOGAS, C. A.; SILVA, N. L. A.; BERTOLINO,

C. L. Caracterização estrutural para argilas bentoníticas para utilização como nanocargas. 21º Congresso de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2014.

OTANI, L. T.; DOS SANTOS, M. R. R. Tratamento De Esgoto Em Ocupações Irregulares: Estudo De Caso Da Comunidade Menino Chorão. 2023

PAIXÃO, L. C. C. Aproveitamento de lodo de estação de tratamento de água em cerâmica vermelha. 2005.

PAZ, A. P. S.; ANGÉLICA, S. R.; NEVES, F. R. Síntese hidrotermal de sodalita básica a partir de um rejeito de caulim termicamente ativado. *Quim. Nova*, v. 33, n. 3, 579-583, 2010.

PODKOWA, L. D. *et al.* Alternativas para a empregabilidade do lodo na construção civil. Salão do Conhecimento, 2015.

PORRAS, A. C.; DE LIMA ISAAC, R.; MORITA, D. Incorporação do lodo das estações de tratamento de água e agregado reciclado de resíduo da construção civil em elementos de alvenaria-tijolos estabilizados com cimento. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, v. 18, n. 2, p. 5-28, 2008.

RICHTER, C. A. Tratamento de lodos de estações de tratamento de água. Editora Blucher, 2001.

RODRIGUEZ-NAVARRO, C.; RUIZ-AGUDO, E.; LUQUE, A.; RODRIGUEZ-NAVARRO, A. B.; ORTEGA-HUERTAS, M. Thermal decomposition of calcite: Mechanisms of formation and textural evolution of CaO nanocrystals. *American Mineralogist*, v. 94, p. 578–593, 2009.

SILVA, A. R. Comportamento geotécnico de misturas de areia argilosa laterítica e lodo da estação de tratamento de água Taiapuêba, município de Suzano, São Paulo. 2021. Tese, Universidade de São Paulo.

SILVA, L. S. *et al.* Biocarvão a partir de lodos de estações de tratamento de esgoto: uma revisão. *Revista DAE*. 70, 229-243, 2022.

SMIDT, E; MEISSL, K. The applicability of Fourier Transform Infrared (FT-IR) spectroscopy in waste management. *Waste Manag*, v. 27, p.268–76. 2007.

VALLS, S., YAGÜE, A., VÁZQUEZ, E., *et al.* Physical and mechanical properties of concrete with added dry sludge from a sewage treatment plant. *Cement and Concrete Research*, v. 34, n. pp. 2203-2208, 2004.

VALLS, S., YAGÜE, A., VÁZQUEZ, E., *et al.* Physical and mechanical properties of concrete with added dry sludge from a sewage treatment plant, *Cement and Concrete Research*, v. 34, n. pp. 2203-2208, 2004.

VIRGOLINO, Luciana *et al.* Avaliação das propriedades das argamassas com substituição parcial do cimento Portland por lodo de estação de tratamento de água. In: 5º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade. 2022.

VISENTIN, R.; MATEUS, C. M. D. A.; ESPERANCINI, M. S. T.; BOAS, R. L. V.; CRUZ, C. V. Compostagem de lodo de esgoto em Botucatu: avaliação preliminar de custos. In: FÓRUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS. Anais. Porto Alegre, 2017.

---

XAVIER, T. E. *et al.* FERTILIZAÇÃO COM COMPOSTO ORGÂNICO A BASE DE LODO DE ESGOTO NA CULTURA DO MILHO. 2023.

ZHEN, G.; *et al.* Overview of pretreatment strategies for enhancing sewage sludge disintegration and subsequent anaerobic digestion: current advances, full-scale application and future perspectives. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, v. 69, p. 559-577, 2017.

## CAPÍTULO 4: A IMPORTÂNCIA DA CARBONATAÇÃO ACELERADA NA SUSTENTABILIDADE NO SETOR CERÂMICO NO MATOPIBA

*Wener M.T. dos Santos<sup>10</sup>, João Castro Gomes<sup>11</sup>, Geovane B.da S. Junior<sup>12</sup>, Luís Claudio de O.Silva<sup>4</sup>, Marcus Vinicius de S.Lopes<sup>13</sup>, Fabiana Oliveira Canavieira<sup>14</sup>, Dimas MT dos Santos<sup>15</sup>, Paulo Vitor Campos Ferreira<sup>16</sup>*

### Resumo

Este estudo destaca o potencial da carbonatação acelerada no desenvolvimento de materiais de construção sustentáveis, que, além de melhorar a resistência mecânica, capturam quantidades significativas de CO<sub>2</sub>. Em misturas de argila e escória de alto-forno, a amostra A3 demonstrou excelentes resultados, com resistência à compressão de 11,25 MPa e capacidade de captura de CO<sub>2</sub> de 27,38%. O processo promoveu a formação de carbonatos de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) e magnésio (MgCO<sub>3</sub>), que aumentaram a densidade e reduziram a porosidade dos materiais. O uso de resíduos industriais, como a escória, foi fundamental para o sucesso do processo, reforçando a importância de sua integração na construção civil. A adoção dessa tecnologia, especialmente na região do MATOPIBA, tem o potencial de reduzir emissões de carbono, melhorar a eficiência no uso de recursos e impulsionar a economia circular. Esse avanço está alinhado com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, promovendo um futuro mais sustentável.

**Palavras-chave:** MATOPIBA, Carbonatação acelerada, CO<sub>2</sub>, escória de alto-forno, argila e sustentabilidade.

### 1 Introdução

O Brasil é um ambiente propício para o crescimento urbano graças à abundância de matérias-primas para a construção civil, com destaque para a produção de cerâmica vermelha. O setor cerâmico brasileiro é diversificado e envolve produtos como revestimentos, cerâmica branca, refratários, isolantes, vidro, cimento e cerâmica avançada, sendo a cerâmica vermelha muito utilizada em construções e itens domésticos. A atuação das indústrias cerâmicas no contexto ambiental tem gerado debates e estudos, visando entender a relação entre esses empreendimentos, o meio ambiente e a sociedade, contribuindo para análises das posturas adotadas pelos proprietários em relação às questões

<sup>10</sup> Universidade Federal do Maranhão, Coordenação Bacharelado Interdisciplinar Ciência e Tecnologia, wener.santos@ufma.br

<sup>11</sup> Universidade Beira Interior, Portugal, jpcg@ubi.pt

<sup>12</sup> Universidade Beira Interior, Portugal, geovane.junior@ubi.pt

<sup>13</sup> Universidade Federal do Maranhão, claudio.luis@ufma.br

<sup>14</sup> Universidade Federal do Maranhão, paulo.campos@ufma.br

<sup>15</sup> Universidade Federal do Maranhão, paulo.campos@ufma.br

<sup>16</sup> Universidade Federal do Maranhão, paulo.campos@ufma.br

ambientais, conforme Figura 1 (Amorim,2017; Syrovátka,2020).



Figura 1 - Setor cerâmico combustão ineficiente

Fonte: gov.br/int/pt-br/central-de-conteudos/ceramica-vermelha/ficha-n-05-info-emiss-atmosf\_rev-1f2\_mh\_09\_08-10-02-23-novo-link.pdf

Fonte: Autores, 2024.

As atividades das empresas cerâmicas, especialmente as olarias, geram graves impactos ambientais, como a perda da qualidade do ar, ruídos, erosão, degradação do solo, desmatamento e perda de biodiversidade. O desmatamento, em particular, ocorre na extração de argila e na obtenção de lenha, afetando diretamente o bioma da caatinga e cerrado. Esse processo remove a vegetação e expõe o solo a erosão, alterando suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Tais práticas comprometem a interação natural do ecossistema, prejudicando o equilíbrio da fauna e flora e aumentando os riscos de doenças ocupacionais e acidentes. Os tipos de fornos mais usuais do setor cerâmico no Brasil, conforme Figura 2 e 3 (Bonvicini, Resca e Bignozzi, 2018; Santos, Sales e Costa, 2019; Silva et al, 2018).



Figura 2 - Forno abóboda setor cerâmico

Fonte: Henriques et al. (2013)

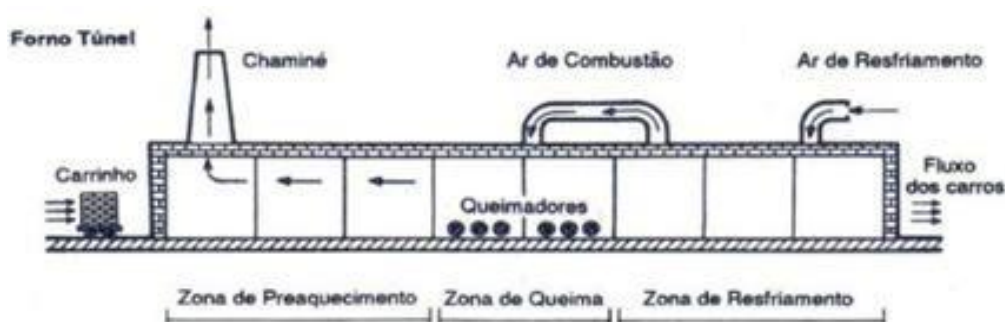


Figura 3 - Forno túnel do setor cerâmico  
Fonte: Pécisio Sousa Santos (2013)

A carbonatação acelerada é uma tecnologia promissora para promover sustentabilidade e eficiência no setor cerâmico da região do MATOPIBA, oferecendo uma alternativa de baixo carbono na produção de tijolos, telhas e lajotas. Esse processo utiliza dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) para endurecer materiais alcalinos, formando carbonatos que aumentam a resistência e durabilidade dos produtos, reduzindo a necessidade de energia e eliminando o uso de combustíveis fósseis, como o carvão vegetal. A substituição do carvão vegetal diminui a demanda por madeira e o desmatamento, contribuindo para uma produção de materiais de alta qualidade e menor impacto ambiental. Desenvolvida inicialmente por Seifritz em 1990, a carbonatação acelerada envolve a reação entre materiais alcalinos e  $\text{CO}_2$  de alta pureza na presença de umidade, acelerando o processo de formação de carbonatos para minutos ou horas. Este processo de carbonatação se divide em carbonatação mineral e de resíduos sólidos alcalinos: a primeira utiliza minerais para formar carbonatos estáveis, enquanto a segunda captura e converte o  $\text{CO}_2$  do ambiente usando resíduos alcalinos como adsorventes, proporcionando uma solução ambientalmente sustentável e eficiente para o tratamento de resíduos e a produção de materiais de construção com pegada de carbono reduzida. Há também diferentes métodos de carbonatação acelerada: o processo direto, onde a reação ocorre em uma única etapa, e o indireto, em que o metal alcalino-terroso é primeiro extraído e depois carbonatado. No setor cerâmico, a carbonatação direta pode ocorrer de forma gasoso- sólido (seca) ou aquosa (úmida), dependendo da quantidade de água envolvida na reação (Santos, 1989; Huang et al 2018; Pan, Chang e Chiang, 2012; Seifritz, 1990; Lim et al 2010; Haug, Munz e Kleiv, 2011; Lackner et al 1995).

A região do MATOPIBA, com forte atividade agrícola e industrial, pode ainda integrar resíduos locais, como as cinzas de biomassa, no processo de carbonatação acelerada para a fabricação de produtos cerâmicos. Esse uso promoveria a economia circular e o aproveitamento sustentável de recursos, contribuindo para a mitigação dos impactos ambientais e para a criação de produtos com menores emissões de CO<sub>2</sub>. Portanto, a aplicação da carbonatação acelerada no setor cerâmico do MATOPIBA pode não só melhorar a durabilidade e a qualidade dos produtos, mas também capturar CO<sub>2</sub>, reduzir emissões e utilizar resíduos regionais de forma sustentável.

No contexto do desenvolvimento sustentável, essa prática está alinhada com políticas públicas voltadas à preservação ambiental, à redução do desmatamento e à melhoria da gestão de resíduos sólidos, com foco na participação social. A implementação dessas iniciativas, com apoio de instituições públicas e privadas, busca minimizar problemas socioambientais, qualificar a mão de obra e assegurar direitos de cidadania para diferentes grupos sociais (Fernandes, 2014).

A pesquisa faz parte do projeto CSTO2NE - Biomimicry and Carbon Adsorbent Eco-materials for a Climate-Neutral Economy, liderado pelo professor João Castro Gomes na Universidade da Beira Interior (UBI). O projeto utiliza biomimética para criar eco-materiais sustentáveis capazes de capturar e armazenar CO<sub>2</sub>, focando em resíduos industriais que, através da carbonatação acelerada, possam contribuir para a redução de emissões e apoiar a transição para uma economia neutra em carbono (Gomes, 2022).

Assim, o uso de resíduos industriais e o ajuste do processo promovem uma abordagem sustentável, alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, fortalecendo a economia circular na construção, Figura 4.



Figura 4 - Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável  
 Fonte: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>

## 2 Materiais e Métodos

O material utilizado foi câmara de carbonatação, dióxido de carbono, sistema embarcado para coleta de dados (temperatura, pressão, umidade e teor de CO<sub>2</sub>) na plataforma Arduino, desenvolvido pelos professores Luís Claudio de O.Silva e Marcus Vinicius de S.Lopes, conforme Figura 5 e 6, argila do município de Itapecuru/MA e escória de alto-forno, Figura 7, originado da composição de minério de ferro, calcário e carvão vegetal, da empresa Siderúrgica no município de Açailândia/MA.

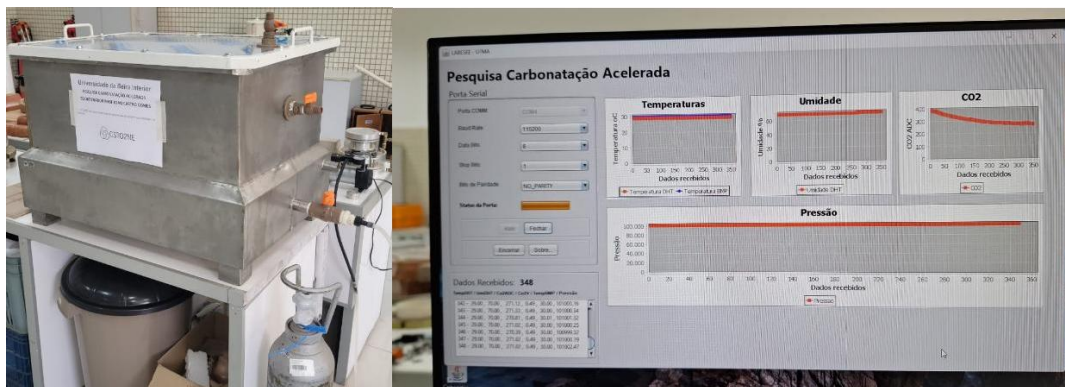


Figura 5 - Câmara e sistema de monitoramento arduino  
 Fonte: Autores, 2024.

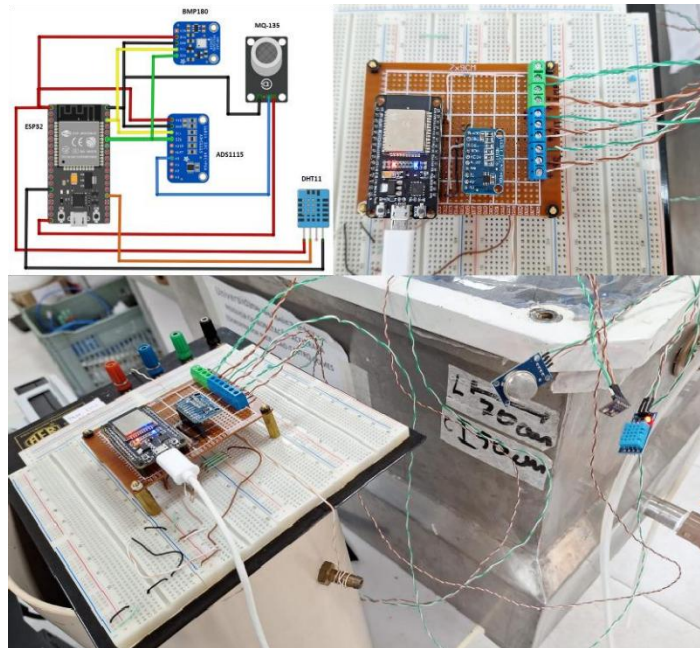


Figura 6 - Sistema de monitoramento arduino (temperatura, pressão, umidade e teor de CO<sub>2</sub>)

Fonte: Professores Luís Claudio de O.Silva e Marcus Vinicius de S.Lopes, UFMA.



Figura 7: Amostras Argila (a) e Escória de Alto-forno (b)

Fonte: Autores, 2024.

Na metodologia, foi realizado análise de fluorescência nos materiais, a plasticidade, absorção de água (AA) (NBR 8947), massa aparente específica (MEA) (NBR 6220), porosidade aparente (PA) (NBR 6220), matriz das composições variadas, análise de resistência a compressão e microscopia eletrônica de varredura das amostras. Além disso quantificamos o CO<sub>2</sub> adsorvido ou armazenar teórico através da equação de Huntzinger (TCO<sub>2</sub>H), sendo uma base para quantificar o potencial de carbonatação desses materiais e calcular o impacto que eles podem ter na redução das emissões de CO<sub>2</sub>. O tempo de exposição de dióxido

de carbono foi de 8 horas e pressão interna na câmara de até 1 atm. As composições para realização dos ensaios, como base para avaliar os resultados da blendagem, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Composições argila e escória de alto-forno

AMOSTRAS	Argila %	Escória Alto-forno %
A1	100	0
A2	70	30
A3	30	70
A4	0	100

Fonte: Autores, 2024.

### 3 Resultados e Discussão

#### 3.1 Escória de alto-forno

A escória de alto-forno da Siderúrgica de Açailândia/MA foi analisada por fluorescência de raios-X, revelando a composição elementar apresentada na Tabela 2. O processamento siderúrgico utiliza minério de ferro proveniente do Pará, além de calcário e carvão vegetal obtidos na região, como principais insumos. A equação de Huntzinger - Escória Alto-forno da Siderúrgica de Açailândia, foi de TCO<sub>2</sub>H (Escória) ~ 42,33%.

Tabela 2 – Escória Alto-forno da Siderúrgica de Açailândia/MA

Elementos	(%)
SiO <sub>2</sub>	31,5
CaO	46,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,5
MgO	5,25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,45
FeO	0,85
S	0,265

Fonte: Autores, 2024.

#### 3.2 Argila

Na argila do município de Itapecuru/MA temos análise de fluorescência, plasticidade, absorção de água (AA), massa aparente específica (MEA), porosidade aparente (PA), conforme Tabela 3 e 4. Equações de Huntzinger - Argila do município de Itapecuru/MA, foi de TCO<sub>2</sub>H (Argila) ~ 1,74%

Tabela 3 – Análise química da argila de Itapecuru/MA

Elementos	(%)
SiO <sub>2</sub> (%)	65,17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	17,59
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	5,01
CaO (%)	0,11
MgO (%)	0,63
K <sub>2</sub> O (%)	1,36
Na <sub>2</sub> O (%)	0,47
TiO <sub>2</sub> (%)	1,19
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	<0,10
SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,70
Perda ao Fogo	8,35
Plasticidade	29,99

Fonte: Autores, 2024.

Tabela 4 – Argila do município de Itapecuru/MA

Temperaturas (°C)	Absorção de água (AA%)	Massa aparente específica (MEA g/cm <sup>3</sup> )	Porosidade aparente (PA%)
800	19,98	3,11	37,77
900	18,75	2,98	35,23
1000	9,22	2,31	20,65

Fonte: Autores, 2024.

### 3.3 Composições das amostras

Com a matriz das composições temos, conforme Tabelas 5 e 6, observa-se que a resistência à compressão e o potencial de captura de CO<sub>2</sub> aumentam com o teor de escória na amostra. A amostra A4, composta inteiramente de escória, apresenta tanto a maior resistência quanto o maior TCO<sub>2</sub>H, tornando-a ideal para aplicações que exigem alta durabilidade e capacidade de sequestrar CO<sub>2</sub>.

Tabela 5 – Elementos químicos das amostras

Amostra	A1	A2	A3	A4
Argila (%)	100	70	30	0
Escória de Alto-Forno (%)	0	30	70	100
SiO <sub>2</sub>	65,17	54,00	41,06	31,50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,59	16,30	15,71	13,50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,01	3,82	3,61	1,45
CaO	0,11	14,04	30,56	46,50
MgO	0,63	2,17	3,72	5,25
K <sub>2</sub> O	1,36	0,95	0,41	0,00
Na <sub>2</sub> O	0,47	0,33	0,10	0,01
TiO <sub>2</sub>	1,19	0,83	0,31	0,02
FeO	0,01	0,26	0,45	0,85
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0,10	0,00	<0,03	0,00
S (Enxofre)	0,00	0,08	0,16	0,22

Fonte: Autores, 2024.

Tabela 6 – Resistência a compressão e TCO<sub>2</sub>H das amostras

Amostra	Argila (%)	Escória de Alto-Forno (%)	Resistência à Compressão (MPa) após 8h	TCO <sub>2</sub> H(%). Estimado
A1	100	0	1,26	1,74
A2	70	30	4,68	12,02
A3	30	70	11,25	27,38
A4	0	100	16,38	42,23

Fonte: Autores, 2024.

O aumento da resistência à compressão nas amostras A2, A3 e A4, em comparação com a amostra A1 (100% argila), pode ser atribuído à crescente proporção de escória de alto-forno nas misturas. Esses incrementos resultaram em ganhos de resistência de 271,43%, 792,86% e 1200%, respectivamente, evidenciando o impacto positivo da escória na melhoria das propriedades mecânicas das amostras. Essa escória é rica em óxidos de cálcio (CaO) e magnésio (MgO), elementos altamente reativos em processos de carbonatação acelerada. Durante a reação com o CO<sub>2</sub>, o CaO e o MgO formam carbonatos estáveis, como o carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) e o carbonato de magnésio (MgCO<sub>3</sub>), que aumentam a densidade e resistência da matriz estrutural das amostras.

Além disso, a presença de sílica (SiO<sub>2</sub>) e alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nas amostras, contribui para a formação de compostos como o gel de silicato de cálcio hidratado (C-S-H) e aluminossilicatos. Esses compostos atuam como modificadores na estrutura cristalina, reduzindo a porosidade e melhorando a coesão interna da

matriz. Essa combinação de alta reatividade dos óxidos de cálcio e magnésio, somada à estabilização proporcionada por silicatos e aluminossilicatos, resulta em um material com propriedades mecânicas aprimoradas, refletindo-se no aumento expressivo da resistência à compressão das amostras com maior teor de escória de alto-forno.

### 3.4 Reação termodinâmica

As prováveis reações químicas que podem ocorrer durante o processo de carbonatação (Mahoutian, Ghoulé e Shao, 2014) são;

- $2(2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2) + \text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O} + \text{CaCO}_3$
- $2(3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2) + 3\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O} + 3\text{CaCO}_3$
- $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2$
- $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{MgO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2$
- $\text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{MgCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

Observa-se que cristais de  $\text{CaCO}_3$  são formados devido ao  $\text{CaO}$  e  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . O  $\text{CaCO}_3$  possui excelentes propriedades mecânicas e pode fornecer locais adicionais de nucleação para a hidratação do  $\text{C}_3\text{S}$ . Assim, os produtos de carbonatação e hidratação preenchem maiores vazios e ligam as partículas de escória, resultando em um aumento na densidade e na resistência mecânica (Liu, Liu e Qi, 2016).

A energia livre de Gibbs ( $\Delta G$ ) é uma função termodinâmica que indica a espontaneidade de uma reação química em uma determinada temperatura e pressão. Esse conceito é essencial para entender se uma reação química ocorrerá de forma espontânea sem a necessidade de uma fonte externa de energia. Com  $\Delta G < 0$ , a reação é espontânea, ou seja, pode ocorrer sem a necessidade de energia externa.

As equações químicas e os parâmetros termodinâmicos para as reações de carbonatação da escória de alto-forno podem ser semelhantes da escória de forno de oxigênio (BOF), conforme Tabela 7 (Wu et al 2010).

Tabela 7 - Reações químicas, entalpia e energia livre de Gibbs.

Reação Química	$\Delta H$ (kJ·mol <sup>-1</sup> )	$\Delta G^T$ (kJ·mol <sup>-1</sup> )
$\text{CaO(s)} + \text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2\text{(s)}$	-99	-57,16
$\text{Ca(OH)}_2\text{(s)} + \text{CO}_2\text{(g)} \rightarrow \text{CaCO}_3\text{(s)} + \text{H}_2\text{O(l)}$	-68	-73,04
$\text{MgO(s)} + \text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow \text{Mg(OH)}_2\text{(s)}$	-78	-26,99
$\text{Mg(OH)}_2\text{(s)} + \text{CO}_2\text{(g)} \rightarrow \text{MgCO}_3\text{(s)} + \text{H}_2\text{O(l)}$	-37	-38,06
$1/3 \cdot \text{C}_3\text{S(s)} + \text{CO}_2\text{(g)} \rightarrow \text{CaCO}_3\text{(s)} + 1/3 \cdot \text{SiO}_2\text{(s)}$	-148	-91,86
$1/2 \cdot \text{C}_2\text{S(s)} + \text{CO}_2\text{(g)} \rightarrow \text{CaCO}_3\text{(s)} + 1/2 \cdot \text{SiO}_2\text{(s)}$	-81	-64,02

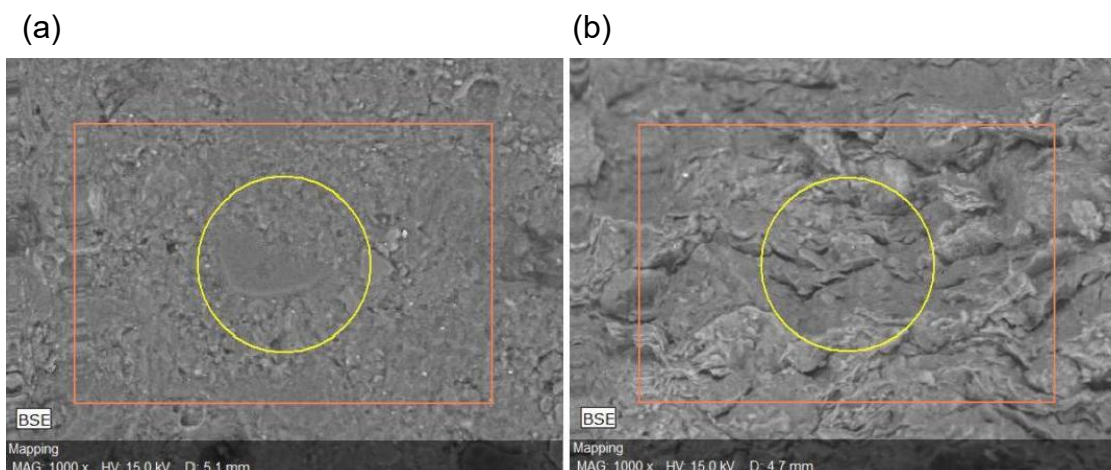
Fonte: Chang and Wu, 2010.

### 3.5 Microscopia eletrônica de varredura das amostras.

Aplicamos a microscopia eletrônica de varredura (MEV) na carbonatação acelerada apenas nas amostras A2 e A3, para observar mudanças microestruturais, antes e após do processo. Essas análises revelam alterações nas fases cristalinas e na distribuição dos poros devido à interação com o CO<sub>2</sub>.

Na amostra A2, com 70% de argila e 30 % de escoria de alto-forno, apresentou com microporos, fissuras, partículas de forma lamelares e irregular, com uma superfície rugosa. Após um tempo carbonatando, teve mudanças como redução dos poros, textura mais lisa e homogênea, Figura 8.

Figura 8 - Argila antes (a) e depois (b) da carbonatação.



Fonte: Autores, 2024.

Com o Espectroscopia de Dispersão de Energia, DSC, temos sílica (SiO<sub>2</sub>), onde a concentração de sílica diminuiu após a carbonatação, provavelmente devido à reação do CO<sub>2</sub> com o CaO, formando carbonatos e alterando a composição mineral.

A alumina também sofreu uma leve redução, o óxido de ferro diminuiu e pode estar associado a novas fases formadas durante a carbonatação. Houve uma queda significativa no teor de CaO, o que é esperado, pois grande parte do cálcio reage com o CO<sub>2</sub> para formar carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>), preenchendo os poros e densificando a matriz. Diferente do teor de MgO que aumentou após a carbonatação, o que sugere que o magnésio pode estar participando da formação de carbonatos de magnésio (MgCO<sub>3</sub>), o que melhora a densidade da matriz. O óxido de sódio, titânio, fósforo e enxofre reduziram, conforme Tabela 8.

Tabela 8 - Elementos químicos A2 antes e depois da carbonatação.

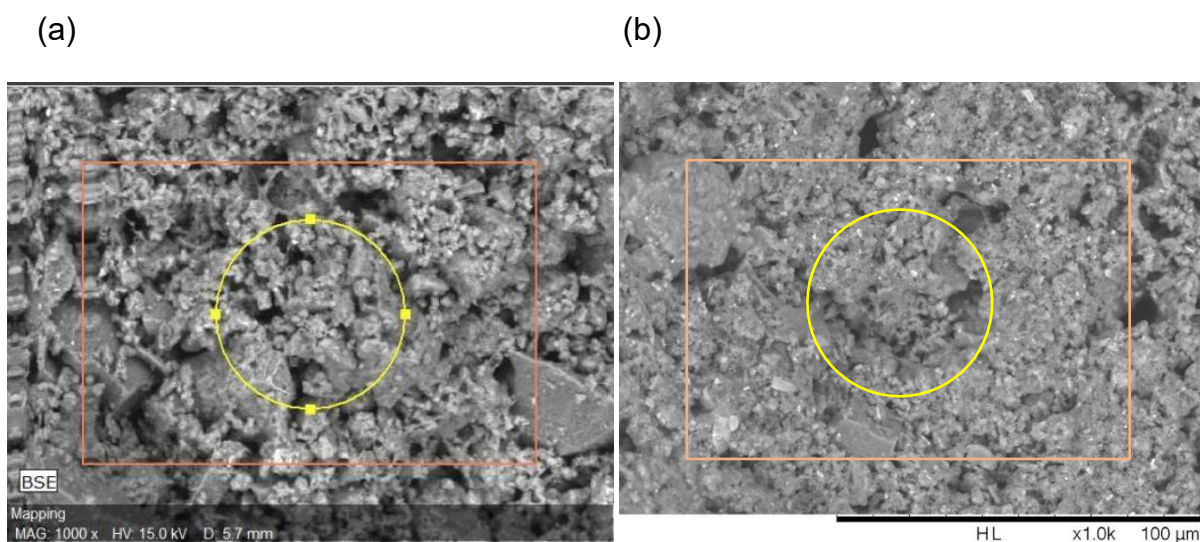
Amostras (%)	A2 ANTES	DEPOIS
SiO <sub>2</sub>	54,00	49,31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,30	15,23
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,82	2,89
CaO	14,04	10,45
MgO	2,17	3,89
K <sub>2</sub> O	0,95	0,62
Na <sub>2</sub> O	0,33	0,14
TiO <sub>2</sub>	0,83	0,67
FeO	0,26	0,21
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00
S (Enxofre)	0,08	0,04

Fonte: Autores, 2024.

Na amostra A3, com 30% de argila e 70 % de escoria de alto-forno, tem estrutura granular, porosa e partículas irregulares. Com processo, os poros ficam preenchidos e reduzidos, provavelmente carbonatos de cálcio (CaCO<sub>3</sub>), textura suave homogênea e aumento da densidade devido a quantidade de escoria, Figura 9.

Já nesta amostra A3 temos uma redução no teor de sílica (SiO<sub>2</sub>), alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e expressiva de CaO devido a conversão para carbonato de cálcio, o que aumenta a densidade da matriz e reduz a porosidade. O teor de magnésio (MgCO<sub>3</sub>) aumentou, contribuindo na resistência da amostra. Os demais elementos enxofre (S), óxido de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), titânio (TiO<sub>2</sub>), sódio (Na<sub>2</sub>O) e potássio (K<sub>2</sub>O) reduziram, conforme Tabela 9.

Figura 9 - Argila antes (a) e depois (b) da carbonatação.



Fonte: Autores, 2024.

Tabela 9: Elementos químicos A3 antes e depois da carbonatação.

Amostras (%)	A3	
	ANTES	DEPOIS
SiO <sub>2</sub>	41,06	37,49
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,71	13,68
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,61	2,73
CaO	30,56	21,95
MgO	3,72	6,67
K <sub>2</sub> O	0,41	0,27
Na <sub>2</sub> O	0,10	0,04
TiO <sub>2</sub>	0,31	0,25
FeO	0,45	0,25
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0,03	0,00
S (Enxofre)	0,15	0,08

Fonte: Autores, 2024.

A amostra A3 (30% Argila, 70% Escória Alto-forno) se destaca pelos resultados de uma matriz densa e resistente, com alta capacidade de captura de CO<sub>2</sub> e com uma boa resistência à compressão.

#### 4 Considerações Finais

O presente estudo demonstrou o grande potencial da carbonatação acelerada na produção de materiais de construção sustentáveis, utilizando misturas de argila e escória de alto-forno. As amostras testadas, especialmente a A3 (30% Argila e 70% Escória de Alto-Forno), apresentaram resultados promissores tanto em termos de resistência mecânica quanto de capacidade de captura de  $\text{CO}_2$ . A amostra A3 destacou-se por apresentar uma combinação equilibrada de elevada resistência à compressão (11,25 MPa após 8 horas de carbonatação) e um significativo potencial de captura de  $\text{CO}_2$  (27,38% de  $\text{TCO}_2\text{H}$ ). A alta reatividade dos óxidos de cálcio ( $\text{CaO}$ ) e magnésio ( $\text{MgO}$ ) presentes na escória foi essencial para a formação de carbonatos estáveis, como o  $\text{CaCO}_3$  e o  $\text{MgCO}_3$ , com elevação da densidade das matrizes e reduziram a porosidade, melhorando suas propriedades mecânicas e ambientais.

A redução significativa do  $\text{CaO}$  após a carbonatação foi observada em todas as amostras que continham escória, comprovando a formação de carbonatos como um mecanismo eficaz para o sequestro de  $\text{CO}_2$ . O aumento no teor de  $\text{MgO}$  nas amostras A3 e A4 também indica a formação de carbonatos de magnésio, contribuindo para o fortalecimento da matriz e a sustentabilidade do processo.

Além disso, a microscopia eletrônica de varredura (MEV) revelou que o processo de carbonatação não apenas preencheu os poros, mas também promoveu uma homogeneização da estrutura microcristalina das amostras, reduzindo significativamente a porosidade e melhorando a coesão interna.

A carbonatação acelerada provou ser uma alternativa viável para promover a sustentabilidade no setor de construção civil, principalmente ao permitir a utilização de resíduos industriais, como a escória de alto-forno e cinzas de biomassa, na fabricação de materiais cerâmicos de alta durabilidade e baixo impacto ambiental. A integração de resíduos e a captura de  $\text{CO}_2$  alinham-se diretamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, promovendo uma economia circular e mitigando os impactos negativos associados à construção tradicional.

Este estudo estabelece uma base para o desenvolvimento de materiais de construção que, além de alta resistência mecânica, também capturam  $\text{CO}_2$ . As

próximas etapas devem focar na otimização do processo de carbonatação, ajustando misturas e tempos de exposição, e avaliando o desempenho em escala industrial. A aplicação em larga escala dessa tecnologia no Brasil, especialmente na região do MATOPIBA, tem o potencial de reduzir emissões de carbono e aumentar a eficiência dos recursos, promovendo um futuro mais sustentável para a construção civil. dos recursos utilizados, contribuindo para um futuro mais sustentável.

## Referências

AMORIM, F. S. et al. Impactos ambientais gerados no processo de produção de cerâmicas no extremo sul do Piauí. *Acsa*, v. 13, n. 3, p. 241-246, 2017.

SYROVÁTKA, M. Sobre interpretações de sustentabilidade da pegada ecológica. *Ecological Economics*, v. 169, p. 2-10, 2020.

BONVICINI, G.; RESCA, R.; BIGNOZZI, M. C. Impatto Ambientale, Ceramica a Livelli di Eccellenza. *Ecoscienza*, v. 49, n. 2, p. 40-48, 2018.

SANTOS, A. H. V.; SALES, M. M. S.; COSTA, V. S. O. A educação ambiental no ensino de geografia: uma proposta de atividade pedagógica a partir dos impactos ambientais da produção de cerâmicas vermelhas. *Movimentos Sociais e Dinâmicas Espaciais*, v. 8, n. 2, p. 66-81, 2019.

SILVA, A. L. et al. Avaliação de novos depósitos de argilas provenientes da região sul do Amapá visando aplicação na indústria cerâmica. *Cerâmica*, v. 64, n. 369, p. 69-78, 2018.

SANTOS, P. S. *Ciência e tecnologia das argilas*, v. 1, 2. ed., São Paulo: Edgard Blücher, 1989.

HUANG L, Krigsvoll G, Johansen F, Liu Y, Zhang X. Carbon emission of global construction sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018.

PAN, S.-Y., Chang, E.E., & Chiang, P.-C. (2012). CO2 capture by Accelerated Carbonation of Alkaline Wastes: A Review on Its Principles and Applications. Graduate Institute of Environmental Engineering, National Taiwan University, Taipei 10617, Taiwan; Department of Biochemistry, Taipei Medical University, Taipei 11031, Taiwan.

SEIFRITZ, W. (1990). CO2 Disposal by Means of Silicates. *Nature* 345: 486–486.

LIM, M., Han, G.C., Ahn, J.W. and You, K.S. (2010). *Environmental Remediation*

and Conversion of Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) into Useful Green Products by Accelerated Carbonation Technology. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 7: 203–228.

HAUG, T.A., Munz, I.A. and Kleiv, R.A. (2011). Importance of Dissolution and Precipitation Kinetics for Mineral Carbonation. *Energy Procedia* 4: 5029–5036

LACKNER, K.S., Wendt, C.H., Butt, D.P., Joyce, E.L. and Sharp, D.H. (1995).

Carbon Dioxide Disposal in Carbonate Minerals. *Energy* 20: 1153–1170.

FERNANDES, Diego da Rocha. *Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos: diretrizes jurídico-ambientais para a sustentabilidade*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. [Dissertação]. Natal: Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Rio Grande do Norte; 2015

GOMES, J. C. (Coord.). *CSTO2NE - Biomimicry and Carbon Adsorbent Eco-materials for a Climate-Neutral Economy*. Universidade da Beira Interior. Projeto de pesquisa em captura e armazenamento de carbono e desenvolvimento de eco-materiais para redução de emissões de CO<sub>2</sub>, 2022.

MAHOUTIAN, M., Ghouleh, Z., Shao, Y., 2014. Carbon dioxide activated ladle slag binder. *Constr. Build. Mater.* 66.

LIU, Q., Liu, J., Qi, L., 2016. Effects of temperature and carbonation curing on the mechanical properties of steel slag-cement binding materials. *Constr. Build. Mater.* 124.

WU, H., Zhao, H., Tan, W., Ding, L., Liu, M., Chang, J., 2010. Effects of particle size distribution on steel slag carbonation (in chinese). *J Univ. Jinan: Sci Tech.* 24, 21– 24.

TEIR, S. (2008). *Fixation of Carbon Dioxide by Producing Carbonates from Minerals and Steelmaking Slags*, Doctoral Dissertation, Department of Energy Technology, Helsinki University of Technology.

SANTOS, Pêrsio de Souza. “Ciência e Tecnologia de Argilas: Aplicação às Argilas Brasileiras”, Vols. 1; 2 e 3, Editora Edgard Blücher, São Paulo, hoje na 2ª Edição.

## **SEÇÃO 2: SANEAMENTO, RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE**

A seção dedicada ao saneamento e aos recursos hídricos destaca o papel essencial do planejamento ambiental e da engenharia sanitária na promoção da qualidade de vida e da preservação dos ecossistemas. Os trabalhos abordam o monitoramento da qualidade da água, o tratamento de efluentes e as desigualdades regionais no saneamento básico, enfatizando a necessidade de tecnologias adequadas às condições locais. Essas pesquisas reforçam a importância da integração entre gestão pública, inovação técnica e consciência ambiental na construção de cidades mais sustentáveis. Os artigos que compõem os capítulos desta seção foram os seguintes:

- Estudo comparativo entre os estados da região Nordeste do Brasil com relação à coleta e tratamento de esgoto doméstico
- Análise do sistema de esgotamento sanitário na microrregião do Gerais de Balsas - MA
- Análise geoespacial dos indicadores do sistema de abastecimento de água da microrregião Gerais de Balsas
- Avaliação dos parâmetros de qualidade da água em trechos do Rio das Balsas - Balsas/MA
- Avaliação de efluentes no desenvolvimento de vegetação em áreas de depósito de resíduo de bauxita

## CAPÍTULO 5: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS ESTADOS DA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL COM RELAÇÃO A COLETA E TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO

*Manayara Santos Rodrigues Bezerra<sup>17</sup>; Amanda Paiva Farias<sup>18</sup>; Cláudio Luis de Araújo Neto<sup>19</sup>*

### Resumo

O saneamento básico configura-se como um direito essencial de cada cidadão brasileiro, impactando diretamente a saúde e qualidade de vida da população. No Brasil, o cenário dos serviços de saneamento básico demonstra avanços pouco expressivos, com a região Nordeste refletindo essa realidade. Este estudo teve como objetivo realizar uma análise comparativa dos dados relativos à coleta e ao tratamento de esgoto na região Nordeste para o ano de 2022. A pesquisa avaliou os indicadores de coleta de esgoto, população atendida com coleta de esgoto, volume total de esgoto coletado, volume total de esgoto tratado, e cobertura de tratamento de esgoto. Além disso, foram analisados aspectos demográficos e geográficos dos estados nordestinos, tais como população, extensão territorial, densidade demográfica e número de municípios. Os resultados evidenciaram que grande parte dos estados nordestinos enfrenta sérias dificuldades em relação à coleta e ao tratamento de esgoto. A Bahia destaca-se positivamente quando comparada aos demais estados da região, já o Estado de Alagoas, apenas 22% da população possui acesso ao esgotamento sanitário, ilustrando o quadro deficitário que persiste na região. O Maranhão também demonstra resultados insatisfatórios, tratando apenas 40% do esgoto coletado.

**Palavras-chave:** saneamento básico, SNIS, efluente doméstico.

### 1 Introdução

O consumo de água e o crescimento populacional está diretamente relacionado à geração do esgoto, em que se estima que para cada 100 litros de água consumida é lançado aproximadamente 80 litros de esgoto na rede coletora (Brasil, 2019). Conforme o avanço populacional, se faz cada vez mais necessário a implementação ou adaptação do serviço de saneamento básico, que pode ser compreendido de acordo com a Política Nacional de Saneamento Básico, instituída pela Lei nº 14.026 (Brasil, 2020) como o conjunto de serviços públicos,

---

<sup>17</sup> Graduando em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Maranhão (UFMA). MA 140, KM 04, Balsas/MA, e-mail: manayarabezerra@gmail.com

<sup>18</sup> Doutora em Engenharia Civil e Ambiental (UFMA) e Professora do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Maranhão (UFMA). MA 140, KM 04, Balsas/MA.

<sup>19</sup> Doutor em Engenharia Civil e Ambiental (UFMA) e Professor do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Maranhão (UFMA). MA 140, KM 04, Balsas/MA.

infraestruturas e instalações operacionais de: abastecimento de água potável; esgotamento sanitário; limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. No Brasil, o saneamento básico ainda não conseguiu atingir toda a sua população, conforme o Trata Brasil (2023) cerca de 90 milhões de pessoas não tinham coleta de esgoto, que representava no ano, 44,5% da população total do país.

Um dos serviços do saneamento básico é a coleta e o tratamento do esgoto gerado, sendo ele doméstico ou industrial. Em que, elevados níveis de compostos orgânicos, incluindo teores de toxicidade advindos dos esgotos não tratados e lançados ao meio ambiente de forma indevida, acarretam na contaminação dos solos e das águas, interferindo nas produções agrícolas, na biota aquática, na qualidade das águas, influenciando diretamente na vida humana (Trata Brasil, 2023). De forma isolada, a coleta de esgoto não anula os efeitos que podem ser causados pelo efluente. É necessário, junto a coleta, o tratamento adequado para este efluente, conforme suas características, para que atinja os parâmetros permitidos para o lançamento em corpos hídricos, conforme a Resolução CONAMA N° 430/2011.

O Nordeste brasileiro é uma das maiores regiões do país e apresenta uma grande diversidade populacional e cultural entre os estados. Dessa forma, a caracterização dos 9 Estados que compõem a região Nordeste é de grande relevância para uma melhor análise dos dados obtidos relacionados ao esgotamento sanitário.

O presente trabalho é de suma importância na quantificação dos dados levantados pelo SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento) para que haja um melhor entendimento do cenário atual da região nordeste quanto ao esgotamento sanitário, comparando com a situação entre os estados. Com isso, o objetivo principal deste trabalho foi realizar um comparativo entre os estados que compõem a região Nordeste do Brasil em relação a coleta e tratamento de esgoto.

## 2 Metodologia

Inicialmente realizou-se a caracterização dos Estados que compõem a região Nordeste do Brasil por meio da coleta de dados do Instituto Brasileiro de

Geografia e Estatística – IBGE (2024), contendo informações atualizadas do último censo, correspondendo ao ano de 2022. Essas informações são importantes para auxiliar na compreensão da dinâmica do saneamento básico, em específico do esgotamento sanitário, na região em estudo. Após o levantamento dos estados nordestinos em relação à extensão territorial, população total, densidade demográfica e total de municípios, foi realizado o levantamento dos dados de coleta e tratamento de esgoto desses respectivos estados, sendo utilizado as informações mais recentes disponibilizadas no site do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento) referente ao ano de 2022. Para a base de dados disponibilizada, foi realizada a leitura com o auxílio do software Excel. Dessa forma, foi realizado o primeiro contato com os dados, sendo possível verificar quais informações o conjunto de dados continha e quais eram relevantes para o presente estudo. Todas as análises de dados foram realizadas com o auxílio do software RStudio que utiliza a linguagem de programação R sendo usado na limpeza, tratamento e análise dos dados em diversas áreas de pesquisa, assim como na própria elaboração de mapas.

Os indicadores do SNIS utilizados no estudo foram ES001 - População total atendida com esgotamento sanitário, ES005 - Volume de esgotos coletado e ES006 - Volume de esgotos tratado. Para os municípios que não possuíam informações nos indicadores, foi feita a remoção dessas cidades do conjunto de dados e no cálculo de porcentagem de municípios de cada estado foi levado em consideração o total de cidades subtraindo essas cidades sem informações, para uma maior representatividade dos valores. Foi analisado o total de municípios sem informação sobre coleta de esgoto, o total de municípios sem coleta de esgoto, a população total atendida pelo esgotamento sanitário, o volume total de esgoto coletado, o volume total de esgoto tratado, o índice de tratamento de esgoto em relação a coleta e o índice de população atendida em relação a população total de cada estado.

### 3 Resultados e Discussão

Conforme o panorama territorial e populacional dos Estados do Nordeste (Tabela 1), os Estados de Alagoas, Sergipe e Pernambuco, são os que evidenciam um processo de concentração populacional mais acentuado, o que

pode estar relacionado a fatores históricos, econômicos e urbanos. Em contrapartida, os Estados do Piauí, Maranhão e Bahia apresentam menores densidades, implicando em áreas com baixa ocupação humana, o que sugere uma relação com as dinâmicas de dispersão territorial. Essa dispersão populacional pode dificultar o acesso aos serviços de saneamento básico e/ou aumentar os custos relacionados à sua prestação.

Tabela 1 - Panorama territorial e populacional dos Estados do Nordeste

<b>Estados</b>	<b>Extensão territorial (km<sup>2</sup>)</b>	<b>População total (hab)</b>	<b>Densidade demográfica (hab/km<sup>2</sup>)</b>	<b>Total de municípios</b>
<b>Alagoas</b>	27.830,611	3.127.683	112,38	102
<b>Bahia</b>	564.760,429	14.141.626	25,04	417
<b>Ceará</b>	148.894,447	8.794.957	59,07	184
<b>Maranhão</b>	329.651,496	6.775.805	20,55	217
<b>Paraíba</b>	56.467,242	3.974.687	70,39	223
<b>Pernambuco</b>	98.067,877	9.058.931	92,37	185
<b>Piauí</b>	251.755,481	3.271.199	12,99	224
<b>Rio Grande do Norte</b>	52.809,599	3.302.729	62,54	167
<b>Sergipe</b>	21.938,188	2.210.004	100,74	75

Fonte: Adaptado do IBGE (2022).

Conforme ilustrado na Tabela 1, os dados refletem algumas particularidades que desafiam o planejamento de políticas públicas que atendam especificamente às necessidades de cada Estado. A alta densidade populacional, implica em uma demanda crescente por infraestrutura urbana e serviços públicos, enquanto nas regiões de baixa densidade, as questões internas envolvem a superação de barreiras logísticas e a promoção de integração territorial. A Figura 1 apresenta o mapa com valores para os municípios que não cadastraram nenhuma informação sobre coleta de esgoto.

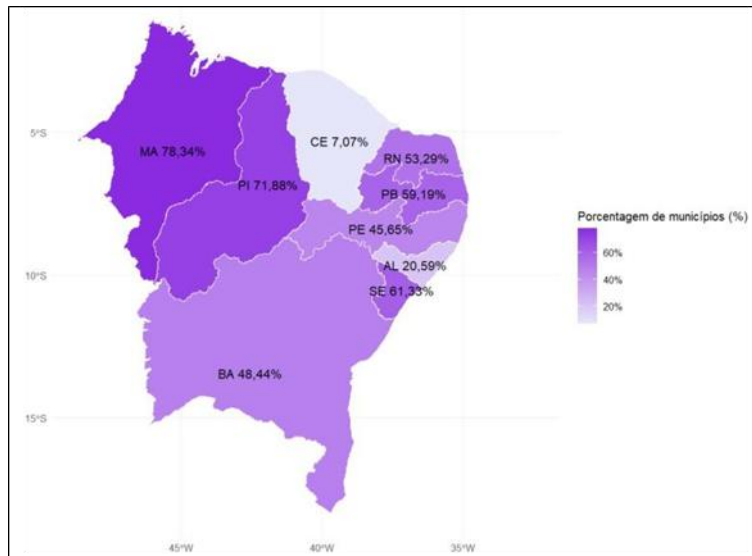


Figura 1 - Total de municípios sem informação sobre coleta de esgoto na região Nordeste no ano de 2022

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Analisando os dados obtidos de forma proporcional ao total de municípios de cada estado, percebe-se que o Maranhão está em primeiro lugar quanto a falta de informações, um total de 170 municípios do estado não cadastraram os dados sobre coleta de esgoto, representando cerca de 78,34% das cidades maranhenses. O segundo e terceiro estado com maior ausência de informações foi o Piauí, com 161 municípios (71,88%) e o Sergipe com 46 municípios (61,33%), respectivamente.

Esses valores podem ser entendidos olhando o panorama dos estados. O Maranhão, por exemplo, apresenta uma extensão territorial considerável e muitas cidades pequenas que podem deixar de responder informações sobre coleta devido à falta de pessoas qualificadas para quantificar os dados e enviar ao SNIS. Já quando analisado o estado do Sergipe, percebe-se a possível explicação que considera a extensão territorial e quantidade elevada de cidades não se enquadra neste Estado e mais da metade dos seus municípios não informaram os dados sobre coleta de esgoto.

Na Figura 2 é possível observar o percentual de municípios, em cada Estado, que não apresentam nenhum tipo de coleta de esgoto.

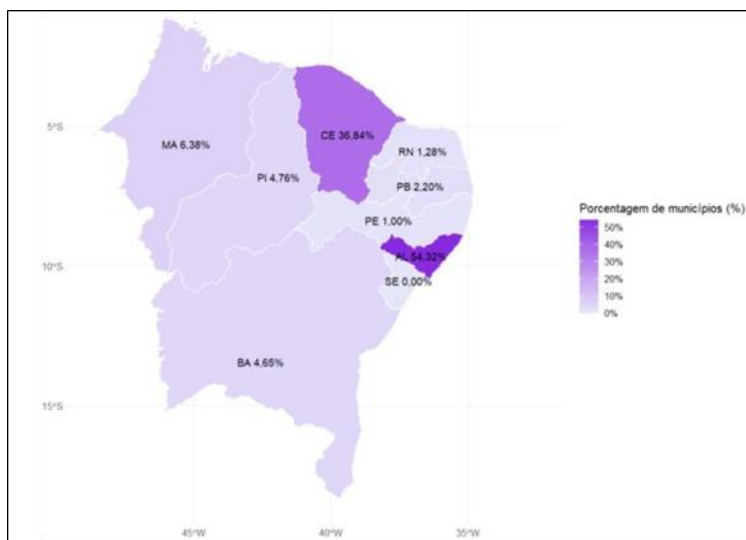


Figura 2 - Total de municípios sem coleta de esgoto na região Nordeste no ano de 2022.  
Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Na Figura 2, tem-se os três principais Estados com a menor quantidade de coleta de esgoto, sendo em primeiro lugar Alagoas, com um total de 44 municípios que representam 54,32% do total de cidades do Estado. Em segundo e terceiro, tem-se o Ceará, com 63 municípios de 171 ao todo (36,83%) e o Maranhão, com 6,38%, respectivamente. Somente o Estado de Sergipe apresenta o índice de 0%, dessa forma, todos os municípios do estado, com exceção aos que não informaram valores, apresentam coleta de esgoto.

Em relação a quantidade de população que é atendida pela coleta de esgoto, a Figura 3 apresenta os resultados obtidos.

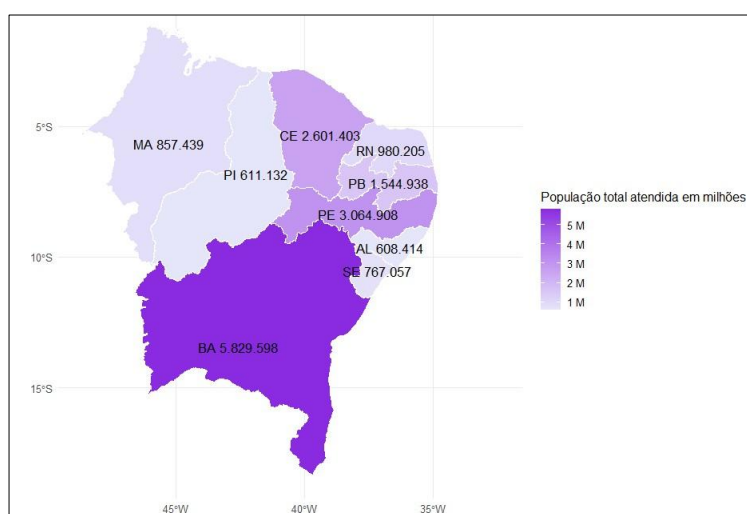


Figura 3 - População total atendida com coleta de esgoto na região Nordeste no ano de 2022

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Observa-se que a Bahia é o estado com maior parcela da população atendida pelo esgotamento sanitário, um total de mais de 5,8 milhões de pessoas, sendo um valor elevado se comparado aos demais Estados, quase 2 milhões a mais que Pernambuco, que é o segundo Estado com maior cobertura de coleta de esgoto (3 milhões de pessoas). Em terceiro lugar, o Ceará com um total de aproximadamente 2,6 milhões de pessoas atendidas com a coleta. A Figura 4 apresenta a análise do volume total de esgoto coletado na região Nordeste.

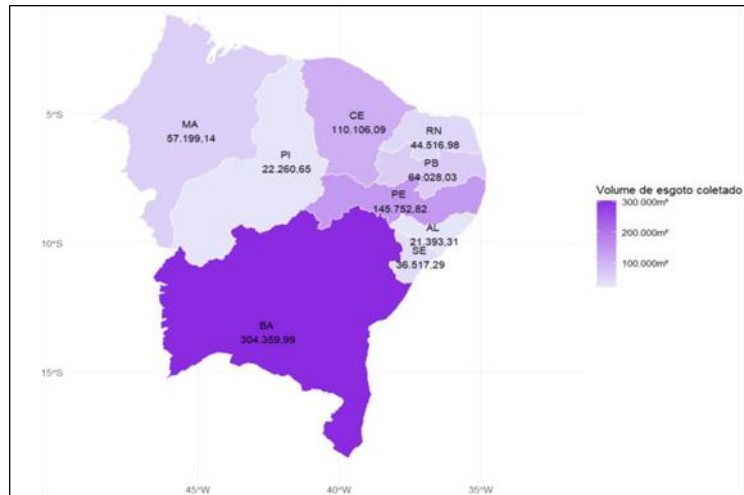


Figura 4 - Volume total de esgoto coletado na região Nordeste no ano de 2022 Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Percebe-se que a Bahia apresenta a maior quantidade de esgoto coletado, como seria esperado devido a quantidade de população atendida pelo esgotamento sanitário conforme apresentado na Figura 3. Foram coletados no ano de 2022, na Bahia, cerca de 300 mil m<sup>3</sup> de esgoto doméstico. Seguido do Estado de Pernambuco com cerca de 145 mil m<sup>3</sup> de esgoto coletado e o Estado do Ceará com 110 mil m<sup>3</sup>. O estado com menor quantidade de esgoto coletado é Alagoas, com cerca de 21 mil m<sup>3</sup>, sendo esperado esse valor quando analisada a quantidade de população atendida que também se mostra inferior aos demais estados. A Figura 5 apresenta os resultados obtidos para o indicador de esgoto tratado.

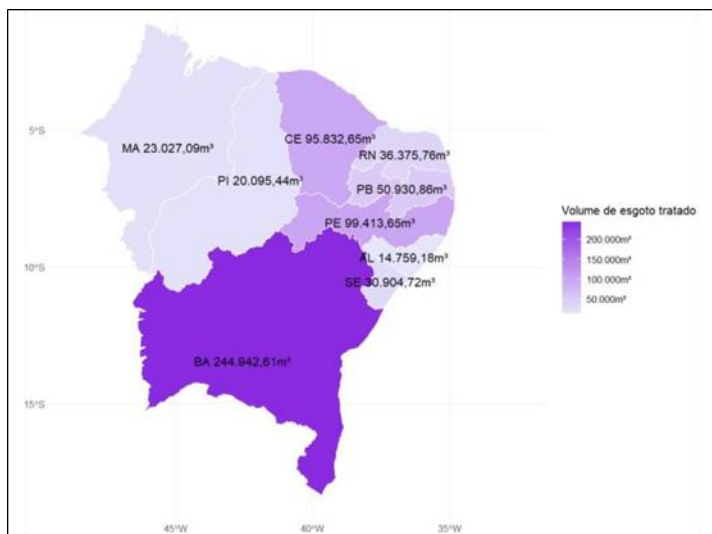


Figura 5 - Volume total de esgoto tratado na região Nordeste no ano de 2022.  
Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Na Figura 5, observa-se que a Bahia, Pernambuco e Ceará são os que apresentam maior cobertura dos serviços de tratamento de esgoto na região Nordeste. Se os Estados foram os que mais coletaram esgoto no ano analisado, seria previsível que eles fossem os que mais tratam o efluente, porém percebe-se que os valores de tratamento são abaixo do valor coletado, sendo o correto que os valores de coleta e tratamento fossem iguais, onde todo o esgoto coletado é tratado para que os princípios do saneamento básico fossem seguidos.

A Figura 6 apresenta uma visualização para um melhor entendimento da proporção de coleta e tratamento de esgoto nos Estados da região Nordeste.

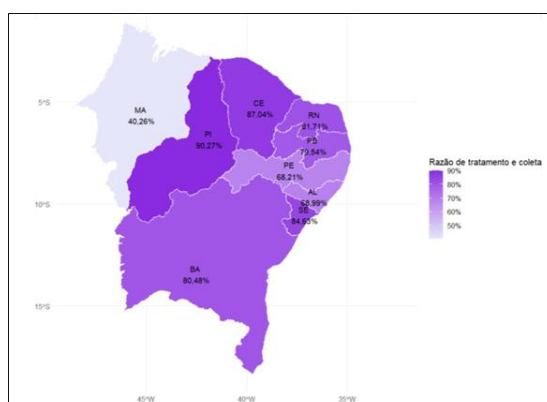


Figura 6 - Índice de tratamento de esgoto em relação à coleta nos estados da região Nordeste no ano de 2022

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Pode ser observado uma diferença de resultados entre as análises de coleta

e tratamento de esgoto e o percentual de tratamento em relação a coleta. Nos dados de coleta e tratamento (Figuras 4 e 5), os Estados da Bahia, Pernambuco e Ceará se destacaram, porém, ao analisar a proporção entre esses dois indicadores, observa-se na Figura 6, que o Estado do Piauí apresenta uma taxa maior de tratamento em relação a coleta, cerca de 90,27% do esgoto é tratado. Seguido pelo Ceará com 87,04% e Sergipe com 84,83%.

Ao analisar o índice de população atendida com esgotamento sanitário em relação a população total de cada estado, tem-se a Figura 7 que apresenta o mapa com os resultados obtidos.

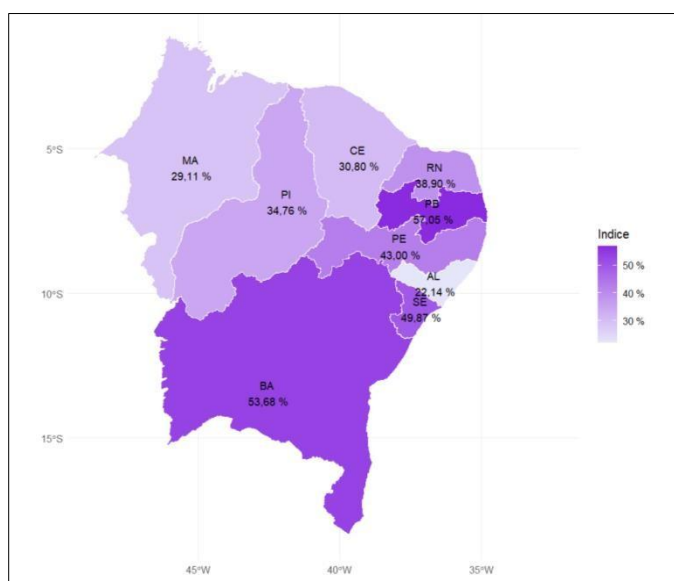


Figura 7 - Índice de população atendida com esgotamento sanitário em relação a população total dos estados da região Nordeste no ano de 2022.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Observa-se que os 3 Estados com maior índice de população atendida são, em primeiro lugar a Paraíba, com cerca de 57% da população atendida com esgotamento sanitário, em segundo lugar o estado da Bahia, com 53,68% e por fim, Sergipe com 49,87%.

#### 4 Considerações Finais

Ao analisar os dados para o ano de 2022 dos Estados que compõem a região Nordeste, percebe-se ainda a necessidade de ampliação dos programas de saneamento básico. A Bahia é o único estado da região Nordeste que apresenta valores favoráveis quanto à coleta e o tratamento do esgoto quando comparado aos demais. Porém a Bahia apresenta esse panorama quando comparado aos Estados do Nordeste, talvez essa perspectiva mude quando comparado aos demais Estados

do Brasil.

Alagoas mostra valores baixos como na análise da porcentagem de água consumida que é coletada como esgoto, somente 8% da água em todo o Estado que é convertida em efluente é coletada. O Maranhão apresenta resultados que precisam de melhorias também, quando comparado o volume de esgoto coletado e tratado, o Estado fica atrás dos demais, apresentando um tratamento de somente 40% do esgoto que foi coletado. Todos os dados indicaram que a região Nordeste ainda tem muito o que melhorar no esgotamento sanitário e essa melhoria irá trazer benefícios para a população, reduzindo assim doenças de veiculação hídrica e possíveis mortes.

## Referências

BARROS, Gabriela Abreu. **Estudo comparativo dos índices de saneamento básico de quatro municípios do semiárido brasileiro: Campina Grande (PB), Caruaru (PE), Mossoró (RN) e Sobral (CE)**. 2021.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Novo Marco Legal do Saneamento Básico. Brasil, 2020. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm). Acesso em: maio. 2024.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. Manual de Saneamento. 5. ed. ver. – Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução Nº 430 de 13/05/2011 - Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. 2011. Acesso em: 10 dez. 2015.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Brasileiro de 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2024.

Instituto Trata Brasil. Guia do Saneamento. 2023. Disponível em <https://tratabrasil.org.br/guia-do-saneamento/>. Acesso em: maio 2024.

RODRIGUES, Bruno Timóteo et al. **Sistema de esgotamento sanitário de Maceió-AL em relação à sua quantidade populacional**. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, Foz do Iguaçu, PR, 2013.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2022. Disponível em [www.snis.gov.br](http://www.snis.gov.br), Acesso em: maio 2024.

## CAPÍTULO 6: ANÁLISE DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO NA MICRORREGIÃO DO GERAIS DE BALSAS - MA

Eliza Vitoria Silva de Melo<sup>20</sup>; Allan Almeida Bastos; Carla Caroline Alves Carvalho<sup>21</sup>; Amanda Paiva Farias<sup>22</sup>; & Claudio Luis De Araujo Neto<sup>23</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Maranhão, Coordenação do Curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, [eliza.vitoria@discente.ufma.br](mailto:eliza.vitoria@discente.ufma.br)

### Resumo

O estudo analisou o sistema de esgotamento sanitário na microrregião dos Gerais de Balsas (MA), evidenciando deficiências significativas na cobertura e no tratamento de esgoto. Utilizando dados do SNIS de 2022, constatou-se que a maioria dos municípios apresenta índices inferiores à média estadual e nacional, com destaque negativo para a ausência de tarifas. Apenas dois municípios trataram 100% do esgoto coletado. A análise reforça a necessidade de investimentos estratégicos e políticas públicas para ampliação e qualificação do saneamento básico na região, promovendo melhorias na saúde pública e na preservação ambiental.

**Palavras-chave:** Saneamento básico, SNIS, esgoto doméstico.

### 1 Introdução

O saneamento básico no Brasil ainda não é um serviço efetivo que toda população tem acesso às infraestruturas que o compreende. O esgotamento sanitário é um desses serviços, onde 44,2% da população ainda não possui rede de esgoto e 47,8% do efluente coletado por essa infraestrutura não é tratada, segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNISA (2022). A NBR 9649 (ABNT, 1986) traz parâmetros e define esgoto sanitário como “despejo líquido constituído de esgoto doméstico e industrial, água infiltração e sua contribuição pluvial parasitária”. Em âmbito nacional, os serviços de esgotamento sanitário estão contemplados na Lei Federal 11.445, de 2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico.

Nesse sentido, projetos de tratamento de esgotos são essenciais para a saúde pública e a preservação ambiental. Souza et al (2015) afirma que eles ajudam a prevenir doenças ao eliminar patógenos da água, melhorando a qualidade de vida

<sup>20</sup> [eliza.vitoria@discente.ufma.br](mailto:eliza.vitoria@discente.ufma.br), Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, CCBL-UFMA

<sup>21</sup> [cca.carvalho2ufma.br](mailto:cca.carvalho2ufma.br), Curso de Engenharia Civil, CCBL-UFMA

<sup>22</sup> [arias.almeida@ufma.br](mailto:arias.almeida@ufma.br), Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, CCBL-UFMA

<sup>23</sup> [claudio.neto@ufma.br](mailto:claudio.neto@ufma.br), Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, CCBL-UFMA

da população. Os autores afirmam ainda que esses projetos reduzem a poluição dos corpos d'água, contribuindo para a sustentabilidade, e auxiliando o uso responsável dos recursos hídricos. Em resumo, são fundamentais para um desenvolvimento social sustentável e saudável.

Segundo dados SINSA (2020) o estado do Maranhão é um dos mais escassos do país quando se analisa os indicadores de esgoto. O relatório ainda conclui que dos 7,1 milhões de moradores do estado, apenas 13,8% habitavam em residências com sistema de rede de coleta de esgoto e 13,6% do volume de esgoto gerado no estado era tratado. O objetivo desse trabalho visa analisar o sistema de esgotamento sanitário na microrregião dos Gerais de Balsas - Maranhão. A microrregião dos Gerais de Balsas situa-se na mesorregião sul maranhense, constituída por cinco municípios: Alto Parnaíba, Balsas, Feira Nova do Maranhão, Riachão e Tasso Fragoso.

## 2 Metodologia

Para alcance do objetivo, essa pesquisa adotou como metodologia a coleta de dados do ano de 2022 no Sistema Nacional de Informações - SNIS, que é um sistema administrado pelo Governo Federal vinculado ao Ministério das Cidades, tomando como foco indicadores de esgoto, sendo eles: tarifa de esgoto, coleta esgoto, coletado tratado, atendimento urbano (não contém dados), e atendimento total. Dentro da microrregião analisada, o município de Feira Nova do Maranhão está fora do estudo pois não foram disponibilizados os referidos dados no SNIS.

## 3 Resultados e Discussão

Os pagamentos de tarifa/taxa de esgoto (Figura 1) apresenta um papel de grande importância na difusão da saúde pública, na preservação ambiental e de uma região ou país.



Figura 1 - Tarifa de esgoto  
Fonte: Autores, 2024.

Na Figura 1, nota-se que não há cobrança de tarifa de esgoto nos municípios da microrregião do Gerais de Balsas, com exceção da cidade de Alta Parnaíba, apresentando R\$ 2,40 reais por metro cúbico gerado. Esse dado, é inferior as médias do estado, Região e país. A média do estado do Maranhão que apresenta um valor de R\$ 4,68 reais por metro cúbico, a qual é menor que média cobrada na região Nordeste, que é de 4,76, que por sua vez é maior que a taxa média cobrada no Brasil é de R\$ 4,56. Dessa forma, fica evidente a falta de saneamento básico.

A coleta esgoto (Figura 2) é de suma importância para que evite a poluição de rios, mares, fontes de abastecimento de água.

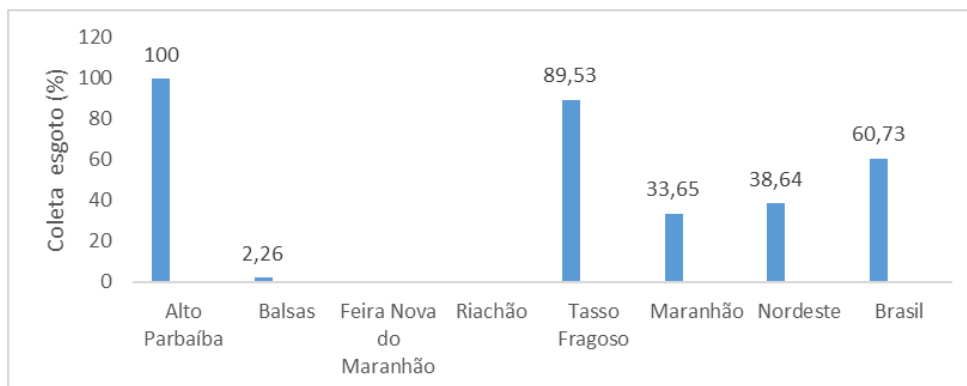


Figura 2 - Coleta esgoto  
Fonte: Autores, 2024.

Ao analisar a Figura 2, percebe-se o destaque positivo das cidades de Alto Parnaíba e Tasso Fragoso com a porcentagem de esgoto coleta superior as demais cidades em questão, Riachão e Balsas possui um resultado negativo. O Estado do Maranhão apresentou a menor porcentagem sendo comparada a região Nordeste e o Brasil. A porcentagem do Brasil mostrou-se eficiente por ser em escala maior.

Para o esgoto coletado tratado (Figura 3) possui relevância de condições adequadas que podem favorecer para a proliferação de inúmeras doenças parasitárias e infecciosas além da degradação do corpo da água.

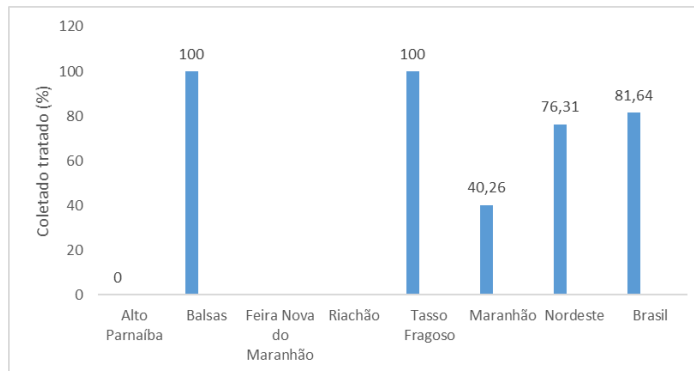


Figura 3 - Esgoto coletado tratado.

Fonte: Autores, 2024.

Percebe-se que o município de Balsas e Tasso fragoso obtiveram resultados positivos quanto ao esgoto tratado, apresentando sua porcentagem em ambas de 100%, enquanto os demais municípios demonstraram resultados negativos ou sequer nenhum tratamento. Comparando a Região Nordeste com o estado do Maranhão, relevou-se uma diferença expressiva sendo o Estado com porcentagem inferior a Região Nordeste, já em relação com Brasil que se mostrou com porcentagem em coleta superior, ficando atrás somente dos municípios da microrregião.

Na avaliação do atendimento total, a Figura 4 mostra que apenas um município, Riachão, entre todos analisados não possui atendimento total.

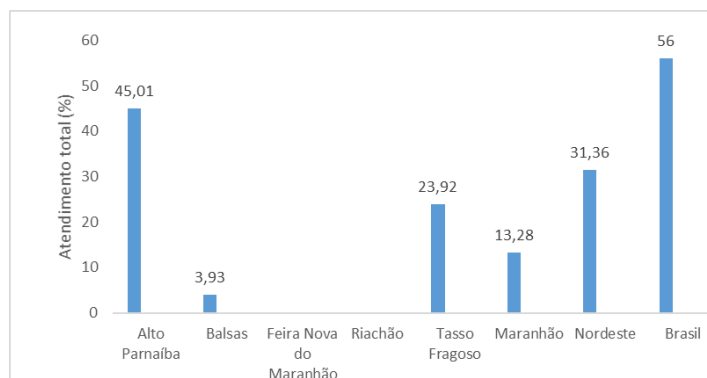


Figura 4 - Atendimento total

Fonte: Autores, 2024.

Com base nos dados acima, o município de Balsas tem o menor índice de

atendimento total com o valor de 3,93%. Enquanto Alto Parnaíba apresenta o maior índice equivalendo a 45,01% superando os dados do município de Tasso Fragoso, assim como o estado do Maranhão e a região Nordeste. Percebe-se que a média do Brasil obteve destaque positivo em relação ao demais analisados, ou seja, seu índice no atendimento total ultrapassou a cidade de Tasso Fragoso.

#### 4 Considerações Finais

Por meio da pesquisa realizada, observa-se que Análise de Atendimento sobre o Esgotamento Sanitário dos municípios dentro da Microrregião Gerais de Balsas está deficiente, mostrando resultados negativos, é até mesmo sem resultados. Dessa forma, é necessário que governantes utilizem meios para melhoria da coleta e tratamento do esgoto, tanto nos municípios da microrregião como no Estado do Maranhão, Região Nordeste e o Brasil, para que dessa maneira se tenha resultados satisfatórios.

De acordo com análise deste artigo precisa-se cobrança de tarifa, para que haja investimento no Sistema de Esgotamento, assim, o serviço seja executada da melhor forma possível.

#### Referências

COLETA de esgoto. Disponível em: <https://www.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=50>. Acesso em: 15 jul. 2024.

IMPORTÂNCIA tratamento de esgoto. Disponível em: <https://www.sanesul.ms.gov.br/importancia-do-tratamento-de-esgoto>. Acesso em: 15 jul. 2024.

SANEAMENTO em pauta. Disponível em: <https://blog.brkambiental.com.br/tarifa-de-esgoto/>. Acesso em: 15 jul. 2024.

SINISA. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa>. Acesso em: 10 jul. 2024.

SOUZA, Cezarina Maria Nobre et al. **Saneamento: promoção da saúde, qualidade de vida e sustentabilidade ambiental**. SciELO-Editora FIOCRUZ, 2015.

## CAPÍTULO 7: ANÁLISE GEOESPACIAL DOS INDICADORES DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA MICRORREGIÃO GERAIS DE BALSAS

*Guilherme dos Santos*<sup>24</sup>; *Amanda Paiva Farias*<sup>25</sup>; *Claudio Luís de Araújo Neto*<sup>26</sup>

### Resumo

Este estudo analisa os principais indicadores do sistema de abastecimento de água na microrregião Gerais de Balsas, utilizando o software ArcGIS Pro para avaliar cinco indicadores referentes a 2022: tarifa média de água, índice de perdas na distribuição, consumo médio per capita, índice de atendimento total e percentual de hidrometração. As informações foram obtidas do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), que fornece dados sobre a gestão e a qualidade dos serviços de água e esgoto no Brasil, contribuindo para a melhoria dos serviços de abastecimento na região. Os resultados revelaram que Balsas apresentou a maior cobertura de abastecimento, atingindo mais de 80%, enquanto os demais municípios registraram índices de cobertura inferiores às médias nacional e regional, refletindo desigualdades na distribuição dos serviços. O emprego de ferramentas geoespaciais e a ampliação da base de dados são fundamentais para diagnósticos eficientes e para o desenvolvimento de políticas públicas que promovam a equidade no acesso ao saneamento e na gestão de recursos hídricos na região.

**Palavras-chave:** Geoprocessamento, Abastecimento, Microrregião, Balsas

### 1 Introdução

A qualidade de vida da população está diretamente ligada às suas condições de existência e ao acesso a determinados bens e serviços socioeconômicos, como emprego, renda, educação, alimentação adequada, serviços de saúde de qualidade, saneamento básico, habitação e transporte, entre outros. A falta de saneamento básico é uma das principais causas de degradação ambiental, além de prejudicar a qualidade de vida das pessoas, tanto nas áreas urbanas quanto rurais (Adriano et al., 2000; Araújo et al., 2015; De Araújo et al., 2016).

A Lei nº 11.445 (Brasil, 2007), com as atualizações trazidas pela Lei nº 14.026 (Brasil, 2020), define saneamento básico como o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais relacionadas ao abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, além da drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. A prestação desses serviços

<sup>24</sup> guilherme.santos.uf@gmail.com, Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, CCBL-UFMA

<sup>25</sup> farias.amanda@ufma.br, Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, CCBL-UFMA

<sup>26</sup> claudio.neto@ufma.br, Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, CCBL-UFMA

segue uma abordagem integrada, que articula os quatro componentes do saneamento com políticas de desenvolvimento urbano e regional, habitação, combate e erradicação da pobreza, proteção ambiental, promoção da saúde, gestão de recursos hídricos e outras áreas de interesse social, visando à melhoria da qualidade de vida em que o saneamento básico desempenha um papel fundamental (SNIS, 2023).

Este estudo tem como objetivo analisar os principais indicadores do sistema de abastecimento de água da microrregião Gerais de Balsas por meio de ferramentas de geoprocessamento, utilizando o software ArcGIS Pro. Para isso, foram avaliados cinco indicadores: a tarifa média de água (R\$/m<sup>3</sup>), o índice de perdas na distribuição (%), o consumo médio per capita de água (l/hab./dia), o índice de atendimento total de água (%) e o percentual de hidrometração (%), todos referentes ao ano de 2022.

Os indicadores avaliados neste artigo foram obtidos a partir do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), instituído pelo governo federal em 1996. Esse sistema é sustentado por um banco de dados gerido em âmbito federal, contendo informações institucionais, administrativas, operacionais, gerenciais, econômico-financeiras e de qualidade referentes à prestação de serviços de água, esgoto e manejo de resíduos sólidos (SNIS, 2023).

## 2 Materiais e Métodos

### 2.1 Área de Estudo

A área de estudo abrange a microrregião dos Gerais de Balsas, situada no sul do Maranhão. Compreendendo cinco municípios: Alto Parnaíba; Balsas; Feira Nova do Maranhão; Tasso Fragoso; e Riachão. Essa região destaca-se por ter a maior produção agrícola do Estado, especialmente as culturas de soja, milho e algodão. De acordo com o Censo de 2022 (IBGE, 2022), a microrregião possui uma área estimada de 36.666,36 km<sup>2</sup> e uma população de 151.931 habitantes. A Figura 1 apresenta o mapa da localização da Microrregião Gerais de Balsas.

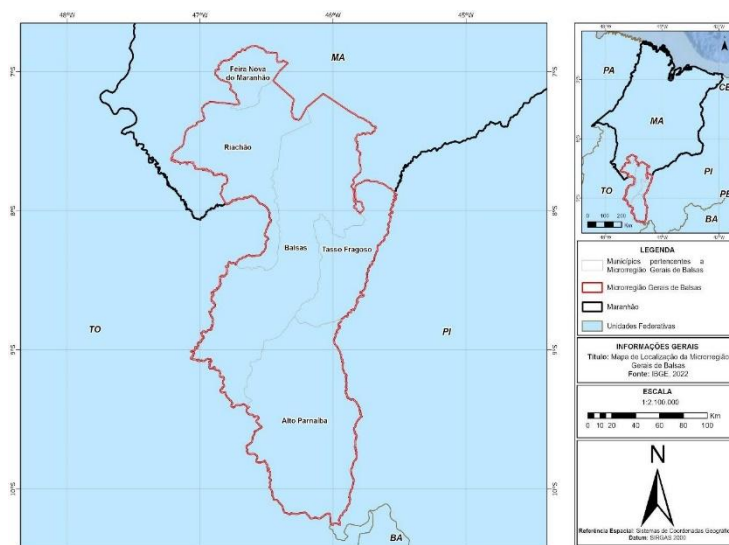


Figura 1: Mapa de Localização da Microrregião Gerais de Balsas.  
Fonte: Autores, 2024.

### a. Procedimento metodológico

Os dados sobre a tarifa média de água (R\$/m<sup>3</sup>), os índices de perdas na distribuição (%), o consumo médio per capita de água (l/hab./dia), os índices de atendimento total de água (%) e o percentual de hidrometração (%) foram obtidos do banco de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), na base de dados de 2022. As malhas territoriais utilizadas para a elaboração dos mapas deste estudo foram adquiridas no site do IBGE, no formato shapefile.

Na etapa seguinte, foram empregadas ferramentas de geoprocessamento para a análise dos dados e a confecção dos mapas de localização e indicadores do sistema de abastecimento de água na microrregião Gerais de Balsas. Um banco de dados geoespaciais foi criado no ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), utilizando o software ArcGIS Pro. Por meio de consultas espaciais de intersecção dentro do SIG, foram identificados e processados os dados referentes ao sistema de abastecimento de água da microrregião.

## 3 Resultados e Discussão

A Figura 2 apresenta os mapas dos indicadores do sistema de abastecimento de água da Microrregião Gerais de Balsas, referentes ao ano de 2022.

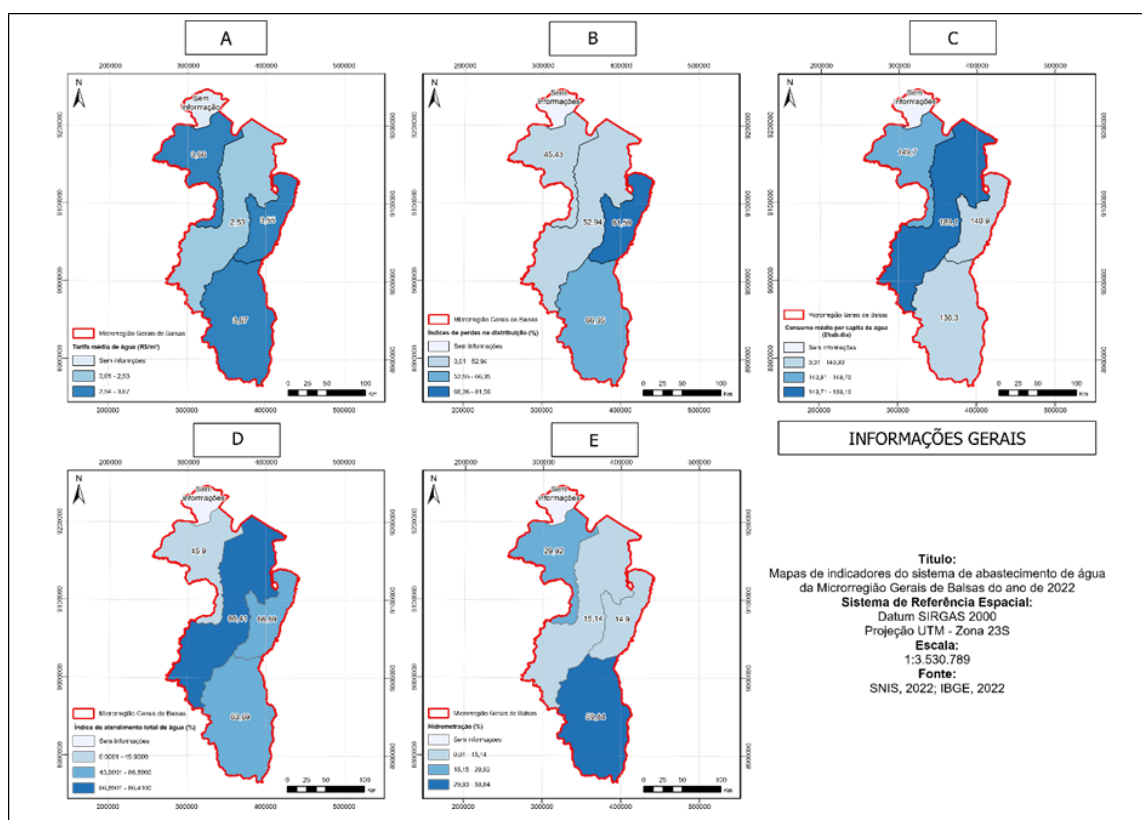


Figura 2 - Mapa de indicadores do sistema de abastecimento de água da Microrregião Gerais de Balsas. A: tarifa média de água (R\$/m<sup>3</sup>); B: perdas na distribuição (%); C: consumo médio per capita de água (l/hab./dia); D: atendimento total de água (%); E: hidrometração (%).  
 Fonte: Autores, 2024.

Nas Figuras 1A, 1B, 1C, 1D e 1E são apresentados os dados sobre a tarifa média de água (R\$/m<sup>3</sup>); perdas na distribuição (%); consumo médio per capita de água (l/hab./dia); atendimento total de água (%); e hidrometração (%), respectivamente.

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (2023), em 2022, a tarifa média de água no Brasil foi de R\$ 5,09/m<sup>3</sup>, enquanto na região Nordeste o valor médio foi de R\$ 5,03/m<sup>3</sup>. Na Microrregião Gerais de Balsas, o município com a menor tarifa média de água foi Balsas, com R\$ 2,53/m<sup>3</sup>, e o maior valor foi registrado em Alto Parnaíba, com R\$ 3,67/m<sup>3</sup>. Vale destacar que o município de Feira Nova do Maranhão não possui dados cadastrados na plataforma do SNIS.

Considerando os municípios da microrregião com informações disponíveis no SNIS, a tarifa média de água na Microrregião Gerais de Balsas foi de R\$ 3,35/m<sup>3</sup>, em 2022, valor inferior à média nacional e a região Nordeste. Valores baixos podem tornar o recurso mais acessível, porém podem comprometer a qualidade dos

serviços prestados.

Quanto aos índices de perdas na distribuição de água, dados do SNIS (2023) indicam que, em 2022, o Brasil registrou uma média de 37,8% de perdas. Na região Nordeste, o percentual de perda foi ainda maior, atingindo 46,7%. Na Microrregião Gerais de Balsas, o município com o maior índice de perdas foi Tasso Fragoso, com 81,59%, enquanto Riachão apresentou o menor percentual de perdas, com 45,43%. A média de perdas na distribuição na microrregião, considerando apenas os municípios com dados cadastrados no SNIS, foi de 61,58% em 2022. Estes valores indicam a necessidade de manutenção do sistema de abastecimento de água visando uma redução das perdas.

Em 2022, o consumo médio per capita de água no Brasil foi de 148,2 litros por habitante por dia. Na Região Nordeste, esse índice foi de 121,4 l/hab.dia, enquanto no estado do Maranhão o consumo médio per capita foi de 149,7 l/hab.dia (SNIS, 2023). Na Microrregião Gerais de Balsas, a média de consumo per capita foi de 154 l/hab.dia. Entre os municípios da microrregião, Balsas registrou o maior consumo per capita, atingindo 189,1 l/hab.dia em 2022. Ao analisar as Figura 1A e 1C, verifica-se uma relação inversamente proporcional entre tarifa média e consumo médio per capita de água. O município de Balsas que possui o maior consumo médio per capita de água foi o que apresentou uma menor tarifa média de água. Já o município do Alto Parnaíba, que apresentou a maior tarifa média de água, foi o que possui o menor consumo médio per capita de água.

Em 2022, o índice de cobertura de abastecimento de água por redes públicas no Brasil foi de 84,9%, atendendo 171.042.954 habitantes. Na região Nordeste, 41,3 milhões de pessoas foram atendidas, representando 76,9% da população, enquanto no estado do Maranhão, o índice foi de 59,5% (SNIS, 2023).

Na microrregião Gerais de Balsas, o município com o maior índice de cobertura de abastecimento de água foi Balsas, com 86,41%, atendendo 87.936 habitantes. Em contraste, o menor índice foi registrado em Riachão, com 45,9%, correspondendo a 10.164 habitantes. No total, a microrregião atende 111.103 habitantes, considerando apenas os municípios com dados disponíveis no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (Alto Parnaíba, Balsas, Riachão e Tasso Fragoso), Feira Nova do Maranhão, não apresenta dados cadastrados no SNIS, no ano de 2022.

No que diz respeito à hidromedidação, entre os municípios da microrregião Gerais de Balsas, Alto Parnaíba apresentou o maior índice, com 59,84%, enquanto Tasso Fragoso registrou o menor índice, com apenas 14,9%. De forma geral, a microrregião possui uma média de hidromedidação de 29,95%.

#### 4 Considerações finais

Conclui-se que, em 2022, a Microrregião Gerais de Balsas apresentou uma situação de saneamento marcada por desigualdades. Além da ausência de dados sobre o município de Feira Nova do Maranhão na plataforma do SNIS, o que prejudica a análise completa do desempenho da microrregião, essa falta de informações revela a necessidade de uma gestão mais eficaz na coleta e disponibilização de dados sobre saneamento básico. Sem esses dados, é difícil obter um diagnóstico preciso e desenvolver estratégias adequadas para melhorar a infraestrutura e os serviços de saneamento, especialmente em localidades como Feira Nova, que precisam de atenção especial para garantir a efetividade das políticas públicas na área.

No que se refere à cobertura de abastecimento de água, Balsas apresentou o melhor desempenho da microrregião, sendo o único município a atingir mais de 80% de cobertura. Em contraste, os demais municípios registraram índices significativamente abaixo das médias nacional e regional, revelando disparidades importantes na distribuição dos serviços de abastecimento e a necessidade de melhorias na infraestrutura para garantir um atendimento mais equitativo em toda a microrregião. O consumo de água per capita na microrregião também superou a média nacional, impulsionado sobretudo pelos elevados níveis de consumo registrados no município de Balsas.

#### Referências

ADRIANO, Jaime Rabelo *et al.* A construção de cidades saudáveis: uma estratégia viável para a melhoria da qualidade de vida?. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 5, p. 53-62, 2000.

ARAUJO, S. C. *et al.* Diagnóstico da realidade do saneamento básico na zona rural do município de Pombal-PB: Uma análise em nível de setor censitário do IBGE. In: **Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas**. 2015. p. 1-8.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais

para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978.

**Diário Oficial da União:** Brasília, DF, 08 jan. 2007.

\_\_\_\_\_. Lei nº 14.026, de 15 de junho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, (...).

ARAÚJO, Sayonara Costa de *et al.* Especialização dos serviços básicos de saneamento na zona rural do município de Pombal, PB. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 3, p. 122-130, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades e Estados**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

\_\_\_\_\_. **Malhas territoriais**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS).

**Diagnostico dos serviços de água e esgoto – 2022.**

\_\_\_\_\_. **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto**. 2023.

## CAPÍTULO 8: AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA EM TRECHOS DO RIO DAS BALSAS - BALSAS/MA

*Estelia Coelho dos Santos; Izodária Rutchely de Oliveira Menezes; Luana Lourenço de Araújo ;  
Mohama Paz de Melo Silva; Rávilla Victória da Conceição Macedo; Samara Lopes Pereira; Dra.  
Ana Paula de Melo e Silva Vaz<sup>27</sup>*

### Resumo

A água, recurso fundamental para a vida, enfrenta crescente pressão em função das atividades humanas. A poluição e as mudanças climáticas comprometem significativamente sua qualidade, exigindo monitoramento constante. Este estudo tem como objetivo avaliar a qualidade da água do Rio das Balsas, localizado em Balsas, Maranhão, através da análise de parâmetros físicos e químicos (Oxigênio Dissolvido – OD), (Potencial Hidrogeniônico – pH) Temperatura e Condutividade elétrica - CE). Os resultados obtidos permitiram identificar se a água analisada atende aos padrões estabelecidos pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA nº 357 de 2005). Além do mais, avaliar a eficácia dos tratamentos e subsidiar a tomada de decisões para a gestão dos recursos hídricos da região. A pesquisa destaca a importância do monitoramento ambiental como ferramenta essencial para garantir a disponibilidade de água potável e segura para diversos usos.

**Palavras-chave:** Monitoramento ambiental, Rio das Balsas, parâmetros físico-químicos.

### 1 Introdução

A água, apesar da sua disponibilidade, vem sofrendo diversos danos em consequência de ações humanas. Isso se confirma quando essas alterações vêm relacionadas a mudanças demográficas, a velocidade e a extensão da globalização e com o desenvolvimento socioeconômico impulsionado pelo avanço tecnológico (Vasconcelos, 2011).

Monitorar a qualidade de corpos hídricos como rios e lagos, surgem como uma ferramenta do ramo científico e do monitoramento ambiental para entender os parâmetros essenciais para identificação da qualidade, bem como, propor medidas de controle e preservação, além de evitar a proliferação de doenças de veiculação hídrica.

O ato de acompanhar o comportamento desses parâmetros se justifica pelo fato de que, segundo Vasconcelos (2011) “A água passou a ser uma preocupação

---

<sup>27</sup> eas.balsas@ufma.br, Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, CCBL-UFMA

crescente não apenas no que se refere à quantidade disponível, mas, principalmente, em relação à sua qualidade, acarretando prejuízos e restrições nos seus usos múltiplos”.

O monitoramento de um corpo hídrico, com o intuito de verificar parâmetros como Condutividade Elétrica (CE), Potencial Hidrogeniônico (pH), temperatura e Oxigênio Dissolvido (OD) são essenciais para a análise de qualidade dessa água. Assim, pode-se relatar, conforme De lima Rodrigues (2010) que a: “avaliação do meio físico de um corpo hídrico é definida como a avaliação da estrutura do habitat físico que influencia a qualidade da água e a condição das comunidades aquáticas que ali residem”.

Dessa forma, a presente pesquisa buscou avaliar quatro parâmetros da qualidade da água: OD, pH, Temperatura e CE de três pontos do Rio das Balsas localizados na área urbana da cidade de Balsas. As medições realizadas poderão servir de base para o melhor entendimento acerca do atual cenário do Rio, entender a relação existente entre a população às margens deste local para com o ambiente, bem como observar o grau de influência de corpos hídricos adjacentes nos resultados obtidos durante as análises realizadas *in-situ* ao longo do período monitorado.

## 2 Desenvolvimento

### 2.1 Caracterização da Área de Estudo

A região sul do estado do Maranhão abriga a Bacia Hidrográfica do Rio das Balsas (BHRDB), onde tem sua nascente na cidade de Balsas-MA e deságua em Benedito Leite, encontrando-se com o rio Paranaíba, que marca a divisa entre Maranhão e Piauí, sendo um de seus afluentes mais importantes (Vaz; Froehner, 2021). A figura 2 mostra a BHRDB.

A área de estudo abordada foi a área urbana do Rio das Balsas, sendo este um dos grandes pontos turísticos da cidade. Balsas possui população de 101.767 pessoas, conforme o último censo do IBGE realizado no ano de 2022 e um território de 13.141,162 km<sup>2</sup> (IBGE, 2022).

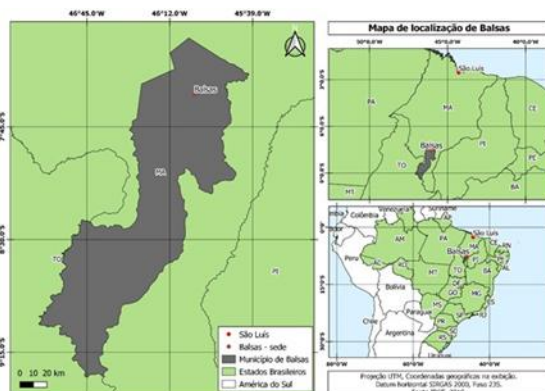


Figura 1 - Localização do município de Balsas.  
Fonte: Macedo (2024).

A figura acima (Figura 1) representa a localização do município de Balsas-MA. A autora Vaz e Froehner (2021) destaca que o município possui clima tropical com inverno seco baseada na classificação de Köppen, em que existe dois períodos do ano bem definidos, sendo eles: período de chuvas que acontecem no mês de janeiro a junho (precipitação com média de 132,6 mm) e período de estiagem entre julho e dezembro (precipitação variando de 3,4 a 159,8 mm). Em outras palavras, o município possui precipitação média anual de 1.216,3 mm e uma temperatura média mensal de 26°C. A vegetação, por sua vez, vai depender de características do relevo, dos cursos de água e da intervenção humana.

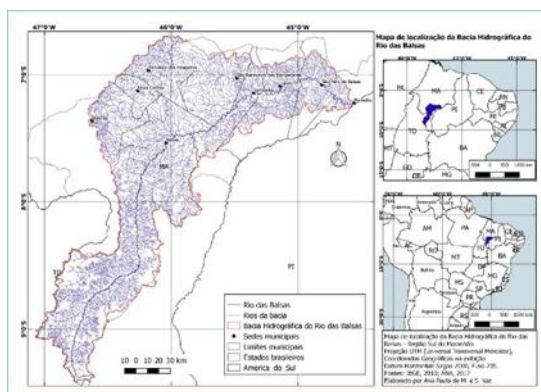


Figura 2 - BHRDB.  
Fonte: Vaz e Froehner (2021).

A da BHRDB (Figura 2) é uma representação dos pontos onde as coletas foram realizadas. O Rio das Balsas tem o curso principal com 533,48 km de extensão, sendo este, pertencente a BHRDB com área de 25.481,42 km<sup>2</sup>, tendo sua

nascente localizada também na cidade (Vaz; Froehner, 2021).

### 3 Metodologia

Aplicou-se como metodologia de estudo a pesquisa de campo para coleta de dados de pH, CE, temperatura e OD. As leituras de parâmetros foram realizadas com o auxílio de um medidor multiparâmetro de modelo AK88 da AKSO, onde foram coletados a partir de uma sonda multiparamétrica. As medições para obtenção dos resultados dos parâmetros foram realizadas em três pontos estratégicos, sendo o primeiro ponto conhecido como Beira Rio, com influência do Riacho Lava Cara ( $7^{\circ}32'09''S$   $46^{\circ}02'16''W$ ), o segundo ponto localizado próximo a régua de medição fluviométrica do rio ( $7^{\circ}32'04''S$   $46^{\circ}02'10''W$ ) e o último localizado próximo ao Caraíbas ( $7^{\circ}32'04''S$   $46^{\circ}02'06''W$ ). Os pontos citados foram monitorados durante cinco sábados alternados e em cada ponto eram realizadas três medições, possibilitando o cálculo da média desses valores para posterior interpretação.

Utilizou-se o Rio das Balsas para realizar as atividades de campo onde as mesmas foram realizadas sempre no período da tarde entre às 14:00 e 15:00 horas. As coletas aconteceram nos dias 13/04, 04/05, 18/05, 01/06 e 15/06 em sábados alternados.

### 4 Resultados e Discussão

Os resultados das análises dos parâmetros envolvendo a qualidade da água, foram baseados na Resolução do CONAMA nº 357 de 2005. Os resultados das variáveis coletadas em cada um dos pontos amostrados nas cinco datas de coletas estão presentes no Quadro 1.

Mediante dados obtidos a partir das coletas, atenta-se que a CE tem o resultado mais expressivo no ponto P1 ( $209,194\mu S$ ), o que nos leva a concluir que possivelmente seja em razão do lançamento mais concentrado de efluentes domésticos provenientes das residências próximas, especialmente pelo P1 estar localizado na saída do Riacho Lava-Cara, riacho este que é utilizado para descarga de esgoto. Ademais, a condutividade elétrica é influenciada pela concentração de resíduos industriais ou domésticos devido a substâncias ionizadas que estão

dissolvidas nesses efluentes (Izarias et al. 2014). Essa condutividade, por sua vez, estabelece quantidade de sais que em grandes proporções podem conduzir eletricidade.

Quadro 1 - Média das variáveis de pH, OD, Temperatura e CE.

DATA	PONTO	pH	OD (mg/l)	T (°C)	CE (µS)
13/04/2024	P1	8,2	9,03	28,7	144,87
	P2	7,07	9,38	27,9	7,57
	P3	7,09	7,6	27,8	7,67
04/05/2024	P1	7,89	7,83	28,9	232
	P2	8,37	8,63	28,2	7,83
	P3	8,16	8,56	28,2	8,3
18/05/2024	P1	6,39	8,13	28,6	231,67
	P2	5,75	8,67	27,9	8,07
	P3	7,99	8,3	27,9	9,07
01/06/2024	P1	6,95	7,47	27,9	210,83
	P2	5,90	9,3	27,2	21,53
	P3	5,62	10,33	26,9	8,67
15/06/2024	P1	6,83	8,56	27,2	226,6
	P2	6,64	8,6	26,3	11
	P3	6,67	8,26	26,4	7,96

Fonte: as autoras, 2024.

Quadro 2 - Médias gerais das 5 medições.

	PONTO	pH	OD (mg/l)	T (°C)	CE (µS)
Médias Gerais	P1	7,25	8,204	28,26	209,194
	P2	6,74	8,916	27,5	11,2
	P3	7,10	8,61	27,44	8,33

Fonte: as autoras, 2024.

A formação geológica do local é um fator que também influencia a condutividade dos corpos de água. Altos índices de condutividade podem ser causados por fontes não pontuais, como águas de drenagem, efluentes de áreas residenciais e urbanas e escoamento superficial, principalmente em áreas áridas e semi-áridas, onde a evapotranspiração excessiva causa o acúmulo de sais. Como fontes localizadas, os efluentes industriais liberam altos teores de íons dissolvidos (Embrapa, 2024).

Com relação ao pH, a Resolução CONAMA 357/05 estabelece que o mesmo deve ser de 6,0 a 9,0 para águas doces da classe 2. Conforme dados coletados de pH, os valores encontrados no Quadro 2 apresentaram pouca variação, estando entre 6,74 e 7,25. Segundo Bento et al. (2021) o pH pode ser influenciado por diversos fatores o que pode dificultar sua interpretação, além de afetar o metabolismo de espécies aquáticas, e ainda potencializar o efeito de substâncias tóxicas, como metais pesados.

Dessa forma, ao analisar a faixa de Potencial Hidrogeniônico estipulado pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/05) e os resultados obtidos a partir das medições realizadas no Rio das Balsas, nota-se que o rio em questão, se encaixa na faixa estipulada pela norma no que se refere a águas destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento convencional como também recreação de contato primário.

A temperatura, por sua vez, apresentou pequenas variações durante todo o período de coleta. Os pontos coletados P2 e P3 apresentaram temperaturas próximas, 27,5°C e 27,44°C respectivamente (Quadro 2), enquanto que para o P1 tem-se uma temperatura média de 28,26°C sendo maior que as demais. Esse fator se dá em função das áreas dos pontos P2 e P3 apresentarem arborização e o ponto P1 receber maior incidência direta de radiação solar.

No que diz respeito ao Oxigênio Dissolvido, a Resolução CONAMA 357/05, estabelece um valor mínimo de oxigênio dissolvido para a preservação da vida aquática, do qual é fixado em 5,0 mg/L. No que se refere a faixa de Oxigênio Dissolvido observada durante as medições, nota-se valores entre 8,2 e 8,9 mg/L. A baixa concentração de OD em um local não indica que a fonte de poluição seja próxima, geralmente está à montante do local da coleta (Vieira, 2019).

Além do mais, baixas concentrações de OD geralmente indicam não só atividade biológica em razão do excesso de nutrientes, como por exemplo, nitratos, fosfatos e matéria orgânica com uma alta demanda de oxigênio biológico (Pozza, 2017), como também águas poluídas por esgotos que apresentam baixa concentração de OD, uma vez que o oxigênio é consumido para degradar a matéria orgânica.

Outro aspecto relevante, é que durante as medições, havia presença de embarcações. Esse fator pode influenciar não só no parâmetro de condutividade

elétrica como também nos níveis de oxigênio dissolvido. Nozaki et al (2014) justifica este comportamento em função dos níveis de concentração do oxigênio dissolvido que podem aumentar devido à turbulência na água, o que gera maior troca de oxigênio do ar e da água. Portanto, atividades que causam movimentações bruscas na água podem ter efeitos variados nos níveis de oxigênio dissolvidos, dependendo das condições locais e da intensidade da agitação.

Uma avaliação dos parâmetros de qualidade da água no trecho urbano do Rio das Balsas mostra que os níveis de Oxigênio Dissolvido atendem aos padrões estabelecidos pelo CONAMA 357/05, indicando boas condições para a vida aquática. As mudanças no pH indicam que as influências externas precisam ser monitoradas. A temperatura da água indicou pequenas variações e dentro de uma faixa segura para a vida aquática. A condutividade elétrica, principalmente no ponto P1, mostrou a presença de íons dissolvidos, evidenciando a necessidade de busca pela fonte de contaminação.

Segundo Carvalho et al. (2020), o planejamento e desenvolvimento de projetos para mitigação e prevenção de problemas ambientais relacionados à qualidade da água devem ser complexos, multidimensionais e multidisciplinares. Isso requer a formulação e implementação de políticas públicas que integrem a gestão da água, gestão ambiental e uso do solo, incluindo políticas setoriais. Diante disso, torna-se necessário considerar que a conformidade dos parâmetros com a norma não garante integralmente a ausência de poluentes. Futuramente, sem intervenções públicas voltadas para a prevenção, conscientização e mitigação dos causadores desses problemas, há o risco de sérios impactos na vegetação nativa que depende de sua preservação e nos habitantes locais que necessitam desse recurso tão precioso.

## 5 Considerações Finais

A qualidade da água do Rio das Balsas, avaliada através dos parâmetros de pH, oxigênio dissolvido, temperatura e condutividade elétrica, revelou um panorama geral satisfatório ao longo das medições realizadas. Os resultados obtidos indicam que os valores de pH encontram-se dentro da faixa recomendada pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces de classe 2, refletindo condições adequadas para o abastecimento público após tratamento convencional e recreação primária.

A variação da temperatura, por sua vez, ao longo das coletas não apresentou alterações significativas, embora o ponto P1 tenha demonstrado temperaturas ligeiramente mais altas devido à exposição solar direta. A condutividade elétrica, revelou valores mais elevados no ponto P1, sugerindo a presença de íons dissolvidos, possivelmente relacionados ao lançamento de efluentes domésticos próximos.

Esses resultados destacam a necessidade de investigar as fontes de contaminação e implementar medidas de gestão ambiental para mitigar impactos futuros. Embora os índices não revelam alterações significativas na qualidade da água, não se deve negligenciar a importância das políticas públicas voltadas para a prevenção de possíveis contaminações irreversíveis no corpo hídrico. Cabe avaliar a metodologia atualmente utilizada para monitorar, controlar e combater o avanço da contaminação das águas para garantir a ausência de futuras contaminações.

A importância do monitoramento ambiental do Rio das Balsas não se limita apenas à avaliação dos parâmetros físico-químicos da água, mas também à conscientização da comunidade local sobre a conservação desse recurso natural essencial. Através da educação ambiental e da promoção de práticas sustentáveis, é possível garantir a preservação deste importante ecossistema para as gerações futuras. Portanto, conclui-se que embora o Rio das Balsas apresente qualidade de água geralmente satisfatória, a manutenção dessas condições requer um esforço contínuo e colaborativo entre governos, instituições e a sociedade civil para proteger e restaurar a saúde deste recurso vital.

## Referências

BRASIL, **Resolução CONAMA nº357, de 17 de março de 2005**. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional.

BENTO, N. L.; RAASCH, L. B.; SILVA, H. C. S.; BARROS, F. M. Impactos do lançamento de efluentes na qualidade das águas do rio Catolé Grande, 2021.

CARVALHO, A. T. F.; CABRAL, J. J. da S. P.; GOUVEIA, R. L.; SELVA, V. S. F. **POLÍTICAS PÚBLICAS E INSTRUMENTOS DE GESTÃO HÍDRICA E AMBIENTAL PARA O RESTABELECIMENTO DE RIOS URBANOS**

**NO BRASIL**. Caderno Prudentino de Geografia, [S. l.], v. 3, n. 42, p. 145–166, 2020. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/7196>. Acesso em: 29 jun. 2024.

DE LIMA RODRIGUES, Aline Sueli; MALAFAIA, Guilherme; CASTRO, Paulo de

Tarso Amorim. **A importância da avaliação do habitat no monitoramento da qualidade dos recursos hídricos: uma revisão**. SaBios-Revista de Saúde e Biologia, v. 5, n. 1, 2010.

Embrapa. **Condutividade**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2024. Disponível em: <<https://www.cnpma.embrapa.br/projetos/ecoagua/eco/condu.html>>. Acesso em 02 jul 2024.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA . **Censo Brasileiro de 2022**. Rio

de Janeiro: IBGE, 2022.

IZARIAIS, N. S.; PERANZONI, A. C. M. KAFER, G. A.; OLIVEIRA, A. M.; SOUZA, A. S.; OLIVEIRA,

E. N.; SANTANA, E. R. **Qualidade das águas em áreas urbanas do Rio Taquari nos municípios de Estrela e Lajeado - RS**. Ciência e Natura, v.36, p. 789-797, 2014.

MACEDO, Rávilla Victória da Conceição. **Avaliação dos Impactos Ambientais produzidos por um supermercado na cidade de Balsas-MA**. 2024.

NOZAKI, Cássia Tiemi et al. **Comportamento temporal do oxigênio dissolvido e pH nos rios e córregos urbanos**. Atas de Saúde Ambiental-ASA (ISSN 2357-7614), v. 2, n. 1, p. 29-44, 2014.

POZZA, Simone Andréa; SANTOS, Carmenlucia. **Monitoramento e caracterização ambiental**. 2017.

VASCONCELOS, Vanilda de Magalhães Martins; SOUZA, Claudinei Fonseca. **Caracterização das parâmetros de qualidade da água do manancial Utinga, Belém, PA, Brasil**. Ambiente &

Água-Uma Revista Interdisciplinar de Ciências Aplicadas , v. 2, pág. 605-624, 2011.

VAZ, Ana Paula de Melo e Silva; RAMOS, Sandra Martins; FROEHNER, Sandro José. **Bacia hidrográfica do rio Balsas: diagnóstico físico e avaliação qualitativa de áreas suscetíveis à erosão**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 26, n. 1, p. 77-87, 2021.

VIEIRA, Maurrem Ramon. **Os principais parâmetros monitorados pelas sondas multiparâmetros são: pH, condutividade, temperatura, turbidez, clorofila ou cianobactérias e oxigênio dissolvido**. Agência Nacional das Águas-ANA-2015, 2019.

## CAPÍTULO 9: AVALIAÇÃO DE EFLUENTES NO DESENVOLVIMENTO DE VEGETAÇÃO EM ÁREAS DE DEPÓSITO DE RESÍDUO DE BAUXITA

*Wener M.T. dos Santos<sup>28</sup>, Valeria Galdino<sup>29</sup>, Luis Claudio de O. Silva<sup>30</sup>  
Marcus Vinicius de S.Lopes<sup>31</sup>, Geovane B.da S. Junior<sup>32</sup>, Dimas MT Santos<sup>33</sup> Universidade  
Federal do Maranhão, Coordenação Bacharelado Interdisciplinar Ciência e Tecnologia*

### RESUMO

O processamento de obtenção de alumina gera o resíduo de bauxita (lama vermelha ou red mud), sendo uma preocupação para o meio ambiente, devido a suas características como alcalinidade e elevado teor de sódio. Durante cinco anos, a empresa de bebida encaminhou efluentes no reator aeróbio para o lago de armazenagem do resíduo de bauxita, ocorrendo o surgimento de três espécies de vegetação rasteira. O nitrogênio, o fósforo e o potássio (NPK) do solo, contribuíram para o desenvolvimento dessa vegetação e com a redução do teor de sódio no resíduo de bauxita. Ainda há elevado teor de óxido de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) cuja função também colabora para o crescimento das raízes, e o potássio com 4,009 mg/L, que é também essencial para o crescimento e responsável pelo equilíbrio de água nas plantas. Algumas variações também ocorreram à medida que coletamos amostras do solo com 10 e 50 centímetros de profundidade.

**Palavras-chaves:** vegetação rasteira, resíduo de bauxita e reator aeróbio.

### 1 Introdução

O processo Bayer é o principal processo industrial de produção de alumina Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Desenvolvido por Karl Josef Bayer em 1888, também é importante no processo Hall-Héroult de produção de alumínio. Neste processo, há geração de resíduo semissólido altamente alcalino denominado resíduo de bauxita (lama vermelha), a qual apresenta em sua composição, dependendo do tipo e da origem da bauxita, quantidades significativas de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O e TiO<sub>2</sub>, como

<sup>28</sup> , wener.santos@ufma.br, Coordenação Bacharelado Interdisciplinar Ciência e Tecnologia, UFMA

<sup>29</sup> valeria.galdino@discente.ufma.br, Coordenação Bacharelado Interdisciplinar Ciência e Tecnologia, UFMA

<sup>30</sup> geovane.junior@ubi.pt, Doutorando, Universidade Beira Interior, Portugal.

<sup>31</sup> claudio.luis@ufma.br, Coordenação Bacharelado Interdisciplinar Ciência e Tecnologia, UFMA

<sup>32</sup> dimas.miranda@discente.ufma.br, Coordenação Bacharelado Interdisciplinar Ciência e Tecnologia, UFMA

<sup>33</sup> lopes.marcus@ufma.br, Coordenação Bacharelado Interdisciplinar Ciência e Tecnologia, UFMA

óxidos majoritários, pH na faixa de 11,1 -13,6, além de traços de outras substâncias (CHAVES, 1962).

Dentre as empresas de obtenção de alumina, é gerado o resíduo de bauxita, que representa um grande passivo ambiental para a indústria de beneficiamento de alumínio, com riscos de contaminação ao meio ambiente, elevado custo associado ao seu manejo e disposição nos lagos de armazenamento, os quais representam uma grande parte dos custos de produção da alumina, conforme Figura 1.



Figura 1 - Área de armazenagem do resíduo de bauxita.  
Fonte: Google Earth, 2024.

No final do ano de 2012, a empresa bebida, que teve uma ampliação no seu setor fabril e com isso passou a recuperar 3100 m<sup>3</sup> litros diariamente em sua estação de tratamento de efluentes industriais – equivalente a tratar o esgoto de uma cidade de 55 mil habitantes –, passou a enviar este efluente que seria descartado, para os lagos de armazenagem de resíduo de bauxita, com objetivo de proporcionar um consumo racional e economia do uso das águas subterrâneas. Neste projeto ocorre periodicamente o bombeamento de 130m<sup>3</sup>/h da estação de tratamento de efluentes da empresa de bebida para os lagos de resíduo de bauxita.

Após este período de lançamento desse efluente, foi possível constatar o surgimento de espécies de vegetação rasteira dentro desses reservatórios de resíduo de bauxita. O presente trabalho buscou avaliar como a vegetação cresceu no lago de armazenagem de resíduo de bauxita, em ambiente alcalino, e quais alterações ocorreram no solo neste período.

## 2 Desenvolvimento

### 2.1 Resíduo de Bauxita

Existem divergências quanto à classificação de toxicidade ou periculosidade do resíduo de bauxita, onde em algumas plantas no Brasil, esse resíduo é classificado como de Classe I - perigoso (alta corrosividade e reatividade), por causa da alta alcalinidade apresentada, segundo a norma NBR 10.004/2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), de modo que sua manipulação inadequada pode acarretar uma série de problemas ambientais. Já a Environmental Protecny Agency (EPA), Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, relata que o resíduo de bauxita não é particularmente tóxico e inclusive não o classifica como um rejeito perigoso.

Entretanto, em função de sua elevada alcalinidade e capacidade de troca catiônica (Collazo et al., 2005), o resíduo de Bauxita pode causar sérios danos ambientais e por isso a sua disposição precisa ser feita em locais adequados, geralmente lagoas de disposição construídas com técnicas de elevado custo, que impossibilitam a ocorrência de lixiviação de seus componentes e a consequente contaminação dos corpos d'água da superfície e das águas subterrâneas (Wang et al., 2008).

No seguimento da agricultura, o resíduo de bauxita foi utilizado como corretivo para solos ácidos, enriquecimento de solos pobres em ferro (Hind et al., 1999), no aumento da retenção de fósforo pelo solo (Summers et al., 2002) e na imobilização de metais pesados em solos contaminados (Ciccu et al., 2003; Lombi et al., 2002).

Além dessas aplicações, na área ambiental sua utilização se concentra principalmente na remediação de áreas contaminadas e no tratamento de efluentes líquidos, tendo sido empregada com sucesso no tratamento de águas ácidas de minas (Fahey et al., 2002; Doye & Duchesne, 2003), assim como na remediação de solos contaminados por metais pesados, fósforo e nitrogênio (Santora et al., 2006; Phillips, 1998). Quanto aos efeitos de aplicação do resíduo de bauxita no desenvolvimento de plantas, sabemos que a alcalinidade é prejudicial para algumas espécies e/ou cultivares, ao indisponibilizar alguns elementos, inclusive o P (fósforo) acima de PH 7,3 e, principalmente alguns micronutrientes como Fe (Ferro), Cu (Cobre) e Zn (Zinco), que estão mais disponíveis em PH ácido (WARD, 1986).

Para a situação específica do crescimento de vegetação nas condições observadas, poucas referências bibliográficas recentes trazem informações sobre os possíveis impactos do uso do resíduo de bauxita nos aspectos ecológicos do solo. A elevada alcalinidade e/ou salinidade podem reduzir as populações de organismos no solo, eliminando funções importantes no sistema de produção, como a decomposição de resíduos, a agregação do solo e o controle biológico de pragas e doenças.

## 2.2 Reator aeróbio na indústria cervejeira

A indústria de cerveja, que possui uma rede coletora de efluentes proveniente da unidade fabril, advindo da fabricação de cerveja, refeitórios e setor administrativo, em sua maioria, adota o tratamento de efluentes misto, isto é, usa o processo anaeróbio e aeróbio como solução para o tratamento de seus efluentes. Na etapa anaeróbia obtém-se remoções da ordem de 85% de carga orgânica, DBO que significa Demanda bioquímica de oxigênio ou demanda biológica de oxigênio (DBO) ou carência bioquímica de oxigênio (CBO) corresponde à quantidade de oxigênio consumido na degradação da matéria orgânica no meio aquático por processos biológicos, sendo expresso em miligramas por litro (mg/L), com baixo consumo de energia elétrica, inclusive com a geração de gás metano combustível, que pode ser usado na fábrica para geração de vapor ou mesmo energia elétrica, ficando o pós-tratamento aeróbio responsável pela complementação da remoção de DBO (BARBOSA, 2012).

A tecnologia do tratamento aeróbio é composta por tanques com aeradores superficiais, que garantem uma concentração de oxigênio dissolvido na faixa de 1–3 mg/L. Os microrganismos aeróbios metabolizam a matéria orgânica do efluente, convertendo-a em CO<sub>2</sub>, água e 2 novas células (crescimento e reprodução dos microrganismos) (BARBOSA, 2012). As características monitoradas em especial são o pH e o oxigênio dissolvido. O pH recomendado está na faixa 7,0–8,5; em pH 9 a eficiência diminui de forma acentuada; em pH 10 o sistema entra em colapso; em pH abaixo de 5 ocorre a evolução de fungos. Acima de 45 °C as proteínas desnaturam. A relação alimento (carga orgânica) por micro-organismo deve estar na faixa 0,05–0,15 kg de DBO/kg SSV dia. No final do processo, o lodo necessita de um tratamento chamado condicionamento: o lodo vai para adensadores onde a água é removida,

aumentado assim o teor de sólidos do lodo; desta etapa ele vai para o processo de desaguamento, feito por centrifugação; nos tanques de decantação ocorre a sedimentação dos sólidos em suspensão presentes nos reatores aeróbios e dessa forma o efluente sai clarificado. Parte do lodo retorna aos reatores aeróbios (BARBOSA, 2012).

### 2.3 Plantas que crescem em ambiente contaminado

O crescimento de plantas em áreas onde ocorre deposição de substâncias ou resíduos é um panorama que vem a demonstrar como a natureza possui o poder amplo da recuperação. A concentração excessiva de metais no solo representa riscos para a saúde humana, animal e vegetal, e também para o ambiente em geral. A contaminação do solo com metais tóxicos geralmente é resultado de atividades humanas, especialmente aquelas relacionadas a mineração, emissões industriais, descarte ou vazamento de resíduos industriais, uso de adubos, fertilizantes e pesticidas, etc. Em razão do potencial tóxico e alta persistência dos metais, solos poluídos com estes elementos são um problema ambiental que requer uma solução efetiva.

Como exemplificação dessa situação, podemos citar as plantas que cresceram perto da Usina Nuclear de Chernobyl, as quais se adaptaram e floresceram em solo altamente radioativo - legado do desastre nuclear ocorrido em 1986 na Ucrânia. Estas plantas tiveram uma habilidade inesperada de se adaptarem em um ambiente contaminado com radiação após o acidente.

Segundo Baker (1987), a sobrevivência das espécies que crescem em solos contaminados é relacionada à capacidade de tolerar, e não de anular, a toxicidade do elemento contaminante. As concentrações dos metais pesados variam nos diferentes tecidos da planta, e, em geral, os grãos contêm concentração menor do que as partes vegetativas da planta (Berton, 2000).

Com relação à entrada dos metais pesados na cadeia alimentar, Chaney & Oliver (1996) afirmam que as plantas se comportam como mecanismo de transferência de contaminantes do solo, para níveis mais altos na cadeia trófica, como também são barreiras importantes para essa transferência. As plantas restringem a absorção da maioria dos metais pesados do solo, de forma que os seres humanos, os animais e a vida selvagem não se encontram, de maneira geral,

ameaçados pela presença desses contaminantes.

As plantas desenvolveram mecanismos especializados para aumentar a concentração de íons metálicos a partir da solução do solo, ao modificar o ambiente químico da rizosfera, acidificando o meio pela extrusão de íons  $H^+$  pelas raízes, estimulando a dessorção de íons dos sólidos do solo para a solução. Além disso, algumas plantas também podem processar uma variedade de compostos orgânicos, formando complexos com os metais e mantendo-os disponíveis para serem absorvidos (LASAT, 2000).

A resistência das plantas aos metais pesados ocorre por um mecanismo que inclui a imobilização dos íons metálicos nas raízes e na parede celular. A tolerância, por sua vez, está baseada no sequestro dos íons metálicos nos vacúolos, ligações com ligantes apropriados, como ácidos orgânicos, proteínas e peptídeos, e na presença de enzimas (GARBSU e ALKORTA, 2001). A capacidade das plantas em acumular altas concentrações de metais sem efeitos prejudiciais ao seu crescimento enfatiza seu potencial em retirar metais de solos e da água (RASKIN e ENSLEY, 2000).

### 3 Materiais e Métodos

Para a realização da transferência do efluente da empresa de bebida para a área de armazenagem do resíduo de bauxita, em uma de suas lagoas, durante o período de cinco anos, iniciado em dezembro de 2012 com termino em dezembro de 2017, foi construída uma tubulação cujo objetivo foi transferir uma média de 130  $m^3/h$ , onde estimasse que mais de 6 milhões de metro cúbicos tenham sido adicionado neste lago durante este período.

Foram coletadas amostras do reator aeróbio da empresa de bebidas e do resíduo de bauxita onde a vegetação se encontra, em profundidades de 5, 10 e 50 cm, juntamente com a classificação da vegetação. As amostras foram submetidas à análise da composição química, do pH e a uma classificação preliminar da família de cada espécie vegetal.

### 4 Resultados e Discussão

O pH do local onde está a vegetação varia entre 11,2 a 11,6, tendo sua alcalinidade ainda elevada. O nitrogênio amoniacal ( $NH_4^+$ ) com 5,09 mg/L. O

nitrogênio é o nutriente do solo requerido em maior quantidade pelas plantas, as quais o assimilam na forma inorgânica, como amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) ou preferencialmente na forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ).

#### 4.1 Classificação da vegetação

Foram encontrados três tipos de vegetação rasteira no lago de armazenamento do resíduo. Sendo eles;

a) Família *Eclipta prostrata*

É uma espécie de planta com flor pertencente à família Asteraceae, conforme Figura 2.



Figura 2 - Família *Eclipta prostrata* .  
Fonte: Autores, 2024

b) Família *Poaceae eleusine*

Esta vegetação, conforme Figura 3, tem nome popular de capim-pé-de-galinha, é uma planta herbácea, da família das gramíneas, conhecida principalmente como erva invasora. Ele se desenvolve bem em qualquer tipo de solo, sendo presença marcante em beiras de estradas e terrenos baldios. Relativamente resistente à seca e à alta umidade, dissemina-se principalmente por ação de animais, visto que suas sementes não são digeridas. Hoje está distribuída pelas regiões tropicais, subtropicais e temperadas do mundo.

O capim-pé-de-galinha tem grande plasticidade, suas sementes germinam em qualquer época do ano, porém no inverno o crescimento é mais lento embora a produção de sementes seja igualmente elevada.



Figura 3 - Família Poaceae Eleusine.  
Fonte: Autores, 2024.

### c) Família *Alternanthera tenella*

Esta espécie herbácea perene apresenta caule prostrado com os ramos terminais ascendentes, conforme Figura 4. Esta planta é comumente usada em tratamento de febre, infecções e inflamações no trato genital (GUERRA, 2003). Segundo Venduscolo et al. (2005), a parte aérea da planta é utilizada na medicina popular contra dores de cabeça e febres.



Figura 4 - Família *Alternanthera tenella* dentro ARB05

Fonte: Autores, 2024.

## 4.2 Resíduo de bauxita

A composição química do resíduo de bauxita onde as plantas cresceram, será nosso padrão, citado abaixo e contendo os seguintes elementos:

Tabela 1 - Composição química do resíduo de bauxita do ARB05

RESIDUO DE BAUXITA (%)	
AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,764
SiO <sub>2</sub>	14,638
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	40,669
TiO <sub>2</sub>	3,758
Na <sub>2</sub> O	7,307
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,009
MnO	0,025

ZrO <sub>2</sub>	0,267
CaO	0,687
SO <sub>3</sub>	0,227
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,086
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,111
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,064

Fonte: Autores, 2024.

Percebe-se que, na Tabela 01, a composição química do resíduo de bauxita é constituída por óxidos de alumínio e óxidos de ferro, em sua predominância.

#### 4.3 Efluente da empresa de bebida

Foram analisadas amostras do efluente da empresa de bebida, conforme na Tabela 02, contendo os seguintes elementos descritos a seguir:

Tabela 02 - Composição química do reator aeróbio (mg/L)

<b>MATERIAL DA ETE REATOR AEROBIO (mg/L)</b>	
AL	0,915
As	0,005
Ca	4,279
Fe	0,274
K	23,932
Mg	2,012
Mn	0,035
Na	642,44
Si	10,12
Zn	0,156

Fonte: Autores, 2024.

Com esta análise, podemos identificar que a concentração de potássio, K, é 23,93 mg/L, cuja função desse elemento nas plantas é de ativação enzimática, na fotossíntese, no transporte de açúcares, água e movimentação de nutrientes, síntese de proteínas e formação de amido e qualidade da cultura. O potássio é o segundo nutriente mais exigido pelas plantas, perdendo apenas para o N; as plantas produtoras de amido, açúcar e fibras parecem ser particularmente exigentes em potássio. Temos também o sódio com 642,44 mg/L, cujas especificações para esta função não são bem conhecidas.

De acordo com MARSCHNER (1986), o papel do sódio na nutrição mineral de plantas superiores pode ser considerado como essencial, ou como substituto do K

em algumas funções metabólicas e osmóticas. O cálcio, Ca, com 4,279 mg/L admite-se como indispensável para a manutenção da estrutura e o funcionamento normal das membranas celulares. Os efeitos indiretos do cálcio são tão importantes quanto o seu papel como nutriente. O cálcio promove a redução da acidez do solo, melhora o crescimento das raízes, aumento da atividade microbiana, aumento da disponibilidade de molibdênio (Mo) e de outros nutrientes. O cálcio reduz a acidez do solo e diminui a toxidez do alumínio (Al), cobre (Cu) e manganês (Mn). Plantas que apresentam altos teores de cálcio resistem melhor à toxidez destes elementos.

Há no solo 2,012 mg/L de magnésio, Mg, com teores menores do que o cálcio porque é mais solúvel e sujeito, então, às perdas por lixiviação. O silício, com 10,12 mg/L, tem as funções na planta de aumento da resistência ao ataque de pragas (insetos), nematoides e doenças, diminuição da taxa de transpiração e, confere maior eficiência fotossintética.

#### 4.4 Amostra da água ao redor da planta da Família *Alternanthera tenella*

Foi analisada também uma amostra do líquido que fica ao redor da planta, conforme Figura 5, para a qual tivemos o seguinte resultado, conforme Tabela 03.



Figura 5 – Vegetação que nasceu dentro do ARB05  
Fonte: Autores, 2024.

Tabela 3 - Composição química do líquido onde estava a planta grande (mg/L)

Líquido do local onde a planta grande (mg/L)	
AL	11,962
As	0,883
Cd	0,0135
Cr	0,047
Cu	0,045
Fe	13,405
Líquido do local onde a planta grande (mg/L)	
K	4,009
Na	117,82
Pb	0,0233
V	0,674
Zn	0,013

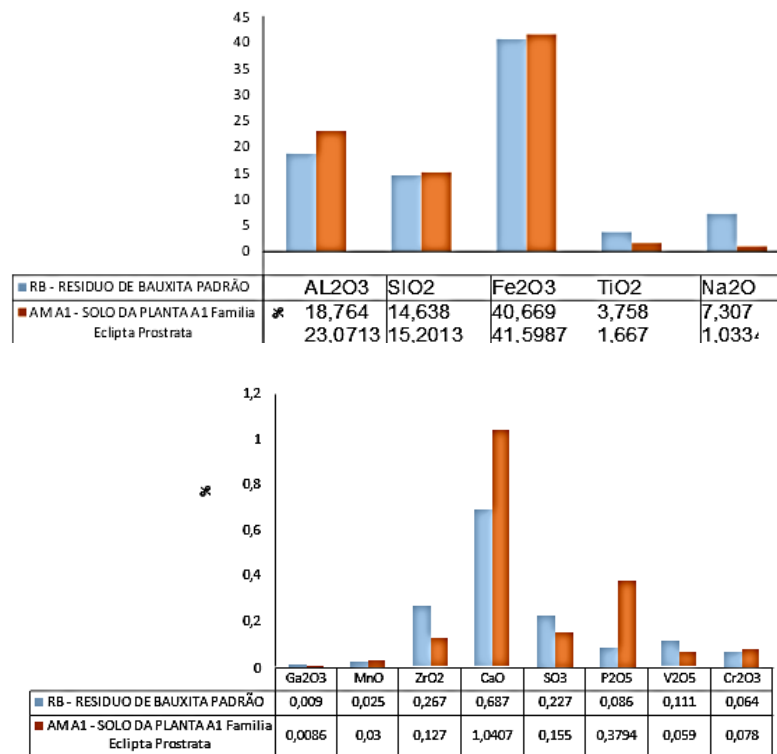
Fonte: Autores, 2024.

Dentre os elementos avaliados, podemos citar o potássio, que em sua região contem 4,009 mg/L, e o sódio, com 117,82 mg/L. Os demais elementos provavelmente estão contidos no resíduo de bauxita.

#### 4.5 Amostras do solo com profundidade de 5 cm da planta da Família *Alternanthera tenella*

Na composição química do resíduo de bauxita, com profundidade de cinco (5) centímetros abaixo da raiz da planta, conforme o Gráfico 01, temos:

Gráfico 1- Planta da Família *Alternanthera tenella* com 5 cm de profundidade



Fonte: Autores, 2024

De acordo com o Gráfico 01, temos que o teor de óxido de sódio (Na2O) reduziu aproximadamente 85%, em relação à amostra padrão, o teor de óxido de titânio (TiO2) reduziu em 55%, o óxido de gálio (Ga2O3) em 4%, óxido de zircônia (ZrO2) reduziu em 52%, óxido sulfúrico (SO3) reduziu 31%, óxido de vanádio (V2O5) reduziu 46%. Já o óxido de manganês (MnO) teve um aumento de 20%, óxido de cromo (Cr2O3) e o óxido de cálcio (CaO) tiveram aumento respectivamente de 21% e 51%. Tivemos um aumento considerável no óxido de fósforo, P2O5, 341% em relação à amostra padrão.

#### 4.6 Amostras do solo com profundidade de 10 e 50 cm da planta da Família *Alternanthera tenella*

Aproveitamos a análise de cinco centímetros e realizamos os mesmos procedimentos para as profundidades de dez e cinquenta 50 centímetros, conforme Tabela 04. Como resultados, temos também uma redução dos óxidos de sódio, titânio, cálcio e vanádio. O óxido de fosforo, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, mesmo a cinquenta centímetros de profundidade, ainda apresenta valor maior que o padrão.

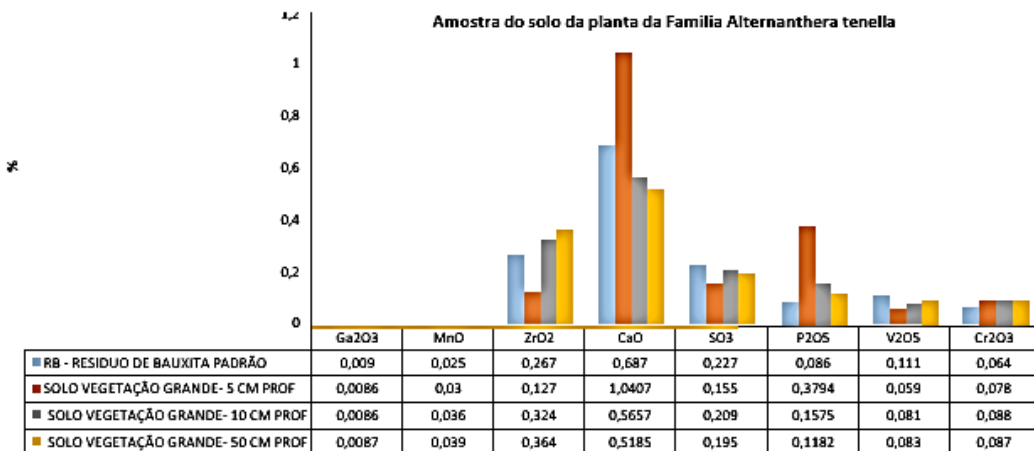
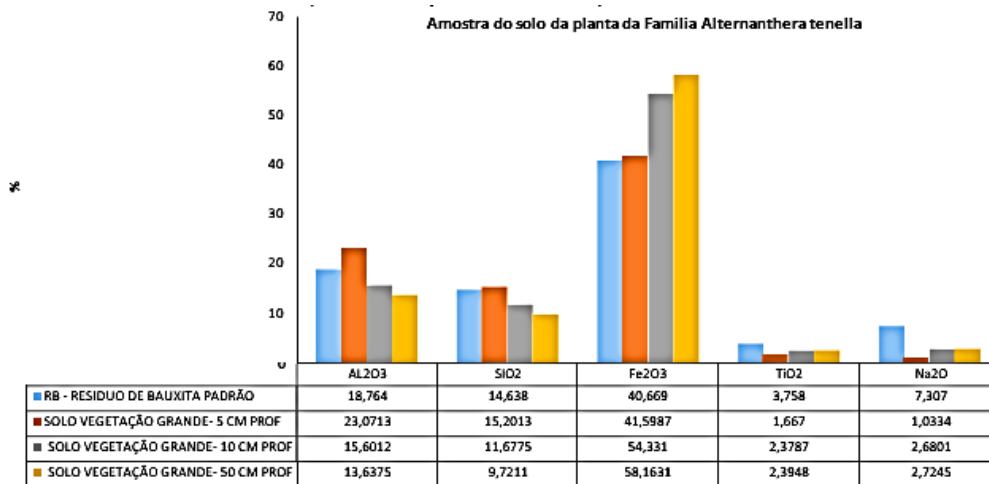
Tabela 4 - Composição química do solo com 10 e 50 cm de profundidade

ELEMENTOS (%)	RB - RESIDUO DE BAUXITA PADRÃO	AMOSTRA DO SOLO - 5 CM PROF	AMOSTRA DO SOLO - 10 CM PROF	AMOSTRA DO SOLO - 50 CM PROF
AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,764	23,0713	15,6012	13,6375
SiO <sub>2</sub>	14,638	15,2013	11,6775	9,7211
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	40,669	41,5987	54,331	58,1631
TiO <sub>2</sub>	3,758	1,667	2,3787	2,3948
Na <sub>2</sub> O	7,307	1,0334	2,6801	2,7245
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,009	0,0086	0,0086	0,0087
MnO	0,025	0,03	0,036	0,039
ZrO <sub>2</sub>	0,267	0,127	0,324	0,364
CaO	0,687	1,0407	0,5657	0,5185
SO <sub>3</sub>	0,227	0,155	0,209	0,195
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,086	0,3794	0,1575	0,1182
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,111	0,059	0,081	0,083
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,064	0,078	0,088	0,087

Fonte: Autores, 2024.

De acordo com o Gráfico 2, visualizamos as alterações que ocorreram no solo de acordo com as variações das profundidades. Segundo as leituras obtidas, o teor de sódio reduziu muito e o fosforo ainda continua elevado.

Gráfico 02- Amostras comparativo das profundidades da planta da Família *Alternanthera tenella*



Fonte: Autores, 2024.

Entre o período de fevereiro e abril, constatamos o crescimento desta planta, conforme Figura 6, associados aos nutrientes nitrogênio, fosforo e potássio.



Figura 6 – Crescimento da planta da Família *Alternanthera tenella*  
Fonte: Autores, 2024.

## 5 Considerações finais

O presente trabalho buscou avaliar como a vegetação cresceu, em ambiente alcalino, no lago de armazenagem de resíduo de bauxita e quais alterações ocorreram no solo nesse período. Com os resultados, identificamos as espécies que nasceram em um ambiente com eleva a alcalinidade, variando de 11,2 a 11,6 o seu pH, sendo das respectivas famílias, *Eclipta prostrata*, *Poaceae eleusine* e *Alternanthera tenella*. Além das espécies, temos alguns elementos químicos identificados que podem ter contribuído para o surgimento e crescimento dessa vegetação rasteira dentro do lago de resíduo de bauxita, mesmo apresentando pH elevado. Podemos citar o nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) com 5,09 mg/L, que é um dos principais componentes das proteínas vegetais e no crescimento das plantas, pois sem ele não podem realizar a fotossíntese nem a respiração e não crescem normalmente, permanecendo pequenas e com um menor número de folhas.

A presença de folhas amareladas é um bom indício de falta de nitrogênio, e no caso não há este indicador de ausência. Temos elevado teor de óxido de fosforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) com 341% a mais que contido no resíduo de bauxita, o qual atua também no crescimento das raízes; e o potássio 4,009 mg/L, que é também essencial para o crescimento e responsável pelo equilíbrio de água nas plantas. O nitrogênio, fósforo e potássio, NPK, é uma sigla utilizada em estudos de agricultura, que designa a relação dos três nutrientes principais para as plantas também chamados de macronutrientes, na composição de um fertilizante.

Com este trabalho, podemos vislumbrar oportunidades no processo de controle e manejo nos lagos de armazenagem de resíduo de bauxita, uma vez que podemos explorar este potencial para realizar uma cobertura vegetal dentro do lago de resíduo, mesmo em ambiente alcalino elevado, com os objetivos de reduzir o teor de sódio, conhecer novas bactérias e fungos que podem surgir podendo estas sobreviver consumindo metais pesados contido no resíduo. Estas oportunidades podem reduzir também o custo para realização da cobertura do próprio lago, e evitar que nos períodos secos ocorra a emissão de particulados para regiões povoadas. Para futuros trabalhos seria possível e desejável avaliar a influência do solo alcalino na vegetação, os metais contidos nas plantas, as bactérias existentes no solo, e a influência do sódio na vegetação.

## Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. "NBR 10004: Resíduos sólidos - Classificação", Rio de Janeiro 2004.
- BARBOSA, R. A. Fundamentos dos Parâmetros do PTP de ETEI. Workshop de Meio Ambiente, Ambev, Jacareí, 2012.
- BAKER, A.J.M. Metal tolerance. *New Phytologist*, v.106, p.93-111, 1987.
- BERTON, R.S. Riscos de contaminação do agrossistema com metais pesados. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Ed.). *Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p.259-268.
- Collazo, A., Fernandez, D., Izquierdo, M., Novoa, X.R., Perez, C. 2005. Evaluation of red mud as surface treatment for carbon steel painting. *Process in Organic Coating*. 52, 351-358.
- CICCU, R. G. (2003). CICCU, R., Heavy metal immobilization in the mining-contaminated soils using various industrial wastes. *Minerals Engineering*, n. 16 , pp. 187-192.
- CHAVES, A. G. (1962). A lama vermelha e sua eliminação da fábrica de alumina. 2º semana de estudos. *Alumínio e Zinco. Sociedade de Intercâmbio Cultural e Estudos Geológicos dos Alunos da Escola de Minas de Ouro Preto*. Ouro Preto.
- DOYE, I. D. (2003). Neutralization of acid mine drainage with alkaline industrial residues: laboratory investigation using bath-leaching test. *Applied Geochemistry*, n. 18 , pp. 1197-1213.
- DONAIRE, D. (1995). *Gestão ambiental na empresa*. São Paulo: Atlas.
- EPA. (s.d.). *Environmental Protecny Agency, Electronic code of federal regulations. Title 40, Part 261, Sect 4*. Acesso em julho de 2010, disponível em <http://ecfr.gpoaccess.gov>.
- FAHEY, M., NEWSON, T. A. e FUJIYASU, Y., "Engineering with tailings", In: *Environmental Geotechnics*, v. 2, Balkema, pp. 947-973, Rio de Janeiro, Brasil, 2002.
- GARBISU, C.; ALKORTA, I. Phytoextraction: a cost-effective plantbased technology for the removal of metals from the environment. *Bioresource Technology*, v. 77, p. 229- 236, 2001.
- GUERRA, R.N.M. et al . Immunomodulatory properties of *Alternanthera tenella* Colla aqueous extracts in mice. *Braz J Med Biol Res*, Ribeirão Preto, v. 36, n. 9, Sept. 2003 . Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-879X2003000900011&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-879X2003000900011&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 08 Fev. 2013.
- LASAT, M.M. Phytoextraction of metals from contaminated soil: a review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues. *Journal of Hazardous Substance Research*, v. 2, p. 25, 2000.
- LOMBI, E., ZHAO, F. J., ZHANG, G., SUN, B., FITZ, W., ZHANG, H., McGRATH, S. P., "In situ fixation of metals in soils using bauxite residue: chemical assessment", *Environmental Pollution*, n. 118, pp.435443, 2002.
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. London, Academic Press Inc., 1986. 674p.
- HIND, R. A. (1999). "The surface chemistry of Bayer process solids: a review", *Colloids and surfaces A: Physicochemical and engineering aspects*.
- PHILLIPS, I. R., "Use of Soil Amendments to Reduce Nitrogen, Phosphorus and Heavy Metal Availability", *Journal of Soil Contamination*, v. 7, n. 2, pp.191-112, 1999.
- RASKIN, I.; ENSLEY, B. *Phytoremediation of toxic metals - using plants to clean up*

the environment. *Plant Science, Alabama*, v. 160, p. 1073 – 1075, 2000.

SUMMERS, R. N. (2002). The use of bauxite residue to control diffuse phosphorus pollution in Western Australia: a win-win-win outcome. *SUMMERS, R. N., RIVERS. M. R., CLARKE, M. F., "The use of bauxite residue to control diffuse phosphorus pollution in We6th International Alumina Quality Workshop*, (pp. 262-269). Australia.

SANTORA, L., CASTALDI, P., MELIS, P., "Evaluation of the interaction mechanisms between red muds and heavy metals", *Journal of Hazardous Materials*, 2006.

VENDRUSCOLO, G.S.; SIMÕES, C.M.O. & MENTZ, L.A. Etnobotânica no Rio Grande do Sul: Análise Comparativa Entre o Conhecimento Original e Atual Sobre as Plantas Mediciniais Nativas. *PESQUISAS, BOTÂNICA N°56: 285-322* São Leopoldo: Instituto Anchieta de Pesquisas, 2005.

Wang, S; Ang, H.M; Tadé, M.O., 2008. Novel applications of red mud as coagulant, adsorbent and catalyst for environmentally benign processes. *Chemosphere* 72, 1621- 1635.

WARD, S.C. The use of the fine residue from bauxite refining as a soil amendment. Murdoch, Thesis (PhD of Environmental and Life Science) – School of Environmental of Life Science – University, Western, Australia, 1986.

### **SEÇÃO 3: AGRICULTURA, MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE**

Nesta seção, a inovação no campo se alia ao compromisso ambiental, evidenciando o papel das ciências agrárias na construção de sistemas produtivos sustentáveis. Os trabalhos apresentados investigam técnicas de cultivo, uso racional de insumos e monitoramento por sensoriamento remoto, destacando práticas que conciliam produtividade e equilíbrio ecológico. As pesquisas aqui reunidas refletem o protagonismo do agronegócio regional e sua conexão com a ciência e a tecnologia para o fortalecimento das comunidades rurais e da economia verde. Os artigos que intitulam os capítulos desta seção estão listados a seguir:

- Substratos e telas de sombreamento na qualidade fisiológica de *Eruca sativa* Miller
- Enraizador e bioestimulante na qualidade fisiológica de sementes de milho (*Zea mays* L.)
- Identificação dos estádios fenológicos da soja irrigada por índices de vegetação obtido por sensor orbital com 5 dias de resolução temporal
- Diagnóstico situacional sobre o uso de agrotóxicos pelos agricultores familiares da feira municipal de Balsas-MA
- Bioeconomia da biomassa residual agrícola em Balsas
- Maximizando a produtividade no agro: a importância da manutenção de maquinários agrícolas principais atores e oportunidades.

## CAPÍTULO 10: SUBSTRATOS E TELAS DE SOMBREAMENTO NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE *Eruca sativa* MILLER

Carmem Cila Santos Miranda<sup>34</sup>; Leandra Matos Barrozo<sup>35</sup>; Antonio Eliomar Moreira da Silva<sup>36</sup>; Natália Barros da Silva<sup>37</sup>; Tatiane Scilewski da Costa Zanatta<sup>38</sup>; Adriana Araujo Diniz<sup>39</sup>

### Resumo

A rúcula (*Eruca sativa* Miller) é uma hortaliça de sabor picante e valor nutricional que se destaca na agricultura brasileira. Objetivou-se avaliar a qualidade fisiológica das sementes de rúcula em diferentes substratos e níveis de sombreamento, visando identificar condições ideais para o desenvolvimento da cultura. No experimento, conduzido em Balsas-MA, sementes de rúcula foram plantadas em bandejas com substratos variados (areia, terra vegetal, esterco bovino, húmus de minhoca e fibra de coco), cobertos com telas de sombreamento de 30%, 50%, 70% e pleno sol. Foram analisadas variáveis como emergência, índice de velocidade de emergência, comprimento de raiz e massa fresca e seca das plântulas. Concluiu-se que o substrato terra vegetal + fibra de coco, combinado com 50% de sombreamento, proporcionou melhores resultados, favorecendo a emergência e o crescimento uniforme das plântulas, além de reduzir o estresse ambiental sobre a cultura.

**Palavras-chave:** Horticultura, germinação, sustentabilidade.

### 1 Introdução

A rúcula (*Eruca sativa* Miller) é uma espécie que possui folhas alongadas, limbo recortado, tem coloração verde-escura e um sabor levemente picante. Sendo bastante consumida em todo território brasileiro. Os maiores produtores brasileiros de hortaliças se concentram na região sudeste (Filgueira, 2012). Conforme Trani *et al.*, (2007) para um bom desenvolvimento a espécie adapta-se melhor a temperaturas entre 15 e 18°C. Apesar de se desenvolver melhor sobre temperaturas amenas onde poderá ser cultivada ao longo do ano, em numerosas regiões (Filgueira, 2012).

No Brasil ela obteve aumento em sua popularidade e com isso o cultivo

<sup>34</sup> Universidade Estadual do Maranhão, Departamento de Agronomia, leandrabarrozo1@gmail.com

<sup>35</sup> Universidade Estadual do Maranhão, Departamento de Agronomia, moreiraeliomar92@gmail.com

<sup>36</sup> Universidade Estadual do Maranhão, Departamento de Agronomia, nataliabarros9@gmail.com

<sup>37</sup> Universidade Estadual do Maranhão, Departamento de Agronomia, sctatiane@gmail.com

<sup>38</sup> Universidade Estadual do Maranhão, Departamento de Agronomia, adrianadiniz@professor.uema.br

<sup>39</sup> Universidade Estadual do Maranhão, Departamento de Agronomia, adrianadiniz@professor.uema.br

também está aumentando significativamente, porém é mais cultivada por pequenos agricultores e na agricultura de subsistência. Por ser uma planta com poucas exigências

nutricionais e resistente ela vem se tornando uma das mais cultivadas por esses produtores com menor poder aquisitivo (Moreira; Medeiros, 2007).

Com o desejo de se produzir alimentos de melhor qualidade e menor preço de mercado, mudanças têm ocorrido nas práticas agrícolas convencionais, onde o uso de adubos químicos tem perdido espaço para os adubos orgânicos (Rodrigues et al., 2008).

Segundo Minami e Puchala (2000), o uso de substratos adequados é essencial para melhorar o custo-benefício na produção de olerícolas. Lima et al. (2009) afirmam que substratos de boa qualidade, comerciais ou orgânicos, aumentam o rendimento em comparação aos métodos convencionais, promovendo precocidade, menor mortalidade, menos contaminação por fitopatógenos, economia com sementes e melhores condições para o desenvolvimento das raízes.

O mercado possui diversos tipos de substratos dentre eles podemos encontrar, os com restos de cultura ou palhada e aqueles que de dejetos de animais que são processados por microrganismos. O processo de vermicompostagem pode ser definido como adubo orgânico, obtido de dejetos de origem animal ou restos vegetais, que passam pela compostagem e podem depois serem processados por minhocas ou não, constituindo em um composto rico em nutrientes (Amorim et al., 2005).

Muitas vezes o vermicomposto precisa ser enriquecido, especialmente quando destina-se a produção de substrato para formação de mudas de hortaliças que são exigentes em termos nutricionais, dada à sua acelerada taxa de crescimento inicial (Oliveira, 2011).

O aumento da demanda por hortaliças de alta qualidade, e que possam ser ofertadas durante o ano todo, vem contribuindo para o aperfeiçoamento de sistemas de cultivo que permitam uma produção que se adapta aos pequenos produtores de diversas regiões, esse sistema deve minimizar o efeito das condições adversas sob a cultura (Carijo et al., 2002). Assim, o sombreamento é muito comum em cultivos de hortaliças, para a redução da intensidade de luz solar atendendo as necessidades das plantas (Rocha, 2007). O uso das telas de sombreamento em cultivos de locais com temperatura elevadas, conduz as olerícolas folhosas uma ótima variação de

luminosidade, reduzindo a intensidade da luz solar com melhor ajuste na sua distribuição (Ferreira, 2014).

Segundo Ramos *et al.* (2007) o sombreamento moderado em mudas de rúcula agrega benefícios para o crescimento e desenvolvimento, protegendo as plantas contra a intensidade da luz minimizando o estresse climático. Objetivou-se com este trabalho, avaliar a qualidade fisiológica de sementes de rúcula em diferentes substratos e telas de sombreamento.

## 2 Metodologia

O experimento foi realizado em uma área experimental localizada no município de Balsas - MA. Foram utilizadas sementes de rúcula cultivar *Apresiasi* folha larga da marca FELTRIN® obtidas em uma casa comercial de produtos agropecuários.

As sementes foram distribuídas em bandejas contendo os seguintes substratos: areia lavada; terra vegetal; areia lavada + esterco bovino na proporção (3:1); terra vegetal + húmus de minhoca (3:1); terra vegetal+ fibra de coco (3:1), cada tratamento foi coberto com tela de sombreamento com 30%, 50% e 70% e a pleno sol. Os substratos receberam irrigação quando necessário.

As variáveis analisadas foram: Primeira contagem de emergência: Contagem das plântulas normais; os resultados foram expressos em percentagem de plântulas normais. Emergência: A contagem foi realizada diariamente, até a completa estabilização ao 30º dia após a instalação do teste, os dados foram expressos em percentagem. Índice de velocidade de emergência (IVE): foi calculado empregando-se a fórmula proposta por Maguire 1962. Comprimento de raiz e parte aérea: realizou-se a medição da raiz principal e a parte aérea das plântulas normais com o auxílio de uma régua graduada em centímetros, sendo os resultados expressos em cm plântula<sup>-1</sup>. Massa fresca de raiz e da parte aérea: a raiz e parte aérea das plantas foram cortadas e separando e em seguida pesadas em balança analítica de precisão os valores foram expressos em mg plântula<sup>-1</sup>(Nakagawa, 1999). Massa seca de raiz e parte aérea: Após a pesagem da massa fresca da raiz e parte aérea das plântulas elas foram submetidas à secagem em estufa, em seguida foi realizada a pesagem do material seco em balança analítica de precisão (0,001g) e o valor obtido expresso em mg/plântula (Nakagawa, 1999).

## 2.1 Delineamento experimental e análise estatística

Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado, os tratamentos foram divididos em quatro repetições de 25, semeadas em bandejas plásticas contendo os substratos. Adotou-se o esquema fatorial 5 x 4 (substratos e sombreamentos). Os dados passaram por análise de variância e regressão, avaliando-se o efeito quadrático linear das variáveis. Utilizou-se o programa SISVAR (Ferreira, 2011).

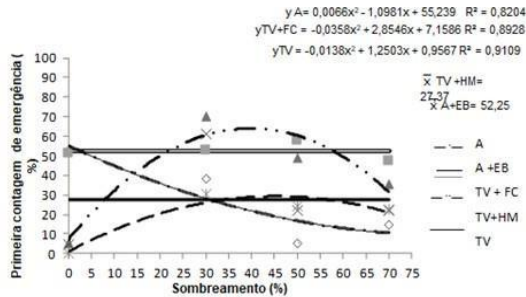
## 3 Resultados e discussão

No substrato areia, o sombreamento de 83,19% resultou em 9,56%. No substrato terra vegetal + fibra de coco, o sombreamento de 39,87% atingiu o máximo de 64,06%. Para terra vegetal, o maior percentual foi de 29,28% com sombreamento de 45,30%. No substrato areia + esterco bovino, a média foi de 52,25%, e para terra vegetal + húmus de minhoca, 27,37%, sem ajuste do R.

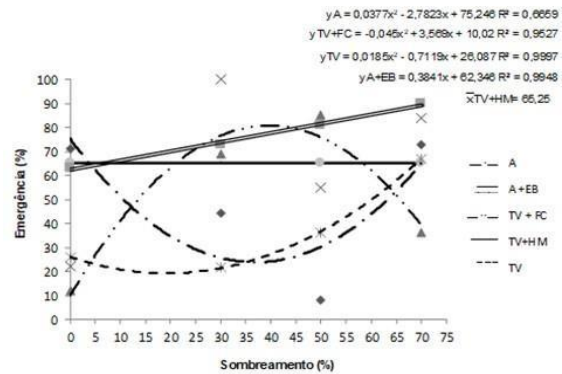
O substrato terra vegetal + fibra de coco apresentou o melhor desempenho, com 64,06% de emergência sob 39,89% de sombreamento. Diferente disso, Costa et al. (2011), em experimento com rúcula, encontraram que ambientes com sombreamento de 30% e 40% não diferiram das plantas cultivadas a sol pleno para ambas as cultivares (Cultivada e Folha Larga).

Para a variável emergência de plântulas, o substrato areia apresentou emergência entre 23,91% e 36,90% de sombreamento. No substrato terra vegetal + fibra de coco, o modelo quadrático indicou 80,79% de emergência com 39,66% de sombreamento. No substrato terra vegetal, a emergência máxima foi de 32,94% com 19,24% de sombreamento. O substrato areia + esterco bovino mostrou aumento linear, com valor máximo de 89,23%, sugerindo mais estudos. Terra vegetal + húmus de minhoca obteve média de 65,25%, sem ajuste do modelo R.

O melhor desempenho foi obtido no substrato terra vegetal + fibra de coco com valores máximos de 80,79% e quando o sombreamento foi de 39,66%. Diferentemente dos resultados obtidos por Ramos *et al.*, (2007), o experimento pode verificar que no uso de substratos comercial Plantimax houve maior emergência no sombreamento 50%, e nas sementes de rúcula que estavam no sombreamento de 75% apresentaram um comportamento melhor quando foram comparadas àquelas plântulas que estavam a pleno sol e 30% de sombra. Essas variáveis estão representadas nas Figuras 1 e 2, respectivamente.



**Figura 1** - Primeira contagem de emergência de plântulas de rúcula, submetidas a diferentes substratos, areia (a), areia+ esterco bovino (a+eb), terra vegetal+ fibra de coco (tv+fc), terra vegetal+ húmus (tv+hm), terra vegetal (tv) e telas de sombreamento 30, 50 e 75% e pleno sol.



**Figura 2** - Emergência de plântulas de rúcula submetidas a diferentes substratos, areia (a), areia+ esterco bovino (a+eb), terra vegetal+ fibra de coco (tv+fc), terra vegetal+ húmus (tv+hm), terra vegetal (tv) e telas de sombreamento 30, 50 e 75% e pleno sol.

Fonte: Autores, 2024

Fonte: Autores, 2024.

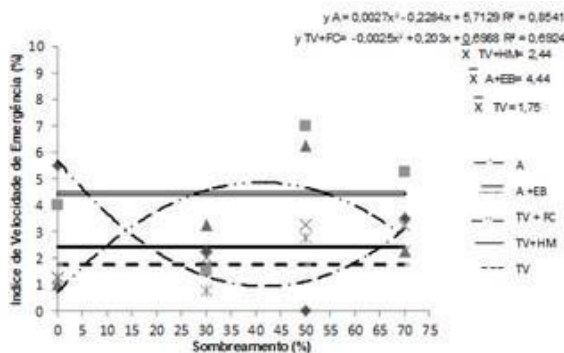
Para o índice de velocidade de emergência, observou-se redução no percentual de emergência das sementes plantadas em areia, com mínimo de 0,88% e sombreamento de 42,30%. O substrato terra vegetal + fibra de coco garantiu um percentual de germinação favorável, com mínimo de 4,82% e sombreamento de 40,60%. No substrato terra vegetal, a média foi de 1,75%, enquanto o substrato areia + esterco bovino teve média de 4,44% (sem ajuste a modelo de regressão polinomial). Já o substrato terra vegetal + húmus de minhoca apresentou média de 2,44%. O melhor substrato foi de terra vegetal+ fibra de coco para a variável de índice de velocidade de emergência de rúcula com percentuais de valores máximos de 4,82% e sombreamento de 40,60%.

Ramos *et al.*, (2007) observaram trabalhando com a influência do sombreamento na emergência da rúcula, que as plântulas que obtiveram melhor emergência quando estavam expostas a tela com 50% e 75% de sombreamento quando comparada com aquelas que estavam a pleno sol e 30% de sombra, maior sombreamento na faixa inicial de crescimento da plântula melhor será a emergência na cultura.

Observou-se que o comprimento das raízes apresentou um aumento linear nos diferentes substratos analisados. No substrato de areia, o comprimento atingiu

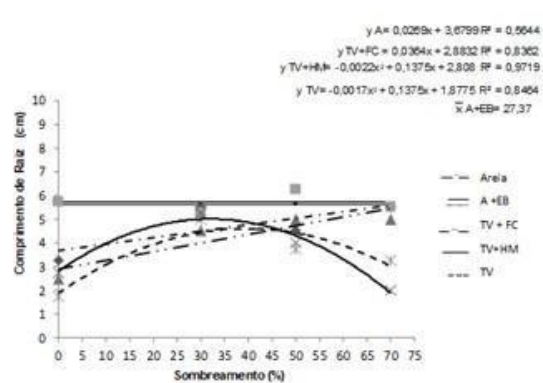
5,56 cm. Para o substrato de terra vegetal + fibra de coco, o valor foi de 5,43 cm. Em terra vegetal pura, as plântulas alcançaram 4,66 cm com um sombreamento de 40,44%. No substrato areia + esterco bovino, a média foi de 27,37%, sem ajuste a modelos de regressão. Já o substrato de terra vegetal + húmus de minhoca permitiu um comprimento mínimo de 4,23 cm com sombreamento de 31,25%. Para a variável de comprimento de raiz o melhor desempenho foi a do substrato terra vegetal e sombreamento de 40,44%.

Segundo Medeiros *et al.*; em relação ao substrato com composto orgânico apresentou os maiores valores para todas as variáveis apresentadas exceto a variável comprimento de raiz. Representadas pelas Figuras 3 e 4, respectivamente.



**Figura 3** - Índice de velocidade de emergência de plântulas de rúcula submetidas a diferentes substratos, areia (a), areia+ esterco bovino (a+eb), terra vegetal+ fibra de coco (tv+fc), terra vegetal+ húmus (tv+hm), terra vegetal (tv) e telas de sombreamento 30, 50 e 75% e pleno sol.

Fonte: Autores, 2024



**Figura 4** - Comprimento de raiz de plântulas de rúcula submetidas a diferentes substratos, areia (a), areia+ esterco bovino (a+eb), terra vegetal+ fibra de coco (tv+fc), terra vegetal+ húmus (tv+hm), terra vegetal (tv) e telas de sombreamento 30, 50 e 75% e pleno sol.

Fonte: Autores, 2024.

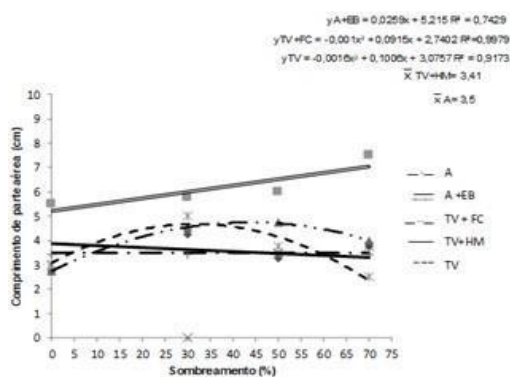
Na variável comprimento de parte aérea, o substrato areia apresentou média de 3,5 cm. O substrato terra vegetal + fibra de coco resultou em um percentual de germinação favorável, permitindo que as sementes de rúcula atingissem um comprimento de 4,83 cm com sombreamento de 45,75%. Para o substrato terra vegetal, houve ajuste ao modelo quadrático, possibilitando um aumento no comprimento de 4,66 cm quando o sombreamento foi de 31,44%. O substrato areia + esterco bovino apresentou crescimento linear, atingindo 7,0 cm, enquanto o substrato terra vegetal + húmus de minhoca teve média de 3,41 cm, sem ajuste ao modelo quadrático. O melhor desempenho para esta variável foi o substrato terra vegetal+ fibra de coco com o comprimento de parte aérea de 4,83 cm e

sombreamento de 45,75%.

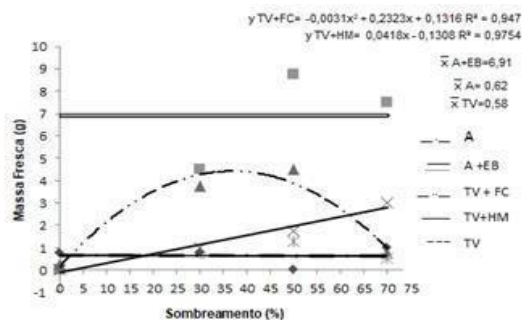
Resultados semelhantes foram observados por Costa *et al.*, (2011) que para altura das plantas em ambiente com maior sombreamento (tela preta 50%) obteve plantas de altura maior para as duas cultivares de rúcula, comparado com as plantas sob campo aberto, através dos resultados houve maior altura de plantas de rúcula quanto maior foi sombreamento.

Para a variável massa fresca, os dados obtidos mostram que o substrato areia teve uma média de 0,62 g, sem ajuste ao modelo de regressão quadrático. No substrato terra vegetal + fibra de coco, houve um resultado favorável, com as sementes de rúcula mantendo um valor máximo de 4,48 g e sombreamento de 37,47%. O substrato terra vegetal teve média de 0,58 g, enquanto o substrato areia + esterco bovino alcançou média de 6,91 g, ambos sem ajuste a modelos. Por fim, o substrato terra vegetal + húmus de minhoca aumentou linearmente, atingindo 2,79 g.

Para a variável massa fresca o substrato que obteve melhores resultados foi terra vegetal+ fibra de coco com valores máximos de 4,48 g e sombreamento de 37,47%. Costa *et al.*, (2011) observaram que na interação dos ambientes campo aberto e sombreamentos (30, 40 e 50%), as sementes plantadas no substrato comercial e no sombreamento 50% obtiveram melhores resultados de massa fresca da parte aérea e massa seca, quando comparadas com os demais sombreamentos e também em relação as rúculas sob campo aberto. Igualmente observado neste experimento onde a formulação do substrato a base de terra vegetal e fibra de coco tem melhor retenção de água e material orgânico, e em conjunto com o melhor sombreamento de 50% o que foi favorável a rúcula. Representadas respectivamente nas Figuras 5 e 6.



**Figura 5** - Comprimento de parte aérea de plântulas de rúcula submetidas a diferentes substratos: areia (a), areia+ esterco bovino (a+eb), terra vegetal+ fibra de coco (tv+fc), terra vegetal+ húmus (tv+hm), terra vegetal (tv) e telas de sombreamento 30, 50 e 75% e pleno sol.



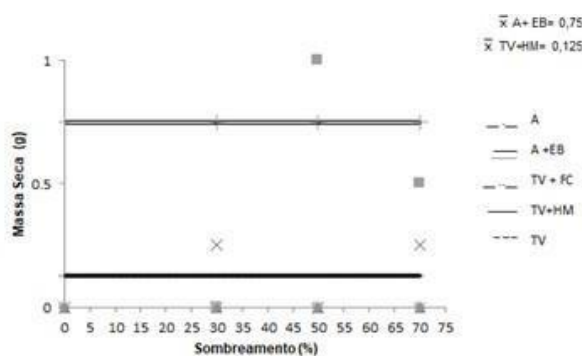
**Figura 6** - Massa fresca de plântulas de rúcula submetidas a diferentes substratos, areia (a), areia+ esterco bovino (a+eb), terra vegetal+ fibra de coco (tv+fc), terra vegetal+ húmus (tv+hm), terra vegetal (tv) e telas de sombreamento 30, 50 e 75% e pleno sol.

Fonte: Autores, 2024

Fonte: Autores, 2024.

Para a massa seca (Figura 7) nos substratos areia, terra vegetal+ fibra de coco, terra vegetal não se ajustaram a nenhum modelo estatístico e nem obtiveram média, já os substratos areia+ esterco bovino também não se ajustaram a nenhum modelo de regressão, porém obteve média de 0,75 g e terra vegetal+ húmus de minhoca média de 0,125 g. Nesta variável o substrato que obteve melhores resultados foi o de areia + esterco bovino que obteve média de 0,75g, e o não teve influência significativa do sombreamento.

Diferentemente Ensinas *et al.*, (2011) que trabalhando com rúcula em diferentes combinações de substrato, dentre eles substrato comercial e húmus verificaram que para a massa seca o melhor valor foi de (0,54g) nos tratamentos com a maior concentração do substrato comercial (100% S) e substrato + húmus (80%S + 20%H).



**Figura 7** - Massa seca de plântulas de rúcula submetidas a diferentes substratos, areia (a), areia+ esterco bovino (a+eb), terra vegetal+ fibra de coco (tv+fc), terra vegetal+ húmus (tv+hm), terra vegetal (tv) e telas de sombreamento 30, 50 e 75% e pleno sol.

Fonte: Autores, 2024.

### 3 Considerações Finais

O tratamento que obteve melhores resultados para manter a qualidade fisiológica das plântulas de rúcula foi de terra vegetal + fibra de coco, e o sombreamento que se destacou foi de 50% de sombra.

## Referências

- AMORIM, A.C; LUCAS JUNIOR, J.; RESENDE, K.T. Compostagem e vermicompostagem de dejetos de caprinos: efeito das estações do ano. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.57-66, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162005000100007> Acesso em: 04 nov. 2024
- CARRIJO, O. A.; LIZ, R. S.; MAKISHIMA N., Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola. **Revista Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20 n.4, p. 533-535, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/PQsvvcv3dgWRHGTYD9qsFML/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 04 nov. 2024
- COSTA, C. M. F.; SEABRA JÚNIOR, S.S.; ARRUDA, G.R.; SOUZA, S.B.S.; Desempenho de cultivares de rúcula sob telas de sombreamento e campo aberto. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 93-102, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32n1p93> Acesso em: 04 nov. 2024.
- ENSINAS, S. C; MAEKAWA JUNIOR, M. T.; ENSINAS, B. C. Desenvolvimento de mudas de rúcula em diferentes combinações de substrato. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**. Garça, v.18, n.1, p.1-7, jun, 2011. Disponível em: [https://faef.revista.inf.br/imagens\\_arquivos/arquivos\\_destaque/B35SdFAVvLDd3gl\\_2013-5-17-12-9-8.pdf](https://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/B35SdFAVvLDd3gl_2013-5-17-12-9-8.pdf). Acesso em: 04 nov. 2024
- FERREIRA, D.F.; SISVAR: um programa para análises ensino de estatística. **Ciência e Agroecologia (UFLA)**, Lavras, v.35, N.6, p.1039-1042, 2011. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/701738/1/Medicina.pdf> Acesso em: 04 nov. 2024
- FERREIRA, M.M.; SILVA, A.A.; SOUZA, G. S.; SANTOS, A.R.; Produção de mudas de rúcula em diferentes substratos cultivadas sob malhas coloridas. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.10, n.18; p. 2429, 2014. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/2852> Acesso em: 04 nov. 2024
- FILGUEIRA, A.R.; **Novo manual de olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3ª ed., Viçosa: UFV, p. 293-294, 2012.
- LIMA, C.J.G.; OLIVEIRA, F.A.; OLIVEIRA, M.K.T.; GALVÃO, D.C. Avaliação de substratos orgânicos na produção de mudas de tomate cereja. **Revista Ciência Agrônômica**, Ceará, v. 40, n.1, p. 123-128, 2009. Disponível em:

<http://periodicos.ufc.br/revistacienciaagronomica/article/view/83892> Acesso em: 04 nov. 2024.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v.2, n.1, p.176-177, 1962.

MINAMI, K.; PUCHALA, B. **Produção de mudas de hortaliças de alta qualidade. Horticultura Brasileira**. Brasília, v. 18, suplemento, p. 162-163, 2000.

MOREIRA, M. B.; MEDEIROS, C. A. **Princípios básicos de análise do comportamento**. Porto Alegre: Artmed, 2007.

NAKAGAWA, J. Teste de vigor baseados no desempenho de plântulas. In: KRYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA- NETO, J.B. (eds.) **Vigor de**

**sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, v.2, p.1- 24, 1999. Disponível em: <https://www.scrip.org/reference/referencespapers?referenceid=1017322> Acesso em: 04 nov. 2024.

OLIVEIRA, E. A. G.; **Desenvolvimento de substratos orgânicos, com base na vermicompostagem, para produção de mudas de hortaliças em cultivo protegido**. 2011. 65p. Tese (pós-graduação em fitotecnia) Universidade Federal Rural Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <https://rima.ufrj.br/jspui/handle/20.500.14407/13658> Acesso em: 04 nov. 2024.

RAMOS, A.R.P.; BARBOSA, A.C.A.; SILVA, E.F.; SOUZA, E.M.; ONO, E.O.;

RODRIGUES, J.D.; ARAGÃO, C. A.; **Influência do sombreamento na emergência de plântulas de rúcula no Submédio São Francisco**. In: Congresso Brasileiro De Olericultura, 47º. Brasília, 2007.

ROCHA, R.C. **Uso de diferentes telas de sombreamento no cultivo protegido do tomateiro**. 2007. 90p. Tese (Doutorado em Agronomia Horticultura) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007. Disponível em: <https://hdl.handle.net/11449/103226> Acesso em: 04 nov. 2024

RODRIGUES, G. S.O.; TORRES, S.B.; LINHARES, P. C. F.; FREITAS, R. S.;

MARACAJÁ, P. B.; Quantidade de esterco bovino no desempenho agrônômico da rúcula (*Eruca sativa* L.), cultivar cultivada. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.21, n.1, p.162-168, 2008.

TRANI, P. E.; FELTRIN, D.M.; POTT, C. A.; SCHWINGEL, M.; Avaliação de substratos para produção de mudas de alface. **Horticultura Brasileira**, Campinas, v. 25, n.2, p. 256-260, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362007000200025> Acesso em: 04 nov. 2024.

## CAPÍTULO 11: ENRAIZADOR E BIOESTIMULANTE NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE MILHO (*Zea mays* L.)

Leandra Matos Barrozo<sup>40</sup>; Daiza Silva Cavalcante<sup>41</sup>; Francisco Charles dos Santos Silva<sup>42</sup>; Alan Mario Zuffo<sup>43</sup>; Carla Fonseca Alves Campos<sup>44</sup>; Ricardo Mezzomo<sup>45</sup>

### Resumo

O uso de reguladores vegetais na cultura do milho vem sendo difundida, pois aumenta o desenvolvimento da planta. Objetivou-se avaliar a eficiência do enraizador e bioestimulante em diferentes dosagens. O experimento foi conduzido em ambiente protegido e no Laboratório de Solos da UEMA, Campus Balsas, utilizou-se a cultivar AL Bandeirante. Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 5 (Bioestimulante e enraizador e as dosagens respectivamente: 480, 490, 500, 510, 520 ml; 730, 740, 750, 760, 770 ml para 100kg de sementes) com quatro repetições. Avaliou-se: primeira contagem de emergência, emergência, índice de velocidade de emergência, comprimento da raiz, comprimento da parte aérea, massa fresca da raiz e parte aérea, massa seca da raiz e parte aéreas, plântulas normais, plântulas anormais. O Stimulate® mostrou efeito significativo em doses baixas e na recomendada de 500 ml/kg, enquanto o Formaiz Seed foi eficaz na dose de 456 ml.

**Palavras-chave:** Stimulate, vigor de plantas, reguladores vegetais.

### 1 Introdução

O milho (*Zea mays*) é uma das culturas de maior eficiência comercial, originado das Américas, mas especificamente no México, América Central ou Sudoeste dos Estados Unidos à produção dessa cultura tem crescido anualmente, pelas atividades de avicultura e suinocultura, onde o milho é consumido diretamente ou pode ser utilizado na fabricação de rações e destinado ao consumo de animais (Marchi, 2008). Esses reguladores são definidos como substâncias naturais ou sintéticas que podem ser aplicadas diretamente nas plantas, em sementes e no solo, com a finalidade de incrementar a produção e melhorar a qualidade de sementes. Entre as várias alterações os reguladores de crescimento influenciam o metabolismo

<sup>40</sup> Universidade Estadual do Maranhão, Departamento de Agronomia, leandrabarrozo1@gmail.com

<sup>41</sup> Universidade Estadual do Maranhão, Departamento de Agronomia, fcsantossilva-ma@hotmail.com

<sup>42</sup> Universidade Estadual do Maranhão, Departamento de Agronomia, alan\_zuffo@hotmail.com

<sup>43</sup> Universidade Estadual do Maranhão, Departamento de Agronomia, carlacampos@professor.uema.br

<sup>44</sup> Universidade Estadual do Maranhão, Departamento de Agronomia, ricardomezzomo@professor.uema.br

<sup>45</sup> Universidade Estadual do Maranhão, Departamento de Agronomia, daysasilva\_17@hotmail.com

proteico, podendo aumentar a taxa de síntese de enzimas envolvidas no processo de germinação das sementes (McDonald; Khan, 1983) e ainda no enraizamento, floração, frutificação e senescência de plantas (Castro; Vieira, 2001). Esses reguladores agem no crescimento das plantas fazendo uma melhoria da tolerância aos estresses abióticos. Os efeitos desses produtos estão baseados na habilidade de agir influenciando a atividade hormonal das plantas.

Os fitohormônios são mensageiros químicos que regulam o desenvolvimento normal das plantas pelo crescimento de raízes e parte aérea, além de regularem as respostas do ambiente onde elas se encontram (Long, 2006). Os enraizadores tem como objetivo estimular e aumentar a formação de raízes, uma vez que há grande influência da arquitetura radicular sobre a produtividade das culturas (Vieira; Santos, 2005). Krzyzanowski et al., 2020 preconiza que o teste de vigor é utilizado com várias finalidades, mas a razão fundamental é a determinação do potencial fisiológico de um lote de sementes. Esse teste tem sido adotado em empresas para verem o controle de qualidade das sementes, pois, em poucos dias pode-se obter informações relativamente seguras sobre o potencial de armazenamento dos lotes processados e, dependendo do seu histórico, a potencialidade de emergência das plântulas em campo (Santos et al., 2002).

Diante do exposto, objetivou-se avaliar a eficiência de diferentes dosagens do enraizador Formaiz seed (5% de Mo e 10% de Zn) e do bioestimulante Stimulate (0.09 de Cinetina, 0.05 de ácido Giberélico e 0.05 de Ácido Giberélico) no potencial fisiológico de sementes de milho.

## **2 Material e Métodos**

### **2.1 Instalação e Condução do Experimento**

O experimento ocorreu em ambiente protegido, com sementes semeadas manualmente em bandejas plásticas preenchidas com areia lavada, a 2 cm de profundidade. As bandejas, com orifícios no fundo para drenagem, receberam irrigação duas vezes ao dia, assegurando disponibilidade hídrica. Utilizou-se a cultivar AL Bandeirante, de ciclo semi-precoce.

### **2.2 TrataTamentos e variáveis analisadas**

A aplicação dos produtos Stimulate® e do enraizador Formaiz Seed foi

realizada manualmente nas sementes, utilizando as respectivas dosagens de 480, 490, 500, 510 e 520 ml para o Stimulate®, e de 730, 740, 750, 760 e 770 ml para o Formaiz Seed, ambos por 100 kg de sementes.

O tratamento das sementes foi realizado utilizando-se sacos plásticos transparentes, no qual as sementes eram postas e em seguida com o auxílio de uma pipeta foi realizada a aplicação das referidas dosagens. Após a aplicação do produto sobre as sementes, os sacos foram inflados e agitados vigorosamente durante alguns dois minutos visando uniformizar a distribuição dos tratamentos sobre as sementes. Depois de tratadas, as sementes foram deixadas a sombra por uma hora para secar, após este período de uma hora o ensaio foi instalado.

Foram analisadas as seguintes variáveis: Emergência: as avaliações foram efetuadas diariamente até a estabilização das plântulas, a qual ocorreu aos 21 dias. A umidade da areia foi mantida por meio de regas diárias com regador manual; Primeira contagem de emergência (PCE): foi efetuada em conjunto com o teste de emergência, computando-se a percentagem de plântulas normais, os dados foram expressos em percentagem; Índice de velocidade de emergência (IVE): foi calculado de acordo com a fórmula de Maguire (1962); Comprimento de raiz (CR) e Comprimento da parte aérea (CPA): Ao final do teste de emergência as raízes e a parte aérea das plântulas foram submetidas a medições com régua graduada, os dados são expressos em cm; Massa fresca de raiz (MFR) e Massa fresca da parte aérea (MFPA): Após as medições de raiz e parte aérea, as plantas foram cortadas separando as raízes da parte aérea e em seguida pesadas em balança analítica de precisão. Massa seca de raiz e parte aérea (MSR) e (MSPA): Após a pesagem da massa fresca da raiz e parte aérea das plântulas elas foram submetidas à secagem em estufa, decorrido desse período foi realizado a pesagem do material seco em balança analítica de precisão, com os resultados expressos em g plântulas. Número de plântulas normais (NPN) e anormais (NPA): adotou-se os critérios de Brasil, 2009.

### **2.3 Delineamento Experimental**

Foi adotado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 2 x 5 (produtos e dosagens), com 11 tratamentos e 4 repetições sendo cada repetição com 25 sementes, em 5 doses diferentes de enraizador, e do bioestimulante totalizando 100 sementes por tratamento. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e de regressão polinomial, verificando-se os

efeitos linear, quadrático e cúbico das variáveis, em função dos tratamentos, sendo selecionado para expressar o comportamento de cada variável, o modelo significativo de maior ordem. Foi utilizado o Programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011).

### 3 Resultados e discussão

Na Tabela 1, estão os dados referentes ao resumo do quadro de análise de variância, pode-se verificar que as variáveis, emergência em campo (EC) e plantas normais (PLN) não foram significativamente influenciadas pelas dosagens do Stimulate® e Formaiz seed (Tabela 1). Também se pode observar (Tabela 1) que para os testes de primeira contagem (PC), índice de velocidade de emergência (IVE), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento da raiz (CPR), plântulas anormais (PLAN), massa seca da parte aérea (MAS), massa seca da raiz (MSR) massa fresca da parte aérea (MPFA), massa fresca da raiz (MFR) obtiveram significância para ( $p < 0,01$ ) para o bioestimulante e enraizador aplicados via semente de milho.

Tabela 1 - Resumo da análise de variância de sementes de soja submetidas diferentes produtos e dosagens para as variáveis

Fonte de Variação	QM											
	GL	P.C	EM	I.V.E	CPA	CPR	PLN	PLAN	MSA	MSR	MPFA	MFR
Produtos	1	462.52*	2.52 NS	7.52*	24.08*	99.18*	0.02 NS	2.08 NS	0,52*	6.75*	15.18**	67.68 NS
Dosagens	4	159.50*	1.67 NS	1.70*	8.15*	17.67*	1.47 NS	2.49 *	0,47*	1.45*	14.82*	115.15**
ProdutosxDoses	4	462.52*	2.52**	7.52*	24.08*	99.18*	0.02*	2.08*	0,52*	6.75*	15.18*	67.68*
erro	39	8.29	1.95	0.21	0.51	4.79	2.68	0.80	0,62	0.34	3.04	50.13
Media	—	12.56	24.02	4.93	14.50	27.72	22.27	1.70	1.97	3.75	14.14	41.31
CV%	—	22.93	5.82	9.40	4.94	7.90	7.36	52.54	12.63	15.71	12.34	17.14

\* Significativo a 1% de probabilidade, \*\* significativo a 5% de probabilidade e ns = não significativo

Fonte: Autores, 2024.

Na tabela 1 leia-se: primeira contagem de emergência (PC), emergência (E), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento da raiz (CPR), plântulas normais (PLN). plântulas anormais (PLAN), massa seca da parte aérea (MAS), massa seca da raiz (MSR) massa fresca da parte aérea (MPFA), massa fresca da raiz (MFR)

Para primeira contagem de emergência (PCE), emergência (E), índice de

velocidade de emergência (IVE) e comprimento da parte aérea (CPA) (Figura 1), observa-se que as variáveis não se ajustaram ao modelo de regressão polinomial, onde os R<sup>2</sup> encontrados foram menores que 50%. Com o uso do Stimulate a PCE foi de 15,66% e com o Formaiz de 8,5%; e para E, IVE e CPA com o uso de Stimulate e Formais foi de 24,25% e 23,79; 5,33 e 4,54 e de 15,20 cm e 13,79 cm, respectivamente.

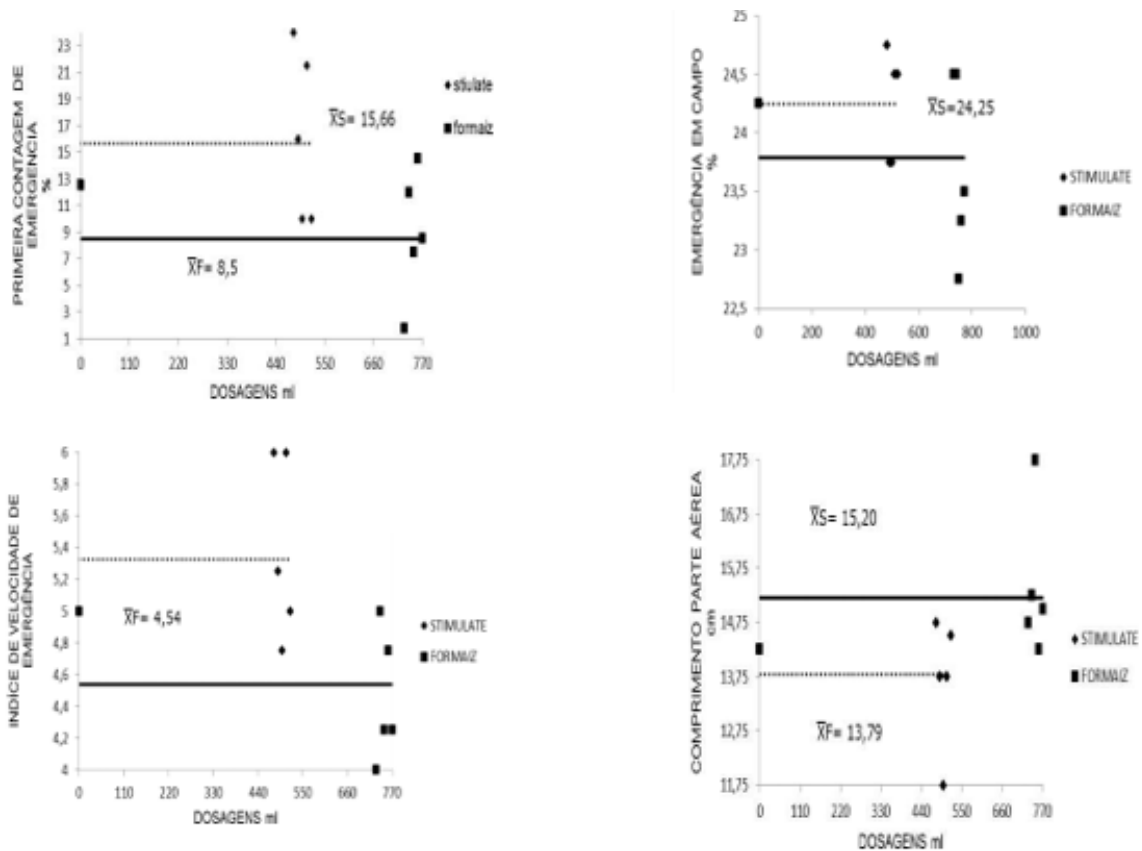


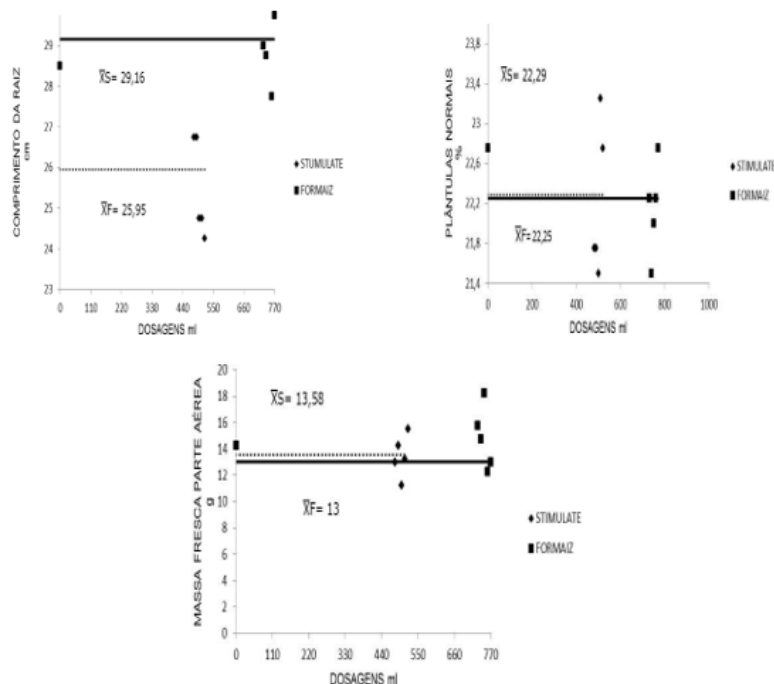
Figura 1 - Primeira contagem de emergência (PCE), emergência (E), índice de velocidade de emergência (IVE) e comprimento da parte aérea (CPA) de plântulas de milho submetidos a Stimulate® e o enraizador Formaiz S em diferentes dosagens  
 Fonte: Autores, 2024.

Ferreira et al. (2001) observaram que fertilizantes à base de molibdênio não tiveram efeito significativo no vigor de sementes de feijão no teste de primeira contagem. Ribeiro; Santos; Menezes et al. (1994) notaram menor vigor em sementes de milho tratadas com fertilizantes de Zn. Em contraste, Cato (2006) reportou aumento no vigor de sementes de trigo tratadas com o bioestimulante Stimulate®, conforme os testes de emergência e altura de plântulas. Tavares et al. (2007) e Barros et al. (2001) não detectaram diferenças significativas em vigor e emergência

de plântulas com thiametoxan em soja e feijão, respectivamente. Marschner (1995) observou que sementes de milho tratadas com o bioestimulante Stimulate®, contendo zinco e molibdênio, apresentaram redução no vigor comparado à testemunha, segundo o índice de velocidade de emergência. Silva; Carvalho (2009) relataram estímulo no crescimento de plântulas de girassol tratadas com extrato de confrei, indicando que as diferenças nos resultados podem estar relacionadas às espécies ou ao estado nutricional. Veloso (2009) e Castro (2008) não observaram influência significativa do Stimulate® no comprimento da parte aérea de sementes de soja, resultados similares aos de Klahod (2005) em experimentos com vasos.

Para as variáveis comprimento de raiz e massa fresca da parte aérea, verifica-se que os dados referentes às sementes tratadas com ambos os produtos Stimulate® e Formaiz, foram significativos, porém não se ajustaram a nenhum modelo de regressão polinomial, com valores médios a Stimulate 29,16cm e Formaiz 25,95cm para comprimento de raiz e para massa fresca da parte aérea Stimulate 13,58 e Formaiz,13. Já a variável plântula normal quando tratada com os dois produtos não obteve efeito significativo assim não se ajustando ao modelo de regressão polinomial, obtendo média Stimulate 22,29% e Formaiz 22,25%.

Figura 2 - Comprimento da raiz, plântulas normais e massa fresca da parte aérea de plântulas de milho submetidos a Stimulate® e o enraizador Formaiz em diferentes dosagens.



Fonte: Autores, 2024.

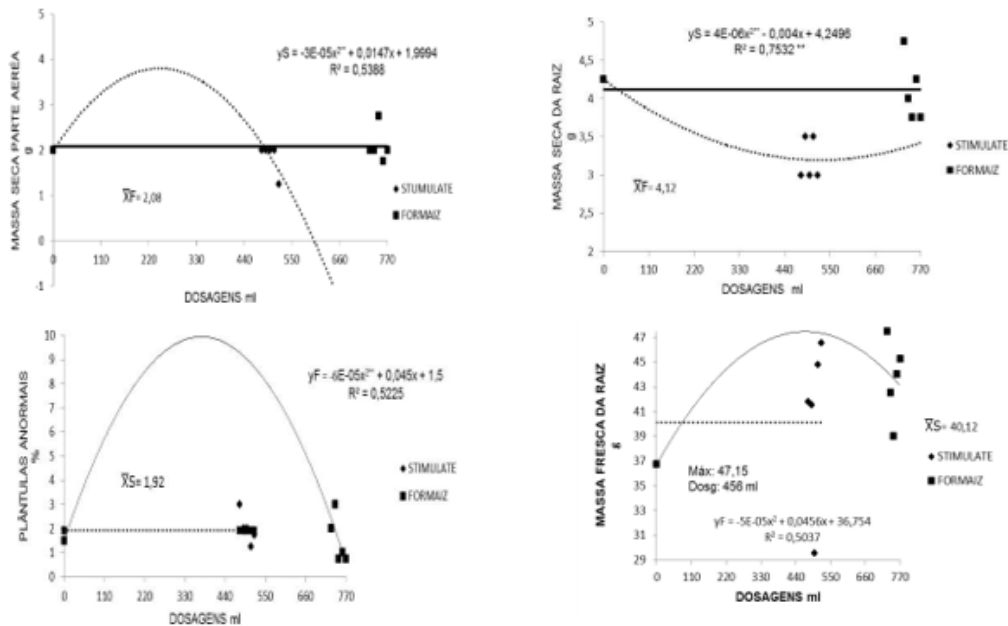
Veloso (2009), em experimento de campo com soja, observou que o comprimento de raiz e a altura das plantas aos 25 dias após a semeadura não foram significativamente influenciados pelas doses de 0; 3,25; 6,75; e 7,5 mL/kg de sementes de Stimulate®. Em contraste, Viera (2005) encontrou um aumento de 45,5% no comprimento das raízes de sementes de algodão tratadas com 17,4 mL de Stimulate® por 0,5 kg de sementes.

Cato (2006) avaliou o efeito do Stimulate® em doses de 0,0; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0; e 10,0 mL/kg de sementes de amendoim (IAC Tatu ST) e observou aumento significativo na porcentagem de plântulas normais com concentrações de 3,5 a 5,0 mL/kg. Nicchio et al. (2013) reportaram que o ácido húmico (Adubem Agrega®), nas doses de 0; 25; 37,5; 50,0; e 62,5 mL/kg, não aumentou o vigor de plântulas nem o teor de massa fresca e seca total, parte aérea e raiz em sementes de milho.

A massa seca da parte aérea (Figura 3) alcançou o valor máximo de 3,80 g com a aplicação de 245 ml de Stimulate®, enquanto para Formaiz Seed a média foi de 2,08 g, sem ajuste ao modelo de regressão. A massa seca da raiz (Figura 3) com 500 ml de Stimulate® foi de 3,25 g. Em relação às plântulas anormais (Figura 3), o Formaiz Seed apresentou um máximo de 9,94% na dosagem de 375 ml. Já a massa fresca da raiz (Figura 3) atingiu um valor máximo de 44,15 g com a dosagem de 456 ml.

O uso do bioestimulante Cellerate® (Zn e Mo) em milho e soja aumentou significativamente a massa seca da parte aérea em comparação com a testemunha (Vieira et al., 2001; Prado et al., 2007). Vieira; Castro (2004) concluíram que o Stimulate® melhora processos fisiológicos em plantas, especialmente entre 10,5 e 21,0 mL/0,5 kg de sementes de soja. Vieira; Castro, Monteiro et al. (1999) observaram redução de plântulas anormais de soja com 2,0 e 3,0 mL de Stimulate® por 0,5 kg de sementes.

Figura 3 - Massa seca da parte aérea, massa seca da raiz, plântulas anormais e massa fresca da raiz plântulas de milho submetidos a Stimulate® e o enraizador Formaiz em diferentes dosagens



Fonte: Autores, 2024.

## 4 Conclusão

O Stimulate® obteve efeito significativo quando aplicado a dosagens baixas e a recomenda de 500 ml kg<sup>-1</sup>. Para o Formaiz seed também teve causado efeito quando aplicado na dosagem de 456 ml.

## Referências

BARROS, R. G.; YOKOYAMA, M.; COSTA, J. L. DA S. Compatibilidade do inseticida thiamethoxan com fungicidas utilizados no tratamento de sementes de feijoeiro. Pesquisa Agropecuária Tropical, 31 (15),153-157, 2001. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/28445/1/pat31n2Barros.pdf>. Acesso 2m 20 out, 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para Análise de Sementes. Brasília: MAPA/ACS, 2009. Acesso em: 20 out. 2024.

CATO, S.C. Ação de bioestimulantes nas culturas do amendoizeiro, sorgo e trigo e interações hormonais entre auxinas, citocinina e giberilinas. 2006 120p. Tese (doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

CASTRO, G. S. A et al. Tratamento de semente de soja com inseticidas e um bioestimulante. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43(10), 1311-1318, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008001000008> . Acesso em: 20 out. 2024

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, 3(6), 1039-1042, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/yjKLJXN9KysfmX6rvL93TSh/?lang=en>. Acesso em 10 out. 2024.

FERREIRA, A.C.B.; ARAUJO, C. A. A.; PEREIRA, P.R.G.; CARDOSO, A.A. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. *Scientia Agrícola*, 58(1), 131-138, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162001000100020>. Acesso: 20 out 2024

KRZYZANOWSKI, F. C., VIEIRA, R. D., FRANÇA-NETO, J. B., & MARCOS-FILHO, J. (Eds.). (2020). *Vigor de Sementes: Conceitos e Testes* (2ª ed.). Londrina: ABRATES.

KLAHOD, C.A. Resposta da soja (*Glycine max*) a ação de bioestimulante. 2005 37p, Tese (Dissertação de Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. LONG, E. The importance of biostimulants in turfgrass management. Disponível em: <http://www.golfenviro.co.uk/article%2Farchive%2Fbiostimulants-roots.html>. Acesso em 24 out. de 2024.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2(2), 176-177, 1962. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>. Acesso em: 20 out. 2024.

MARCHI, S. L. Interação entre desfolha e população de plantas na cultura do milho na Região Oeste do Paraná. Dissertação. Paraná, Dez. 2008.

McDONALD, M. D.; KHAN, A. A. Acid scarification and protein synthesis during seed germination. *Agronomy Journal*, 2(75), 111-114, 1983.

PRADO NETO, M; DANTAS, L. V. C. A.; VIEIRA, E. L.; ALMEIDA, V. O. Germinação de sementes de jenipapeiro submetidas à pré-embebição em regulador e estimulante vegetal. *Ciência e Agrotecnologia*, 31(3), 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000300014>. Acesso em 20 out. 2024.

RIBEIRO, N.D.; SANTOS, O.S dos; MENEZES, N.L. Efeito do tratamento com fontes de zinco e boro na germinação e vigor de sementes de milho. *Scientia Agrícola*, 51, 481-485, 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-90161994000300017>. Acesso em 20 out. 2024.

SILVA, A.G.; CARVALHO, R.I.N. Efeito alelopático de extratos de carqueja (*Baccharis trimera*) e confrei (*Symphytum officinale*) em sementes e plântulas de

girassol. Revista. Acadêmica. Ciências. Agrária Ambiental, 7(1), 23-32, 2009. Disponível em: <https://periodicos.pucpr.br/cienciaanimal/article/view/8864/8519>. Acesso em 20 out.2024.

SANTOS, P.M.; GONDIM, T.C.O.; ARAÚJO, E.F.; DIAS, D.C.F.S. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milho-doce pelo teste de envelhecimento acelerado. Revista Brasileira de Sementes, Pelotas, v.24, n.1, p.91-96, 2002.

TAVARES, S.; CASTRO, P. V.; ARAMAKI, P. H. Avaliação dos efeitos fisiológicos de thiametoxan no tratamento de soja. Revista de Agricultura, 82, 47-54, 2007. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=000132&pid=S0101-3122200900030001000013&lng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000132&pid=S0101-3122200900030001000013&lng=en). Acesso em: 20 out. 2024.

VELOSO, F.G.L. Bioestimulante na qualidade fisiológica de sementes de soja. 2009 p 31, Monografia – Universidade Estadual de Montes Claros.

VIEIRA, E. L.; CASTRO, P. R. C. Ação de Stimulante na germinação de sementes, vigor de plântulas e crescimento radicular de plantas de milho (*Zea mays* L.). Piracicaba: Esalq-USP, 2001. 15 p. (Relatório técnico).

## CAPÍTULO 12: IDENTIFICAÇÃO DOS ESTÁDIOS FENOLÓGICOS DA SOJA IRRIGADA POR ÍNDICES DE VEGETAÇÃO OBTIDO POR SENSOR ORBITAL COM 5 DIAS DE RESOLUÇÃO TEMPORAL

Luis Fernando Rocha Scherer<sup>46</sup>; Maria Lusiane Matos<sup>47</sup>; Daniel Dos Santos Coelho<sup>48</sup>; Hitallo Martins Hartmann<sup>49</sup>; Leticia Carrazana Martinez<sup>50</sup>; Yasmim Rodrigues de Matos da Silva<sup>51</sup>; Francisco Charles dos Santos Silva<sup>52</sup>

### Resumo

A cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merr.) possui alguns desafios, principalmente, quanto a produção sustentável, fazendo-se necessário o desenvolvimento de tecnologias que auxiliem a tomada de decisões de modo preciso e ágil, desde a semeadura até a colheita. Neste contexto, objetivou-se avaliar o potencial de uso de índices de vegetação obtido a partir de dados coletados por sensor orbital com 5 dias de resolução temporal na identificação dos estádios fenológicos da cultura da soja com fins de aplicação na agricultura de precisão. Desenvolvido em uma fazenda a 30 km da cidade de Balsas-MA, foram utilizadas como fonte de dados de reflectância, imagens do sensor WFI (Wide Field Imager) do Satélite Amazônia-1. Os índices NDWI, SAVI e GLI (quando analisados individualmente) e os índices RGB (quando analisados simultaneamente), mostraram-se mais eficientes para mensurar informações sobre os estádios fenológicos da soja.

**Palavras-chave:** Agricultura de precisão. *Glycine max* (L.). *Zea mays*.

### 1 Introdução

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é uma planta de ciclo anual originária do continente asiático, que posteriormente, graças ao melhoramento genético, passou a ser produzida mundialmente, sendo o seu cultivo introduzido em diferentes tipos de clima e solo (Almeida Júnior et al., 2020). Com isso a cultura alcançou valores expressivos de área plantada e produtividade, além de grande importância comercial, principalmente pela sua diversificação de uso, tais como, na alimentação animal e indústrias em geral (cosmética, farmacêutica, veterinárias e de biodiesel) (Lima;Martins,2021).

<sup>46</sup> Universidade Estadual do Maranhão-UEMA, Departamento de Agronomia, luisfernandorochascherer7@gmail.com

<sup>47</sup> UEMA, Departamento de Agronomia, slusiane81@gmail.com

<sup>48</sup> UEMA, Departamento de Agronomia, danilscb2019@gmail.com

<sup>49</sup> UEMA, Departamento de Agronomia, hartmannhitallo0924@gmail.com

<sup>50</sup> UEMA, Departamento de Agronomia, carrazanamartinezleticia@gmail.com

<sup>51</sup> UEMA, Departamento de Agronomia, yrms4546@gmail.com

<sup>52</sup> UEMA, Departamento de Agronomia, fcsantossilva-ma@hotmail.com

No entanto, o sistema de cultivo da soja possui alguns desafios, dentre os quais, a produção de maneira sustentável, seja no âmbito ambiental, social ou econômico. Necessitando, assim, do emprego de tecnologias que auxiliem a tomada de decisões de modo preciso e ágil, desde a semeadura até a colheita. Neste contexto, a determinação das mudanças fenológicas da planta de soja é uma informação relevante que auxilia no manejo fitossanitário, controle de acamamento, irrigação e aplicação foliar de nutrientes (Stochero et al., 2020; Gava et al., 2016; Foloni et al., 2018; Eccos et al., 2022; Drehmer et al., 2018).

Todavia, a identificação dos estádios fenológicos em grandes áreas é um trabalho oneroso, que demanda tempo e pessoal técnico especializado. Diante disso, o uso de técnicas de sensoriamento remoto, principalmente relacionado aos índices de vegetação (IVs), podem ser uma ferramenta para monitorar o desenvolvimento da soja a campo e a relação dessa cultura como fatores que condicionam a sua produção (solo, clima e relevo), bem como, disponibilizar dados sobre o estágio fenológicos da planta, a partir de estimativas da quantidade de energia eletromagnética refletida pelo dossel da cultura, após a interação com os pigmentos, água e os espaços intercelular no interior das folhas (Trindade et al., 2019; Oliveira et al., 2020).

Para a aquisição de dados de refletância da vegetação, que possibilitam a determinação desses índices, são utilizados sensores ópticos embarcados em satélites. Para as culturas da soja, que apresenta alterações morfofisiológicas em curtos intervalos de tempo, a disponibilização de imagens orbitais, da mesma área, a cada 5 dias pode ser uma excelente opção para definição de padrões fenológicos, todavia os sensores gratuitos que disponibilizam dados com esse intervalo de tempo (resolução temporal), coletam imagem em áreas amplas consequentemente possuem baixa resolução espacial, o que compromete o detalhamento de informações das áreas de interesse. Sendo necessários estudos que verifiquem a possibilidade de aplicação desses dados na cultura da soja.

## 2 Metodologia

A pesquisa foi desenvolvida na safra 2022/2023, em uma área de soja irrigada pertencente a fazenda Sementeira Cajueiro, localizada a 30 km da cidade de Balsas-Ma. O delineamento experimental adotado foi o em blocos casualizados, com 4 repetições. Para tanto, o pivô recebeu quatro blocos, espaçados entre si a cada 300 metros, cada bloco correspondendo a uma área circular de 10 metros de raio, cujo centro de cada bloco foi demarcado com receptor GPS de navegação.

Ao longo do ciclo da cultura, semanalmente, em três plantas de soja de cada repetição, foram avaliadas as seguintes variáveis agronômicas: Altura (ALT) – mensurada com auxílio de uma régua de 1 metro; Número de Folhas (NF) e Número de hastes laterais (NHL) - estimados por contagem manual; Diâmetro do Caule (DC) – mensurado com um paquímetro digital; Índice SPAD – mensurado com clorofilômetro modelo Minota SPAD-502; Estádio de Desenvolvimento Fenológico (EDF) – avaliado a partir da data de germinação das sementes, seguindo a classificação estabelecida pela EMBRAPA (2016); Índice de Área Foliar (IAF) – estimado a partir do método do disco, que consiste em estimar a área de todas as folhas por meio da relação entre a massa de uma área conhecida de folhas (Sousa et al., 2019); Massa Fresca da Parte Aérea (MFPA); Massa Fresca da Raiz (MFR) – obtidas a partir da pesagem em balança analítica; Massa Seca da Parte Aérea (MSPA); e Massa Seca da Raiz (MSR) – obtidas por secagem em estufa de circulação de ar forçado por 48 horas em temperatura de  $65 \pm 5$  °C, com posterior pesagem na balança analítica.

Além das variáveis agronômicas foram utilizadas, como fonte de dados de reflectância, imagens do sensor Wide Field Imager (WFI) embargado no Satélite Amazônia 1, que possui as bandas necessárias para a determinação dos índices de vegetação.

A resolução temporal de 5 dias do sistema-sensor possibilitou a coleta de informações espectrais em onze datas distintas entre os dias 21 de abril a 30 de junho, que possibilitaram a obtenção de informações das plantas de soja.

As projeções e correções necessárias nas imagens, bem como o cálculo dos índices de vegetação, foram realizados utilizando o software Qgis versão 3.14 (QGIS,2022), no sistema de coordenadas DATUM SIRGAS 2000 UTM Zona 23S.

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o aplicativo computacional Genes - Aplicativo computacional em genética e estatística (CRUZ, 2006).

### 3 Resultados e discussão

A distribuição dos dados coletados ao longo do ciclo da cultura da soja, para cada índice de vegetação, bem como, a significância do teste F, expostas no boxplot (diagramas de caixa) (Figura 1A), são indicativos que há diferença entre os índices de vegetação analisados.

Pelo bloxpot, é possível verificar que os índices, SAVI, NDVI, NDWI e VARI, foram os que apresentaram maior variabilidade de dados, demonstrando, assim, possuir maior sensibilidade às mudanças morfofisiológicas da cultura da soja. Esse fato é extremamente relevante para esse estudo uma vez que índices que possuem sensibilidade diferentes em relação as variações de crescimento e desenvolvimento da planta a campo, podem ter disparidade quanto a eficiência na identificação correta dos estádios fenológicos de uma lavoura.

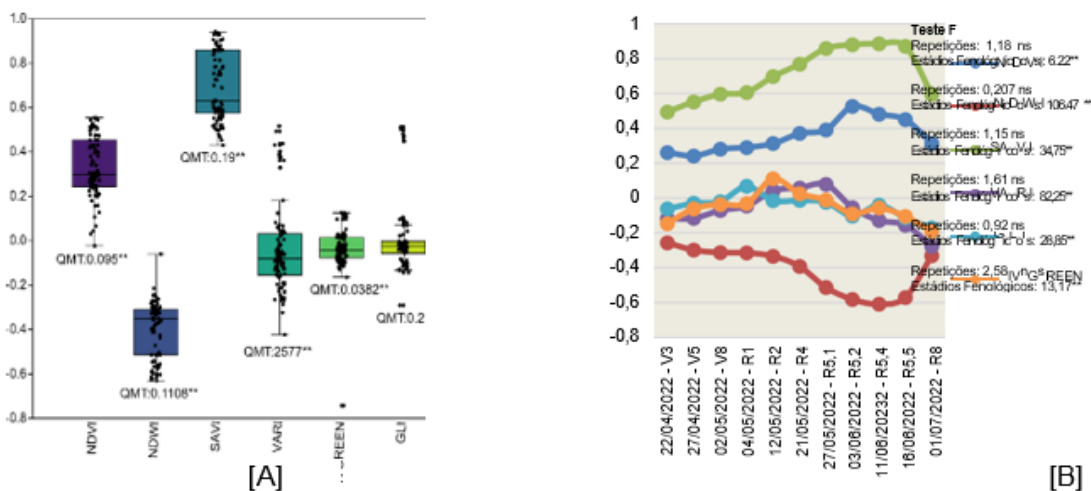


Figura 1 - Resultado do teste F obtido pela ANOVA e comportamento dos índices de vegetação por meio de gráfico bloxpot (A) e variação dos índices quanto ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura da soja (B).

\*\* e \* significância de 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

Fonte: Autores, 2024.

As significâncias do teste F para as datas de avaliação, em todos os índices (Figura 1B), demonstra que, um mesmo índice de vegetação apresenta valores diferentes entre os estádios fenológicos da soja. Os resultados apresentados na figura 2 mostram que houve diferença significativa a 1%

probabilidade nas médias de todos os caracteres agrônômicos analisados entre as diferentes épocas de avaliação. O que evidencia a variação dos mesmos ao longo do desenvolvimento da cultura da soja.

Quadrados Médios								
Variável	Repetições	Estádios Fenológicos	Variável	Repetições	Estádios Fenológicos			
ALT	11,700	593,10	**	MFR	1,728	7,278	**	
NF	11,99	*	125,92	**	MSR	0,0544	0,584	**
SPAD	1,370	60,81	**	NH	0,121	6,756	**	
DC	0,00189	0,06441	**	IAFu	10,26	97,92	**	
MSPA	55,500	2653,0	**					

Figura 2 - Resumo da análise de variância dos caracteres agrônômicos altura de plantas – ALT (cm); número de folhas – NF); índice SPAD – SPAD; diâmetro do caule – DC (mm); massa seca da parte aérea – MSPA(g); massa fresca da raiz – MFR (g); massa seca da raiz – MFR (g); número de hastes laterais – NHL; índice de área foliar (IAF), obtidos em lavoura de soja irrigada em diferentes épocas de avaliação. \*\* e \* significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F respectivamente.

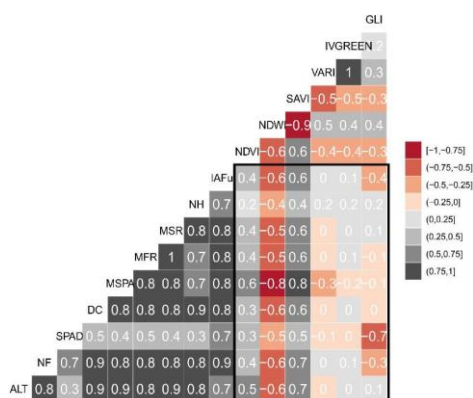


Figura 3. Estimativa das correlações entre as variáveis agrônômicas de soja e diferentes índices de vegetação obtidos por imagens do satélite Amazonia 1. ALT - altura de plantas (cm); NF - número de folhas; SPAD - índice SPAD; DC - diâmetro do caule (mm); MSPA - massa seca da parte aérea (g); MFR - massa fresca da raiz (g); MFR - massa seca da raiz (g); NHL - número de hastes laterais; IAF - índice de área foliar. Fonte: Autores, 2024.

Para mensurar a relação de variação do crescimento das plantas de soja em campo com as variações de reflectância dessa vegetação captadas pelo sensor *Wide Field Imager* (WFI) embargado no Satélite Amazonia 1, realizou-se uma análise de correlações entre as variáveis agrônômicas e os diferentes índices de vegetação analisados (Figura 3).

Os índices VIGREEN e VARI, calculados a partir das refletâncias nos comprimentos de onda vermelho, verde e azul (RGB), apresentam baixa correlação com variáveis agrônômicas, provavelmente pela ausência da faixa de infravermelho- próximo, que contribui com informações sobre a biomassa vegetal.

Conforme Weier Herring (2000), a faixa de infravermelho-próximo é sensível a variações morfológicas, o que torna os índices NDWI, SAVI e GLI mais eficazes na distinção dos estádios fenológicos da soja, com menores taxas de erro aparente (TEA). A máxima precisão desses índices foi observada nos estádios reprodutivos específicos, como R2 para VARI e VIGREEN, R5.1 para NDWI e SAVI, R5.2 para NDVI, e R8 para GLI e VIGREEN, com acertos de pelo menos 70%.

Na análise discriminante na qual foram analisados de forma conjunta os índices RGB (VARI, VIGREEN e GLI) a taxa de erro aparente foi de 37,5% (Figura 5A), valor inferior quando comparado com a mesma análise realizada para os índices que possuem a banda do infravermelho-próximo (NDVI, NDWI e SAVI), que apresentaram TEA de 40,90% (Figura 5B).

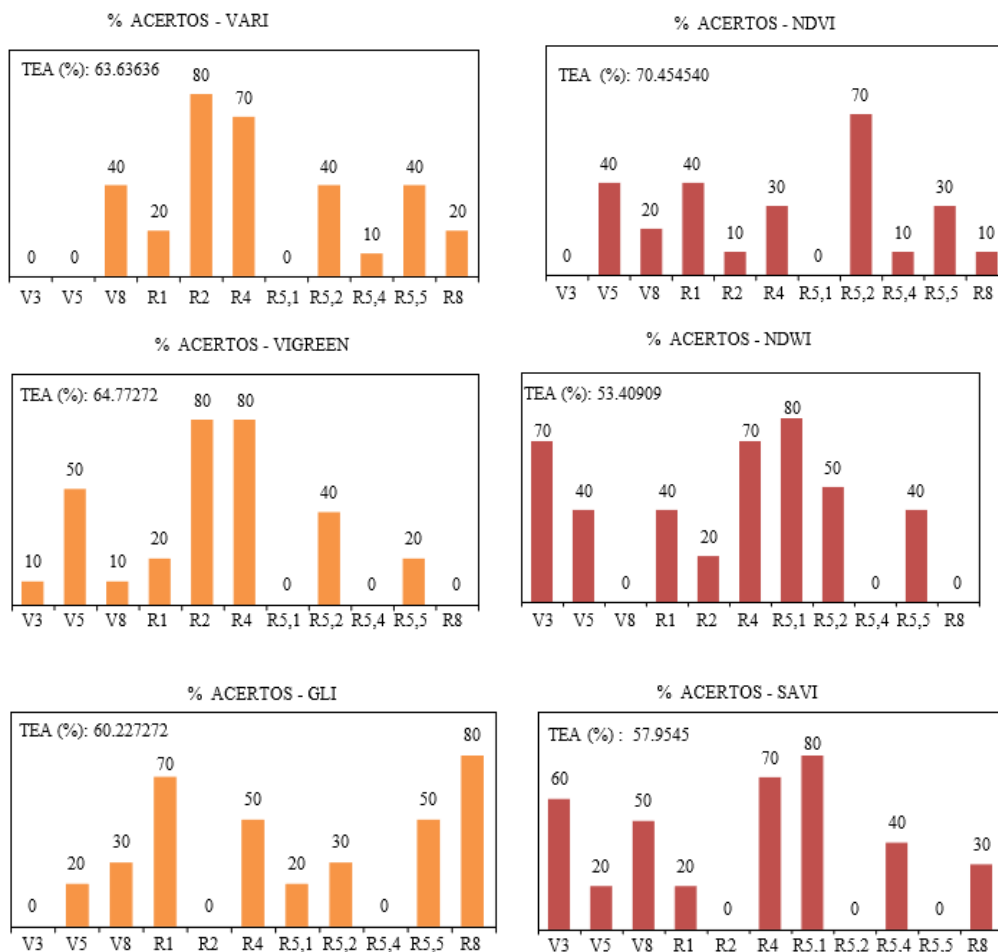


Figura 4: Porcentagem de acertos e taxa de erro aparente (TEA) da capacidade de identificação dos estádios fenológicos da soja por diferentes índices de vegetação via Análise discriminante.  
Fonte: Autores,2024.

Diante dos resultados, pode-se inferir que os índices RGB, quando analisados simultaneamente, são mais eficientes na obtenção de informações a respeito da planta de soja a campo, ao longo do seu ciclo. Em trabalhos realizados por Vergara-Diaz *et al.* (2016), Zhou *et al.* (2020) e Gracia-Romero *et al.* (2017), foi observado que índices RGB, em relação a índices que usam a banda do infravermelho, demonstraram um alto rendimento para a previsão precisa de rendimento de grãos, concentração de nitrogênio e fósforo na folha, proporção de carbono para nitrogênio sob uma ampla gama de níveis de fertilização de nitrogênio e efeitos das aplicações de fertilizantes fosfatados, na cultura do milho, e potencial de uso na seleção de cultivares de soja com tolerância à seca.

(A) % ACERTOS - ÍNDICES RGB



Figura 5 - Porcentagem de acertos e taxa de erro aparente (TEA) da capacidade de identificação dos estádios fenológicos da soja por diferentes grupos de índices de vegetação [RGB - (VARI, VIGREEN e GLI) e que possuem a banda do infravermelho-próximo (NDVI, NDWI e SAVI)] via Análise discriminante.

Fonte: Autores,2024.

Como pode ser observado, para as condições desse estudo, nenhum índice individualmente e, nenhum grupo de índices (RGB ou baseado em infravermelho- próximo), apresentou 100% de precisão na identificação dos estádios fenológicos da cultura da soja. Porém, eficiências iguais ou superiores a 70% foram observadas em algumas condições. Os índices RGB (VARI, VIGREEN e GLI) quando analisados simultaneamente são eficazes na identificação dos estádios V8, R1, R2 e R4 (Figura 5A), que coincidem com os estádios de menor eficiência dos índices que possuem a banda do infravermelho-próximo.

Segundo Andrade *et al.* (2019), índices que utilizam a banda do infravermelho apresentam saturação em estádios de maior densidade foliar, dificultando o monitoramento do crescimento e desenvolvimento da soja, especialmente no período reprodutivo. Em contraste, índices RGB não

apresentam esse problema e são eficazes na identificação desses estádios. Embora os índices infravermelhos (NDVI, NDWI e SAVI) sejam mais eficientes nos estádios iniciais, com precisão de 70% no estágio V3, a detecção do estágio R8 pelos índices RGB é facilitada pela mudança na coloração das folhas, resultante da degradação da clorofila.

#### 4 Conclusão

É viável o uso de índices de vegetação obtidos por imagens do sensor *Wide Field Imager* (WFI) embarcado no Satélite Amazonia 1 para identificação de estádios fenológicos da soja. Os índices de vegetação NDWI, SAVI e GLI, quando analisados individualmente, mostraram-se mais eficientes para mensurar informações sobre os estádios fenológicos da soja. Os índices RGB (VARI, VIGREEN e GLI) quando analisados simultaneamente são eficazes na identificação dos estádios V8, R1, R2, R4 e R8. Os índices que possuem a banda do infravermelho-próximo (NDVI, NDWI e SAVI), quando analisados conjuntamente foram mais eficientes na identificação dos estádios iniciais de desenvolvimento das plantas de soja, sobretudo para estágio vegetativo V3.

#### Referências

ALMEIDA JÚNIOR, J. J *et al.* Análise das variáveis tecnológicas na cultura da soja (*glycine max*) com utilização de remineralizador de solo com fertilizante. **Revista Braz. J. of Develop.**, v. 6, n. 8, p. 56835-56847, 2020.

[ANDRADE, R. G. et al.](#) Uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) como plataforma para monitoramento da produção agropecuária: estudo de caso para o milho forrageiro. Juiz de Fora: **Embrapa Gado de Leite**, 2019.

BERTOLIN, N. O et al. Predição da produtividade de milho irrigado com auxílio de imagens de satélites. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 4, p. 1627- 1638, 2017.

DREHMER, R.; LAJÚS G. L.; CERICATO, C. R. A. Rendimento da soja submetida a adição de fungicida multissítio em diferentes estádios fenológicos. **Anuário Pesquisa e Extensão Unoesc São Miguel do Oeste**, v. 3, p. 18891-18891, 2018.

ECCOS, M.; BACKES, J. C.; REUTER, R. F. Manejo de aplicação de boro no cultivo da soja. **Revista Científica Rural**, v. 24, n. 1, p. 12-25, 2022.

EMBRAPA. Estádios fenológicos e marchas de absorção de nutrientes da soja. 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1047123/estadios-fenologicos-e-marcha-de-absorcao-de-nutrientes-da-soja>.

FOLONI, J. S. S. Manejo de acamamento de cultivares de soja com lactofem em diferentes ambientes de produção. In: Embrapa Soja-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 8., 2018, Goiânia. Inovação, tecnologias digitais e sustentabilidade da soja: anais. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

GAVA, R.; FRIZZONE, J. A.; SNYDER, R. L.; ALMEIDA, B. M.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R. Estratégias de manejo de déficit hídrico na irrigação da cultura da soja. Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas, v. 10, n. 3, p. 305-315, 2016.

GRACIA-ROMERO, A. et al. Comparative Performance of Ground vs. Aerially Assessed RGB and Multispectral Indices for Early-Growth Evaluation of Maize Performance under Phosphorus Fertilization. Front Plant Sci., v. 27, n. 8, 2017.

GITELSON, A. A. et al. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. Remote sensing of Environment, v. 80, n. 1, p. 76-87, 2002.

LOUHAICHI, M. et al. Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. Geocarto International, v. 16, n. 1, p. 65-70, 2001.

MCFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. International journal of remote sensing, v. 17, n. 7, p. 1425-1432, 1996.

OLIVEIRA, M. R. et al. Espectrometria de reflectância aplicada à análise das deficiências de nitrogênio e potássio em algodoeiro. Revista Ciência Agronômica, v. 51, n. 4, 2020.

QGIS Development Team (2019). Geographic Information System (QGIS) software, version 3.14 Open source geospatial foundation project.

ROUSE, J.W. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. NASA Spec. Publ, v. 351, n. 1, p. 309, 1974.

SCHAPARINI, L. P et al. Análise comparativa entre índices de vegetação e sua relação com o balanço hídrico em soja. Revista Agrometeoros, v. 27, n. 1, p. 183-190, 2019.

SCHIRMBECK, L. W. et al. Condições hídricas de lavoura de soja usando sensoriamento remoto terrestre. Revista agrometeoros, v. 27, n. 1, p. 173-181, 2019.

STOCHERO, E. C et al. Fenologia de cultivares de soja em diferentes datas de semeadura em terras baixas. ScientiaTec, v. 7, n. 2, 2020.

TRINDADE, F. S. et al. Relação espectro-temporal de índices de vegetação com atributos do solo e produtividade da soja. Revista de Ciências Agrárias, v. 62, 2019.

VERGARA-DÍAZ, O. et al. A Novel Remote Sensing Approach for Prediction of Maize Yield Under Different Conditions of Nitrogen Fertilization. Front Plant Sci., v. 18, n. 7, 2016.

WEIER, J.; HERRING, D. Measuring Vegetation (NDVI & EVI). NASA Earth Observatory. Washington, DC, USA, 2000.

VIANA, S. et al. Análise visual de índices de vegetação utilizando imagens RGB para classificação de áreas de pastagens com presença de plantas invasoras. 2020.

ZHOU, J. et al. "Classification of Soybean Leaf Wilting Due to Drought Stress Using UAV-based Imagery." Computers and Electronics in Agriculture, v. 175, 20.

## CAPÍTULO 13: DIAGNÓSTICO SITUACIONAL SOBRE O USO DE AGROTÓXICOS PELOS AGRICULTORES FAMILIARES DA FEIRA MUNICIPAL DE BALSAS-MA

*Ynayanna Nariza Medeiros Silva<sup>53</sup>; Priscila Mayana Modesto de Jesus<sup>54</sup>; Emily Vitória Dias Fernandes<sup>55</sup>; Ângela Rayssa Melo dos Santos<sup>56</sup>; Sthefany de Oliveira Araújo<sup>57</sup> & Maria Luisa de Carvalho Schneider<sup>58</sup>*

### Resumo

Os agrotóxicos têm desempenhado um papel crucial na agricultura, permitindo um aumento significativo na produtividade. Porém, o uso desses produtos também levanta preocupações importantes. Este trabalho objetivou diagnosticar o uso de agrotóxicos pelos agricultores familiares que comercializam na feira municipal de Balsas-MA. Utilizou-se a pesquisa descritiva qualitativa, em que a coleta de dados foi obtida por meio de aplicação de questionários. Quando questionados sobre os tipos de agrotóxicos, 46% dos agricultores utilizam herbicidas e 36% inseticidas. Cerca de 50% leem os rótulos e bulas dos agrotóxicos que utilizam e 50% não leem. Em relação ao significado das cores dos rótulos, 47% dos agricultores conhecem os significados das cores de faixas e 53% não sabem o significado. Os agricultores que utilizam agrotóxicos em suas lavouras, dizem que a cultura do feijão, melancia e abóbora são as que eles mais aplicam os produtos, o tipo de agrotóxico mais utilizado é o herbicida.

**Palavras-chave:** Agricultura familiar, produtos químicos, sustentabilidade, saúde.

### 1 Introdução

Os agrotóxicos têm desempenhado um papel crucial na agricultura moderna, permitindo um aumento significativo na produtividade e na qualidade das colheitas. No entanto, o uso desses produtos químicos também levanta preocupações importantes sobre a saúde humana, o meio ambiente e a sustentabilidade das práticas agrícolas. Na agricultura familiar, essas preocupações são ainda mais acentuadas, dada a proximidade dos agricultores e de suas famílias às áreas de cultivo e à sua dependência direta dos produtos agrícolas para sustento e renda (Mattei; Michellon, 2021).

A agricultura familiar é caracterizada por pequenos produtores que utilizam a mão-de-obra familiar para manejar suas plantações e criações. Esse modelo de

<sup>53</sup> Instituto de educação, ciência e tecnologia do Maranhão - IEMA, Setor de recursos naturais, nayanna.ms24@hotmail.com

<sup>54</sup> IEMA, Setor de recursos naturais, agro.priscilamodesto@gmail.com

<sup>55</sup> IEMA, Setor de recursos naturais, emilyiema2024@gmail.com

<sup>56</sup> IEMA, Setor de recursos naturais, rayssaangela831@gmail.com

<sup>57</sup> IEMA, Setor de recursos naturais, sthefanyrodrigues024@gmail.com

<sup>58</sup> IEMA, Setor de recursos naturais, marialuisa125357@gmail.com

produção é fundamental para a segurança alimentar e o desenvolvimento econômico em diversas regiões do mundo, incluindo o Brasil. Contudo, a utilização de agrotóxicos por esses agricultores apresenta desafios específicos, como a falta de acesso a informações adequadas e a recursos para a aquisição de equipamentos de proteção individual (EPI), o que aumenta a vulnerabilidade desses agricultores a doenças e intoxicações (Brasil, 2006; Craveiro et al., 2019; Frota; Siqueira, 2021).

Estudos mostram que os agricultores familiares frequentemente não recebem treinamento adequado sobre o uso seguro de agrotóxicos, o que pode levar a práticas perigosas e exposição a substâncias tóxicas (Lopes; Albuquerque, 2018; Craveiro et al., 2019). Essa exposição pode resultar em uma série de problemas de saúde, desde irritações na pele e olhos até doenças crônicas mais graves, como câncer e distúrbios neurológicos (Frota; Siqueira, 2021). Além disso, a contaminação ambiental causada pelo uso inadequado de agrotóxicos pode afetar a biodiversidade e os recursos hídricos locais (Lopes; Albuquerque, 2018).

Para minimizar esses riscos, é fundamental implementar políticas públicas que promovam o uso responsável de agrotóxicos e a adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis. Programas de extensão rural e educação são essenciais para aumentar a conscientização sobre os riscos e os métodos alternativos de controle de pragas.

No geral, o uso indiscriminado de agrotóxicos tem sido bastante estudado, porém, na região do cerrado, em especial no município de Balsas-MA, na qual a pesquisa foi realizada não foi encontrado na literatura estudos a respeito. Assim, este trabalho teve por objetivo realizar um diagnóstico situacional sobre o uso de agrotóxicos pelos agricultores familiares que comercializam na feira municipal, nesse município, analisando suas percepções, conhecimentos e práticas relacionadas a esses produtos químicos.

## 2 Metodologia

O município de Balsas pertence a mesorregião sul do estado do Maranhão, com uma área total de 13.141,162 km<sup>2</sup>, tem uma população média estimada em 106.094 habitantes e densidade demográfica de 7,74 habitantes/km<sup>2</sup>. Ocupa a quinta posição no setor econômico, entre os 217 municípios do Maranhão, tendo a pecuária, a extração vegetal, a lavoura temporária, as

transferências governamentais, o ramo empresarial operante em 1.666 unidades e o trabalho informal configuram os recursos fundamentais que geram renda ao município (IBGE, 2023; Correia Filho, 2011).

A feira da agricultura familiar de Balsas ocorre no mercado público municipal Eduardo Feitosa, que foi inaugurado no dia 18 de fevereiro de 2022, onde seu interior é constituído por praça de alimentação, restaurantes e 47 boxes. Os espaços externos são disponibilizados para realização da feira dos produtores familiares que ofertam seus produtos, aos sábados, funcionando por volta das 6h às 12h, sendo essencial para o abastecimento interno do município.

A pesquisa foi desenvolvida na Feira Municipal Eduardo Feitosa, zona urbana no bairro centro, município de Balsas, Estado do Maranhão, no mês de outubro de 2024. Este estudo adotou uma abordagem quantitativa-descritiva, utilizando questionários estruturados para coletar dados sobre a percepção dos agricultores familiares da feira municipal quanto ao uso de agrotóxicos.

A população alvo do estudo consistiu de agricultores familiares que participam da feira. Os questionários foram aplicados presencialmente, abrangendo 15 agricultores selecionados aleatoriamente durante os dias de feira, visando representar a diversidade de produtores presentes (Figura 1).



Figura 1 - Alunos do IEMA – IP Balsas entrevistando agricultores familiares da feira municipal de Balsas - MA.

Fonte: Autores, 2024.

As questões abordaram temas relacionados ao uso de agrotóxicos (modelo de cultivo, culturas produzidas, aplicação de agrotóxicos na lavoura, tipo de agrotóxicos utilizados, em qual cultura aplica mais agrotóxicos, conhecimento dos riscos de contaminação dos alimentos com o uso de agrotóxicos, leituras dos rótulos e bulas, se possuem local apropriado para o armazenamento dos

agrotóxicos, definição de EPI, se usa o EPI completo, conhecimentos sobre os riscos etc.).

A tabulação de dados e a construção dos gráficos foram realizadas por meio do programa Microsoft Excel 2022. Os dados coletados foram analisados utilizando estatísticas descritivas, incluindo frequências e percentuais, para resumir as características da amostra e as respostas aos questionários.

### 3 Resultados e discussão

O resultado das entrevistas mostrou uma preferência significativa por modelos de cultivo orgânicos entre os agricultores familiares, com 54% adotando práticas orgânicas, 33% utilizando um modelo misto e apenas 13% optando pelo cultivo convencional (Figura 2).

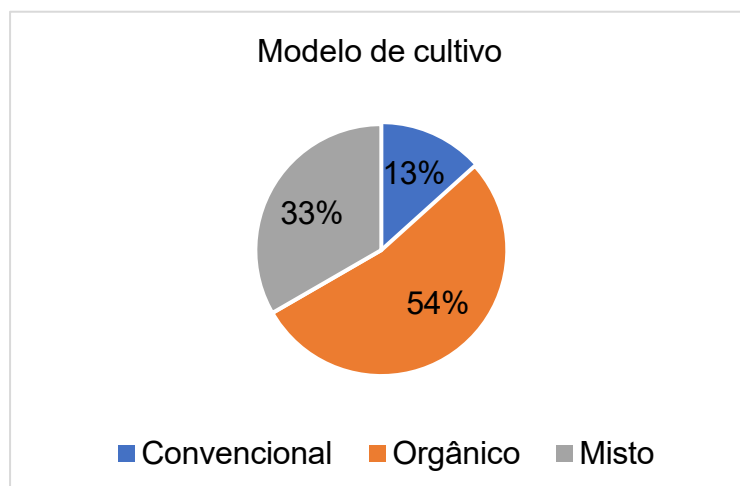


Figura 2 - Modelo de cultivo adotado pelos agricultores familiares da feira municipal de Balsas - MA.

Fonte: Autores, 2024.

A maioria dos agricultores familiares (54%) está adotando práticas de cultivo orgânicas, o que pode refletir uma preocupação crescente com a saúde, o meio ambiente e a sustentabilidade. O cultivo orgânico evita o uso de agrotóxicos e fertilizantes sintéticos, focando em práticas naturais. 13% dos agricultores familiares continuam a utilizar exclusivamente o modelo de cultivo convencional. Estudos mostram que a redução do uso de agrotóxicos pode diminuir os riscos de contaminação do solo e da água, bem como os riscos de doenças relacionadas à exposição a esses produtos (Mattei; Michellon, 2021).

Os dados das entrevistas revelam a diversidade e a importância das culturas produzidas pelos agricultores familiares, sendo mandioca, hortaliças e feijão as culturas mais produzidas (Figura 3). A mandioca é uma cultura fundamental na agricultura familiar, especialmente no Brasil. A predominância da mandioca reflete a tradição e a adaptabilidade dos agricultores familiares, além de seu uso versátil tanto na alimentação humana quanto na produção de farinha e outros derivados (Duarte et al., 2024; Silva, 2014).

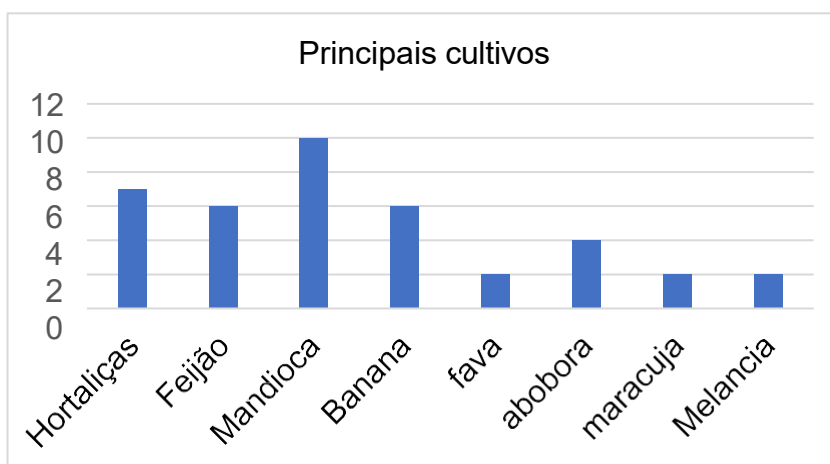


Figura 3 - Principais cultivos produzidos pelos agricultores familiares da feira municipal de Balsas - MA.

Fonte: Autores, 2024.

Os dados que mostram que 53% dos agricultores familiares não utilizam agrotóxicos em seus cultivos, enquanto 47% afirmam que os utilizam (Figura 4). Optar por métodos naturais pode refletir uma preocupação com a sustentabilidade e a segurança. A preferência pelo cultivo orgânico, que exclui o uso de químicos sintéticos, pode ser uma tendência crescente. Isso está alinhado com os dados anteriores sobre a alta adoção de práticas orgânicas entre os agricultores familiares. O custo dos agrotóxicos pode ser uma barreira significativa, levando os agricultores a buscar alternativas mais baratas ou a evitá-los completamente (Craveiro et al., 2019; Lopes; Albuquerque, 2018; Mattei; Michellon, 2021).

Por outro lado, os 47% que utilizam agrotóxicos refletem a realidade de que esses produtos ainda são uma ferramenta essencial para muitos agricultores, devido aos agrotóxicos serem eficazes no controle de pragas e doenças que podem devastar culturas. Porém, seu uso não pode ser de forma indiscriminada.

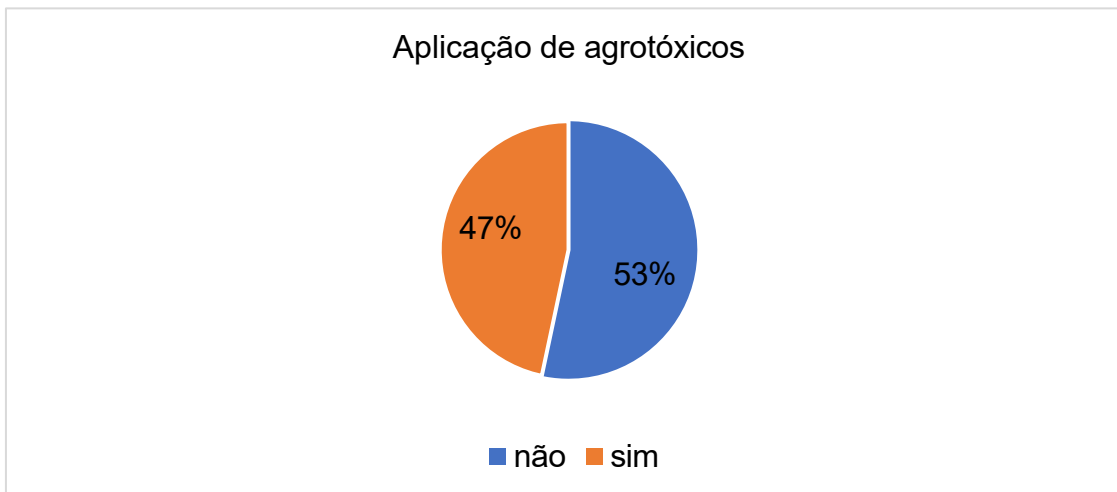


Figura 4 - Agricultores familiares da feira municipal de Balsas – MA, que fazem aplicação de agrotóxicos nas lavouras.  
 Fonte: Autores,2024.

Em relação aos tipos de agrotóxicos utilizados, os dados mostram que os agricultores familiares utilizam mais os herbicidas, com 46% mencionando seu uso predominante, seguidos pelos inseticidas, com 36% (Figura 5).

A utilização maior de herbicidas pode indicar que o controle de ervas daninhas é uma preocupação central para esses agricultores. As ervas daninhas competem com as culturas por recursos como luz, água e nutrientes, afetando diretamente a produtividade. Por outro lado, 36% dos agricultores mencionam os inseticidas como os agrotóxicos mais utilizados. Isso reflete a necessidade de controlar pragas e insetos que podem causar danos significativos às plantas.

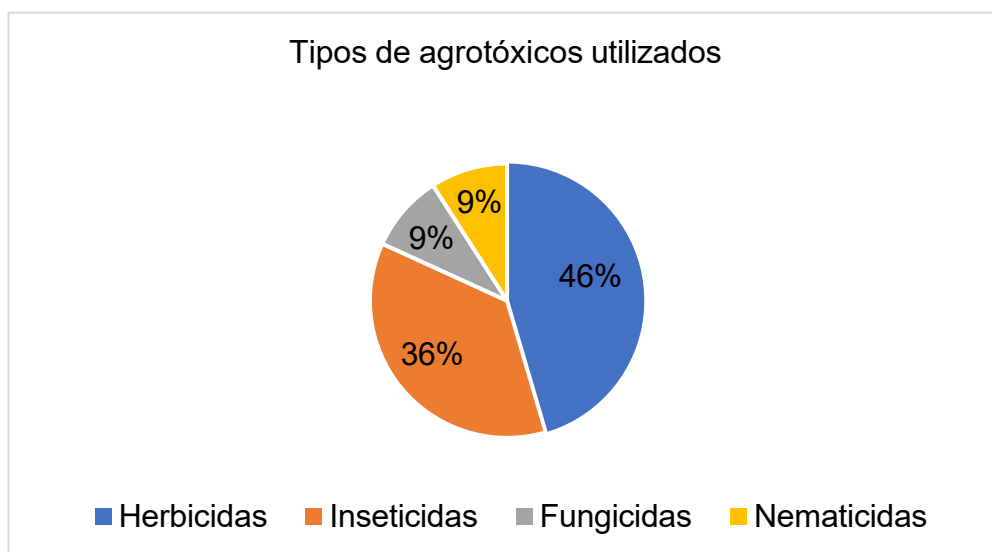


Figura 5 - Tipos de agrotóxicos mais utilizados pelos agricultores familiares da feira municipal de Balsas – MA.  
 Fonte: Autores,2024.

As culturas mais frequentemente tratadas com agrotóxicos pelos agricultores familiares são feijão, melancia e abóbora (Figura 6). O feijão é uma cultura essencial na dieta brasileira, rica em proteínas e nutrientes. No entanto, é suscetível a diversas pragas e doenças. A melancia é outra cultura popular, especialmente nas regiões mais quentes, onde pode ser cultivada em larga escala. Pragas, além de doenças fúngicas, são comuns nas plantações de melancia.

A abóbora é uma cultura versátil, utilizada tanto na alimentação humana quanto na criação de animais. Como a melancia, enfrenta uma variedade de pragas e doenças. A aplicação de agrotóxicos ajuda a proteger as plantas, evitando perdas significativas. O uso de agrotóxicos nessas culturas pode ser uma medida comum para proteger as plantas dessas ameaças e garantir uma colheita abundante.

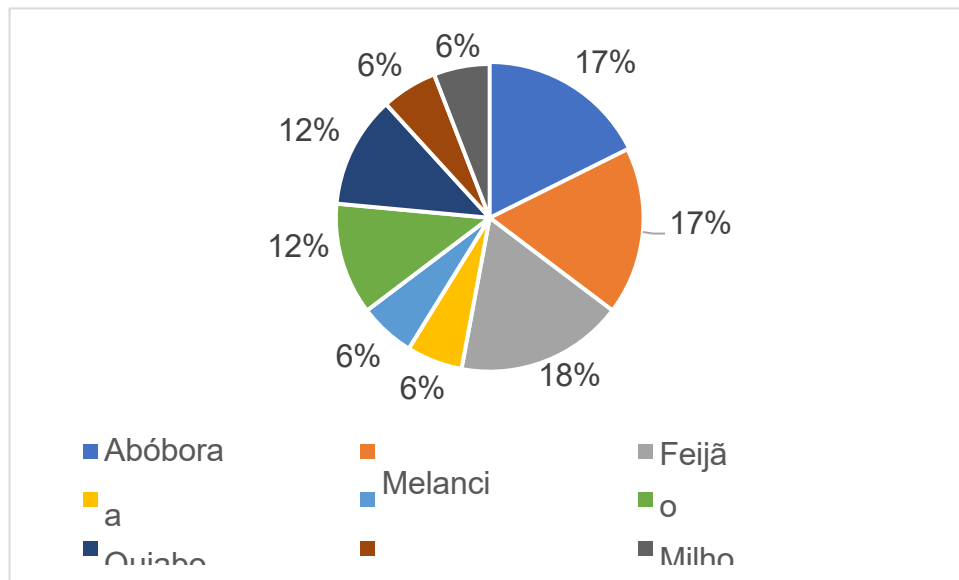


Figura 6 - Cultivos que mais utilizam agrotóxicos pelos agricultores familiares da feira municipal de Balsas – MA.

Fonte: Autores,2024.

Os dados sobre a leitura dos rótulos e bulas dos agrotóxicos pelos agricultores familiares revelam um ponto importante na gestão do uso desses produtos. Com 50% dos agricultores afirmando que leem os rótulos e bulas e 50% dizendo que não.

Primeiramente, a metade dos agricultores que lê os rótulos demonstra uma consciência sobre a importância de entender as instruções de uso, dosagens corretas e medidas de segurança. Isso é positivo, pois pode indicar uma tendência

a práticas mais seguras e responsáveis, reduzindo o risco de intoxicações e danos ambientais. Por outro lado, os 50% que não leem os rótulos e bulas levantam preocupações sérias.

A falta de leitura pode estar relacionada a fatores como baixo nível de escolaridade, dificuldades de compreensão do texto técnico, ou mesmo a crença de que a experiência prática substitui as instruções escritas. Essa falta de conhecimento pode levar ao uso inadequado dos agrotóxicos, aumentando os riscos de saúde e contaminação ambiental (Craveiro et al., 2019; Marangoni; Silva, 2005).

Os dados indicando que 57% dos agricultores familiares não armazenam agrotóxicos em locais específicos, enquanto 43% têm locais destinados ao armazenamento. A maioria que não armazena agrotóxicos em locais específicos representa um risco elevado para a saúde e segurança. Os principais pontos de preocupação incluem armazenar agrotóxicos junto a alimentos, sementes ou em áreas de convivência pode levar à contaminação, com consequências graves para a saúde. A ausência de locais seguros aumenta o risco de acidentes, especialmente entre crianças e animais domésticos, que podem entrar em contato acidentalmente com esses produtos. O armazenamento inadequado pode comprometer a eficácia dos agrotóxicos, devido a variações de temperatura, umidade e exposição à luz, afetando seu desempenho e aumentando os custos para os agricultores (Araújo, 2020; (Jacobson et al., 2009).

A maioria dos agricultores familiares responderam que sabem o que é EPI (Equipamento de Proteção Individual). Este conhecimento indica que a maioria está ciente da importância da segurança no trabalho agrícola, especialmente ao manusear agrotóxicos e outros produtos químicos perigosos. Sabendo o que é EPI, esses agricultores têm uma base para adotar práticas de segurança adequadas. Isso pode reduzir os riscos de intoxicação e acidentes, promovendo um ambiente de trabalho mais seguro. A parcela de 20% que não sabe o que é EPI destaca a necessidade urgente de intervenções educativas e informativas. Estes agricultores estão em maior risco de exposição a perigos químicos e acidentes de trabalho devido à falta de conhecimento e, possivelmente, de prática no uso de EPIs.

Os dados indicam que 53% dos agricultores familiares não sabem o significado da cor da faixa dos rótulos dos agrotóxicos, enquanto 47% afirmam que conhecem. A cor da faixa nos rótulos de agrotóxicos indica a classe toxicológica do produto, variando de extremamente tóxico (Categoria 1 - faixa vermelha) a Produto Não Classificado (faixa verde) (ANVISA, 2018). Não entender essas cores pode resultar no uso inadequado dos produtos, aumentando os riscos de intoxicação. Agricultores que não compreendem as faixas de cor podem não seguir as precauções adequadas para produtos mais perigosos, elevando os riscos para sua saúde e o meio ambiente. Conhecer a toxicidade dos produtos permite que esses agricultores adotem medidas de segurança apropriadas, como o uso de EPI's específicos e o cumprimento das recomendações de manuseio (Ribeiro, 2015; Craveiro et al., 2019).

A maioria dos agricultores, 57%, devolve as embalagens vazias, 23% descartam e 14% queimam. No Brasil, a Lei dos Agrotóxicos (Lei nº 7.802/1989) e o Decreto nº 4.074/2002 estabelecem que as embalagens devem ser devolvidas aos estabelecimentos comerciais para correta destinação. A devolução garante que as embalagens sejam recicladas ou descartadas de maneira segura, evitando contaminação. A devolução minimiza o risco de contaminação do solo e da água, promovendo práticas agrícolas mais sustentáveis.

Os 23% que descartam as embalagens vazias representam um risco considerável. O descarte inadequado pode levar à contaminação de áreas agrícolas, corpos d'água e até de áreas residenciais, com consequências ambientais graves. Agricultores e comunidades próximas podem estar expostos a resíduos tóxicos, aumentando o risco de doenças. Os 14% que queimam as embalagens vazias também levantam preocupações sérias. Queimar embalagens de agrotóxicos libera substâncias tóxicas e poluentes atmosféricos, prejudicando a qualidade do ar e a saúde pública. A inalação de fumaça tóxica pode causar problemas respiratórios, irritações e doenças mais graves. A falta de informações a respeito do manuseio de agrotóxicos representa um risco para os agricultores familiares e consumidores da feira municipal de Balsas - MA.

#### 4 Considerações finais

Enquanto a maioria dos agricultores familiares parece estar aplicando agrotóxicos de forma segura, um número significativo ainda enfrenta riscos de saúde. Abordar essas questões através de educação, acesso a recursos e suporte contínuo é crucial para promover práticas agrícolas mais seguras e sustentáveis. Para melhorar a segurança e eficiência no uso de agrotóxicos, várias medidas podem ser adotadas: Programas de educação contínua sobre as melhores práticas de armazenamento e manuseio de agrotóxicos são essenciais. Workshops, cursos e materiais educativos podem ajudar a aumentar a conscientização sobre os riscos e a importância do armazenamento e uso adequado.

#### Referências

Agência de Vigilância Sanitária (ANVISA). Reclassificação toxicológica de agrotóxicos. Disponível em: <<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2019/publicada-reclassificacao-toxicologica-de-agrotoxicos>> 2019. Acesso em: 03 de nov. de 2024.

ARAÚJO, A. S. Uso de agrotóxico na agricultura familiar às margens do rio Pajeú no município de Calumbi no Sertão Pernambucano. Trabalho de Monografia (Universidade Federal Rural de Pernambuco), 2020.

BRASIL, Lei 11.326, de 24 de Julho de 2006. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. **Diário Oficial da União**. Acesso em 03 de Nov de 2024.

BRASIL. Decreto nº 4.074, de 04 de janeiro de 2002. Presidência da República – Casa Civil. In: Art. 2, I. 1, Brasília-DF, 2002.

BRASIL. Lei Federal nº 7.802, de 11 de julho de 1989. Coordenação de estudos legislativos. Brasília-DF, 1989.

CRAVEIRO, S. A.; LOPES SOBRINHO, O. P.; SANTOS, F. I. O.; OLIVEIRA, L. S. O.;

PEREIRA, A. I. S. Diagnóstico situacional sobre o uso de agrotóxicos por agricultores familiares do campo agrícola fomento em Codó, MARANHÃO, BRASIL. **Revista Saúde e Meio Ambiente – RESMA**, Três Lagoas, v. 9, n.3, p. 1-14, 2019.

DUARTE, B. F.; PENA, L. C. C.; BRAGA, T. C. V.; CARDOSO, R. C. V. Produção de farinha

de mandioca, COVID-19 e Segurança Alimentar: as repercussões para agricultores familiares do Recôncavo Baiano. **Revista de Economia e Sociologia**

**Rural**, 62(4), 2024.

FROTA, M. T. B. A.; SIQUEIRA, C. E. Agrotóxicos: os venenos ocultos na nossa mesa, *Caderno de Saúde Pública*, 202.

JACOBSON, L. da S. V.; HACON, S. de S.; ALVARENGA, L.; GOLDSTEIN, R. A.; GUMS, C.; BUSS, D. F.; LEDA, L. R. Comunidade Pomerana e uso de agrotóxicos: Uma realidade pouco conhecida. **Ciências e saúde coletiva**, vol. 14, n° 6, pag. 2229-2249, 2009.

LOPES, C. V. A.; ALBUQUERQUE, G. S. C. de A. Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: Uma revisão sistemática. **Saúde em debate**, vol. 42, n° 117, pag. 518 534, Rio de Janeiro, 2018.

MATTEI, T. F.; MICHELLON, E. Panorama da agricultura orgânica e dos agrotóxicos no Brasil: uma análise a partir dos censos 2006 e 2017. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, 59(4), 2021.

RIBEIRO, M. D. S.; SANTOS, J. J. F.; RAFAEL, G. G.; ARAUJO, L. M.; CABRAL, S. A. A. O. Uso de agroquímicos e EPI's por agricultores no município de Pombal, PB. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia. **Anais... Sustentabilidade; Água, Energia e Inovação Tecnológica**, 2015.

MARANGONI, J. C.; SILVA, J. C. P. Análise de um sistema de informação visual pictórico – embalagens de agrotóxicos. *Educação Gráfica*. Bauru: Universidade Estadual Paulista. 2005.

## CAPÍTULO 14: BIOECONOMIA DA BIOMASSA RESIDUAL AGRÍCOLA EM BALSAS

*Maria de Jesus Cavalcante dos Santos<sup>59</sup> & Diego Lima Medeiros<sup>60</sup>*

### Resumo

O agronegócio vem se destacando globalmente, e os processos utilizados têm impactado o meio ambiente. De forma que a bioeconomia é essencial por meio do uso responsável da biomassa e das biotecnologias. Este estudo avalia o potencial da biomassa agrícola no município de Balsas no Maranhão, analisando os cultivos de soja e milho. Sabendo então da necessidade de conservar parte da biomassa no solo para a proteção do mesmo, considerou-se a recomendação que 70% da palha de soja e 60% dos resíduos de milho permaneçam no solo em base mássica. O aproveitamento da biomassa agrícola na região de Balsas, representa uma oportunidade para o desenvolvimento econômico e a sustentabilidade ambiental. Ao integrar essa biomassa na matriz energética pode fornecer uma fonte de energia renovável, melhorar a rentabilidade dos cultivos e fortalecer a economia regional. Sendo assim, estudos adicionais são necessários para otimizar o processamento e a utilização dessa biomassa.

**Palavras-chave:** bioeconomia; biotecnologia; biomassa residual agrícola.

### 1 Introdução

O setor de agronegócio, no Brasil, tem se destacado globalmente e impulsionado por avanços tecnológicos que transformaram os processos naturais e geram impactos ambientais. Dentro desse contexto, a bioeconomia emerge como um modelo crucial de integração do crescimento econômico com sustentabilidade ambiental por meio do uso responsável da biomassa e biotecnologias (Mejias *et al.*, 2019). A bioeconomia também se foca em promover um crescimento econômico que minimize impactos ambientais, enquanto a biotecnologia oferece as ferramentas e técnicas para alcançar esses objetivos (Juma; Konde, 2001 *apud* Mejias *et al.*, 2019).

O objetivo deste estudo foi analisar o potencial da biomassa residual agrícola no município de Balsas localizado na região Sul Maranhense. Para tanto, foram identificados os cultivos agrícolas predominantes para quantificar a geração de biomassa residual na colheita. Desta forma, foi proposta uma otimização

---

<sup>59</sup> Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Rede de Tecnologias Limpas (TECLIM); maria.cavalcante@discente.ufma.br

<sup>60</sup> Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Rede de Tecnologias Limpas (TECLIM), diego.lm@ufma.br

técnica e ambiental do cenário em estudo a partir da utilização da biomassa residual agrícola na produção de energia.

## 2 Referencial teórico

O município de Balsas se destaca no agronegócio, envolvendo diversas culturas agrícolas. Estes cultivos não apenas têm grande relevância econômica com seus produtos principais, mas também possuem um significativo potencial de geração de biomassa residual. A biomassa contida nos resíduos agrícolas oferece oportunidades para ganhos energéticos e financeiros, contribuindo para a sustentabilidade econômica e ambiental da região.

Esta pesquisa analisou o potencial de oferta de biomassa residual das culturas de milho e soja em Balsas-MA e o seu potencial energético. O potencial de oferta de energia de biomassa residual na forma de eletricidade foi comparado ao consumo elétrico da população de Balsas-MA. Dessa forma, a análise permite verificar a viabilidade da biomassa como uma alternativa sustentável para a geração de energia elétrica, sendo que o aproveitamento da biomassa não apenas oferece vantagens econômicas, mas também pode contribuir para a sustentabilidade ambiental, já que ao utilizar resíduos agrícolas para geração de energia pode reduzir a dependência de combustíveis fósseis e minimizar o impacto ambiental associado ao descarte de resíduos.

### a) Coeficientes técnicos das biomassas residuais em estudo

A obtenção dos coeficientes técnicos se deu através de análise bibliográfica de variadas fontes, na qual, para a soja utilizou-se as informações da EPE (2014), onde: 2,5 t-Biomassa/t-Soja com umidade de 15%, equivalente a 2,12 t-Biomassa/t-Soja em base seca. Em termos do poder calorífico inferior (PCI) da palha de soja, o trabalho de KOOPMANS e KOPPEJAN (1997) apresenta o valor de 14,6 MJ/kg de biomassa em base seca (Bbs) (EPE, 2014). Realizando a conversão de quilograma (kg) para tonelada (t), obtemos 14600 MJ/t-Bbs.

Para o milho, “KOOPMANS e KOPPEJAN (1997) indicam uma produção de 2,2 t-Biomassa/t-Milho com umidade em torno dos 11%, equivalente a 1,96 t-Bbs/t-Milho (EPE, 2014). Em termos do PCI dos resíduos na forma de sabugo, colmo, folha e palha do milho, KOOPMANS e KOPPEJAN (1997)

apresentam o valor de 17,7 MJ/kg-Bbs (EPE, 2014), o qual foi convertido para 17700 MJ/t-Bbs.

Uma parte da biomassa agrícola costuma ser mantida no campo, já que sua permanência tem um importante papel no processo agrícola, garantindo a “[...] proteção dos solos entre os períodos de colheita e novo plantio, retendo a umidade do solo, protegendo a biota, evitando a erosão e restaurando os nutrientes que foram extraídos pela planta” (EPE, 2014). Dessa forma, a conservação de parte dessa biomassa no campo proporciona vários benefícios que não podem ser ignorados. Portanto, é necessário identificar a quantidade de biomassa residual para ser mantida no campo. De acordo com EPE (2014), no caso da soja, é recomendado que cerca de 70% da massa da palha permaneça no campo. Já no caso do milho, a recomendação é que 60% da massa destes resíduos fiquem no solo.

### 3 Metodologia

#### 3.1 Culturas agrícolas em estudo

Foram verificados os maiores cultivos na região Sul Maranhense, realizando uma classificação da massa dos cultivos na cidade de Balsas-MA em comparação aos demais municípios do Maranhão (Tabela 1).

Tabela 1 - Produção de Balsas em relação aos municípios do Maranhão para as principais culturas agrícolas.

Produto	Quantidade Produzida em Balsas (tonelada)	Ranking de Balsas no Maranhão
Milho – Grão	471.336	1 <sup>a</sup>
Soja – Grão	452.273	1 <sup>a</sup>
Cana de açúcar	486	Após a 10 <sup>a</sup> posição
Feijão Fradinho	5.536	1 <sup>a</sup>
Arroz	2.272	9 <sup>a</sup>
Sorgo – Grão	1.350	5 <sup>a</sup>
Melancia	1.118	4 <sup>a</sup>
Feijão – Grão verde	111	6 <sup>a</sup>
Limão	71	1 <sup>a</sup>
Manga	9	2 <sup>a</sup>

Valores do ranking após a 10<sup>a</sup> posição sem informação.

Fonte: Autoria própria com dados do Censo Agro de 2017 (IBGE).

A coleta de dados dos cultivos teve como critério inicial a posição de ranking no Censo Agro de 2017, com a data de referência adotada para a pesquisa sendo o dia 30 de setembro de 2017, para o município de Balsas em relação ao Maranhão. Em seguida, houve a seleção dos tipos de cultivos com maior relevância para Balsas com o intuito de analisar o potencial de aproveitamento da biomassa residual agrícola.

### 3.2 Biomassa residual e conteúdo energético das culturas agrícolas em estudo

Para a análise do potencial de aproveitamento da biomassa residual agrícola em Balsas, foram selecionados os cultivos de milho e soja devido às suas maiores produções neste município. Em seguida, foram definidos coeficientes técnicos mássicos e energéticos por produto agrícola (Tabela 2) para estimar o potencial de aproveitamento da biomassa residual.

Tabela 2 - Coeficientes técnicos por produto agrícola.

Produto	Biomassa residual gerada por produto agrícola (tonelada por tonelada)	Fonte	Conteúdo energético unitário da biomassa residual (megajoules por tonelada)	Fonte
Milho – Grão	1,96EPE (2014)		17700	EPE (2014)
Soja – Grão	2,12EPE (2014)		14600	EPE (2014)

Fonte: Autoria própria com dados de autores citados na tabela.

Estes coeficientes, demonstrados na Tabela 2, foram utilizados nas estimativas do potencial da biomassa residual gerada por produto agrícola e seu conteúdo energético. Para obter a biomassa residual gerada (BRG) por produto agrícola, foi utilizada a Equação 1.

$$BRG = \text{Quantidade de produto} * \text{Resíduo unitário por produto} \text{ (Equação 1)}$$

Como parte da biomassa agrícola costuma ser mantida no campo, já que sua permanência tem um importante papel no processo agrícola, foi retirado da análise o percentual mássico recomendado para permanecer no campo. Sendo assim, para obter biomassa residual disponível (BRD) por produto agrícola para colheita, transporte e processamento, utilizou-se a Equação 2.

$$BRD = BRG * (100\% - \% \text{ que fica no solo}) \quad (\text{Equação 2})$$

Além disso, com a BRD por produto agrícola, foi estimado o conteúdo energético da biomassa residual (CEB), através da Equação 3.

$$CEB = BRD * \text{Conteúdo energético unitário da biomassa residual} \quad (\text{Equação 3})$$

Para realizar uma comparação do consumo de energia residencial em relação ao potencial energético da biomassa residual disponível, buscou-se os dados de consumo energético por pessoa no Maranhão, com o intuito de realizar um dimensionamento do consumo em Balsas e identificar o potencial de oferta de eletricidade renovável do CEB. Sendo assim, foram coletados os valores do consumo *per capita* (CPC) do Maranhão de acordo com o Painel de Monitoramento do Consumo de Eletricidade no Brasil da Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Utilizando os dados do ano de 2023, obteve-se o valor médio do CPC de 50,2 kWh/(hab.mês).

Dessa maneira, com os dados da população atualizada no censo do IBGE em 2022 para os municípios do Maranhão, calculou-se o consumo de energia elétrica (CEE) com a utilização da Equação 4 para analisar a capacidade de oferta de eletricidade através das biomassas residuais agrícolas. A população de 101.767 habitantes foi considerada para o município de Balsas (IBGE, 2022).

$$CEE = \text{valor médio do CPC} * \text{população} \quad (\text{Equação 4})$$

Para a conversão do conteúdo energético da biomassa residual disponível de megajoule (MJ) para quilowatt-hora (kWh), utilizou-se a divisão do conteúdo energético por 3,6 MJ/kWh. Sabendo que no processo de geração de energia a partir da biomassa, nem toda a energia em PCI vira eletricidade, considerou-se uma conversão de energia térmica em elétrica de 30%.

## 4 Resultados e discussão

### 4.1 Culturas agrícolas em estudo

Ao analisar os maiores cultivos em Balsas, com o intuito de buscar formas de aproveitamento da biomassa disponível no agronegócio, foram encontrados no

Censo Agro de 2017 dados que demonstram os principais cultivos no município. Os cultivos de milho e soja são de grande importância para a economia de Balsas, no qual apresenta-se um grande potencial na geração da biomassa em relação aos produtos cultivados, que pode proporcionar um ganho energético e financeiro para os produtores que optarem por realizar o seu aproveitamento.

#### 4.2 Biomassa residual e conteúdo energético das culturas agrícolas em estudo

As quantidades de biomassa residual dos produtos agrícolas foram estimadas para Balsas (Tabela 3).

Tabela 3 - Biomassa residual gerada por produto agrícola para Balsas .

Produto	(tonelada por ano)	Fonte
Milho – Grão	923.818,56	EPE (2014)
Soja – Grão	958.818,76	EPE (2014)
Total	1.882.637,32	

Balsas tem grande representação na produção de biomassa residual, sendo relevante na análise do seu potencial de aproveitamento energético. Uma parte da biomassa gerada foi desconsiderada nesta análise devido ao seu papel na proteção do solo e conservação de suas características para o próximo plantio. Na Tabela 4, apresenta-se a biomassa residual disponível por produto agrícola para o aproveitamento e os percentuais mássicos que devem ser mantidos em campo para a proteção do solo.

Tabela 4 - Biomassa residual disponível para o aproveitamento em Balsas por produto agrícola.

Produto	(tonelada por ano)	Quantidade que fica no solo (t/t)
Milho – Grão	369.527,42	60%
Soja – Grão	287.645,63	70%
Total	657.173,05	-

Fonte: Autoria própria com cálculo dos dados obtidos na pesquisa.

Os conteúdos energéticos da biomassa residual disponível por produto agrícola são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Conteúdo energético da biomassa residual disponível em Balsas por produto agrícola.

Produto	(megajoules por ano)	Conteúdo energético unitário da biomassa residual (megajoules por tonelada)*

Milho – Grão	6.540.635.405	17700
Soja – Grão	4.199.626.169	14600

\*Coeficientes apresentados na Tabela 2.

Fonte: Autoria própria com cálculo dos dados obtidos na pesquisa.

Tabela 6 - Potencial de oferta de energia elétrica proveniente das biomassas residuais disponíveis em Balsas por produto agrícola.

Produto	Quilowatt-hora por ano
Milho –Grão	545.052.950
Soja – Grão	349.968.847
Total dos Cultivos	349.968.847

Fonte: Autoria própria com cálculo dos dados obtidos na pesquisa.

Sendo assim, o valor da população multiplicado pelo CPC no Maranhão demonstrou que a cidade de Balsas teve um consumo médio de energia de 108.703 *kWh/mês* em 2023, o qual representa um consumo anual de 61.304.440 *kWh/ano*. O conteúdo energético da biomassa residual disponível (Tabela 5) foi convertido de megajoule para quilowatt-hora através da divisão do conteúdo energético por 3,6 MJ/kWh. No processo de geração de energia a partir da biomassa, nem toda a energia vira eletricidade ao final do processo. Dessa forma, ao considerar que a conversão de energia térmica em elétrica seja 30% do seu potencial, obtém-se um potencial realista de geração de energia elétrica com a biomassa disponível nos cultivos, demonstrando a possibilidade de utilização desse tipo de material no próprio município. A Tabela 6 apresenta o potencial de produção de eletricidade a partir das biomassas agrícolas estudadas.

Dessa maneira, foi observado na Tabela 6 que o valor da energia elétrica potencial proveniente das biomassas agrícolas do milho e da soja são capazes de suprir em 14 vezes o consumo anual de eletricidade residencial da população de Balsas. Demonstra-se assim, o potencial em se utilizar a biomassa residual agrícola da região para geração de energia elétrica renovável.

## 5 Conclusão

Após a análise dos principais cultivos agrícolas no município de Balsas, identificou-se o maior potencial da biomassa agrícola para o milho e soja. Na pesquisa, foi demonstrado que a produção da biomassa agrícola dos dois cultivos

alcançou em toneladas 924.095 em Balsas/MA. De forma que, esse volume tem a possibilidade de gerar para aproveitamento em toneladas 657.240 de biomassa residual disponível em Balsas/MA.

Nesta análise, o estudo demonstrou a possibilidade do aproveitamento da biomassa disponível sem prejuízo à proteção do solo, de forma que a cada tonelada de milho produzida disponibiliza 0,78 toneladas de biomassa e para a soja o valor é de 0,64 toneladas de biomassa disponível.

A análise demonstrou que o conteúdo energético das biomassas disponíveis dos cultivos em estudo têm um alto potencial para geração de energia, apresentado 895.038.482 quilowatt-hora por ano em Balsas-MA. Comparando com o consumo médio de eletricidade para a população de Balsas em 2023, sendo de 61.304.440 *kWh/ano*, demonstra-se que as biomassas residuais de milho e soja utilizadas em termelétricas têm capacidade suficiente para atender ao consumo elétrico residencial de Balsas e gerar um excedente a ser injetado na rede elétrica para o consumo em outros municípios do Maranhão.

O aproveitamento da biomassa agrícola na região Sul Maranhense, especialmente em Balsas, oferece uma oportunidade valiosa para o desenvolvimento econômico e a sustentabilidade ambiental. A integração dessa biomassa na matriz energética pode não apenas assegurar uma fonte de energia renovável, mas também melhorar a rentabilidade dos cultivos e fortalecer a bioeconomia regional. Estudos adicionais sobre o processamento e a utilização da biomassa residual em diferentes fins apoiam a identificação de oportunidades para promover um desenvolvimento mais sustentável e competitivo.

## Referências

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Inventário Energético de Resíduos Rurais. 2014. Disponível em:

<[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Publicacoes/Arquivos/publicacao-251/topico-308/DEA%2015%20-%2014%20-%20%20Invent%C3%A1rio%20Energ%C3%A9tico%20de%20Res%C3%ADduos%20Rurais\[1\].pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Publicacoes/Arquivos/publicacao-251/topico-308/DEA%2015%20-%2014%20-%20%20Invent%C3%A1rio%20Energ%C3%A9tico%20de%20Res%C3%ADduos%20Rurais[1].pdf)>  
Acesso em: 29 de novembro de 2023.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Painel de Monitoramento do Consumo

de Eletricidade no Brasil. Disponível em:

<<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 20 de Junho de 2024.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agro 2017. Disponível em: <[https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo\\_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=21&tema=76434](https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=21&tema=76434)> Acesso em: 20 de novembro de 2023.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2022. Disponível em: <<https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>> Acesso em: 20 de junho de 2024.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Mesorregião*: IBGE, Divisão Territorial Brasileira - DTB 2021. Disponível em:

<<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/23701-divisao-territorial-brasileira.html>> Acesso em: 25 de julho de 2024.

MEJIAS, Rafael Gouveia et al. Bioeconomia e suas aplicações. **ÂNDÉ: Ciências e Humanidades**, v. 2, n. 3, p. 105-121, 2019.

## CAPÍTULO 15: MAXIMIZANDO A PRODUTIVIDADE NO AGRO: A IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO DE MAQUINÁRIOS AGRÍCOLAS PRINCIPAIS ATORES E OPORTUNIDADES

*Luis Fernando dos Reis Souza<sup>61</sup>; Helma Souza Pinto <sup>2</sup>.*

### Resumo

A manutenção de maquinários agrícolas é essencial para a produtividade e a eficiência do setor. Tendo isso em vista, o artigo aborda a manutenção preventiva e oportunidades de investimento em maquinários agrícolas em Balsas–MA. O estudo examina a escassez de peças de reposição específicas e o tempo prolongado para sua obtenção como obstáculos críticos que impactam a produtividade, especialmente durante a safra. Mapeados atores-chave que fazem parte do mercado, ao final sugere oportunidades de investimento, no intuito de melhorar a eficiência do setor e impulsionar a economia regional.

**Palavras-chave:** Mecanização-agrícola, investimento, peças.

### 1 Introdução

O setor do agro de fato é de grande importância na região Sul do Maranhão, em especial na cidade de Balsas, onde sem dúvida sem a força do agro a cidade não teria o desenvolvimento que tem hoje e a reputação que esse setor trouxe para a “Princesinha do Sul do Maranhão”. Segundo Jardim (2024), a cidade é considerada umas das principais regiões produtoras de soja do Brasil.

Ao se referir ao setor do agro não há como deixar de falar dos maquinários agrícolas que ajudam a impulsionar e ajudar produção agrícola, participando na maior parte esmagadora do trabalho, desde o manejo do solo até a colheita do grão, e das diversas operações no campo que as máquinas agrícolas realizam, as mesmas devem ser executadas de maneira bem planejada e articuladas a fim de facilitar a utilização econômica das máquinas assim como no ganho de produtividade. Porém, para o uso efetivo dos maquinários agrícolas é necessário realizar manutenções preventivas com o intuito de garantir a longevidade e eficiência das operações no setor agrícola. No ramo do agronegócio como sabemos que o tempo e eficácia dos processos são

<sup>61</sup> Universidade Federal do Maranhão, Coordenação do curso de Ciência e Tecnologia, [coordenacaobictbalsas@ufma.br](mailto:coordenacaobictbalsas@ufma.br).

essenciais, à manutenção com prontidão dos equipamentos agrícolas maximizam o retorno sobre o investimento desses maquinários que em alguns casos, uma peça chega na casa de meio milhão de reais, a longevidades desses veículos são excelentes visto também o seu alto investimento, porém as manutenções preventiva assegura na continuidade das operações, evitando paradas na lavouras inesperadas resultando em altos prejuízos pelo tempo da máquina parada. Por isso a importância de identificar e corrigir problemas antes que se tornem falhas graves que possam comprometer a utilização do maquinário (FIELDVIEW, 2023).

As inspeções têm inúmeros benefícios como na melhoria da eficiência operacional, extensão da vida útil, benefícios econômicos reduzindo o consumo de combustível e evitando acidentes com operadores por falhas mecânicas. Podemos analisar o quão se faz importantes a manutenção preventiva.

Na cidade de Balsas-MA já se realiza em alguns pontos da cidade manutenção de máquinas agrícolas realizando trocas de peças, manutenção hidráulica e elétrica. Porém alguns casos a manutenção de alguns tipos de máquinas ficam mais complicada ou até mesmo inviáveis, pela falta de algumas peças em específico da máquina que não tem na cidade. Segundo pesquisas feitas em alguns estabelecimentos do setor da cidade, é possível apenas fazer pedidos que em alguns casos demoram até semanas para a peça chegar.

Vendo essa problemática, se sugere que há uma oportunidade de investimento neste setor de maquinários agrícolas através dessa lacuna da falta de peças adequadas para as máquinas na região, sendo importante conhecer os principais atores que rodeiam e permeiam esse setor para se analisar uma estratégia e como adentrar e atuar no ramo de maquinários, para fomentar ainda mais a economia na região assim como assegurar a continuidade da produção agrícola de forma eficiente.

## 2 Metodologia

Este estudo foi realizado através de métodos de revisão de literatura regional, com análise de publicações sobre manutenção de maquinários e o setor agrícola, assim como por meio de entrevistas com profissionais do setor

da cidade de Balsas. Sendo realizado pesquisa de campo, em visitas a estabelecimentos observando as lojas e mecânicas para identificar a disponibilidade e o custo das peças, com conversas com vendedores, e técnicos de manutenção para entender os desafios enfrentados.

Foi feito um levantamento de dados de forma qualitativa com identificação de padrões sobre a falta de peças e práticas de manutenção, e quantitativa calculando os custos associados ao tempo de inatividade dos equipamentos. Mapeamento de atores identificando as principais empresas e quais são os tipos de serviços prestados na região, assim como a avaliação de possíveis investimentos para melhorar a oferta de peças e serviços.

### 3 Resultados e Discussão

A análise revelou que Balsas-MA, conhecida como a “Cidade do Grão de Ouro,” destaca-se como um dos principais polos produtores de soja do Brasil, ocupando a 4ª posição nacional em produção de soja no primeiro semestre de 2024. O setor agropecuário é central para a economia local, impulsionando o desenvolvimento regional e atraindo diversas empresas, o que reflete na melhoria da qualidade de vida na cidade (RIBEIRO, 2024).

Os resultados indicam que a eficiência da produção agrícola em Balsas está diretamente relacionada ao alto grau de mecanização realizada na região, sendo essencial em todas as etapas da cadeia produtiva, desde o preparo do solo até a colheita. Esses equipamentos, equipados com tecnologias avançadas, como GPS, sistemas de irrigação automatizada e dispositivos eletrônicos inteligentes, aumentam a produtividade e precisão no campo. Contudo, a operação dessas máquinas apresenta desafios devido à complexidade de sua manutenção e ao custo elevado de inatividade, especialmente durante a safra, quando a demanda é mais crítica.

A pesquisa identificou uma lacuna significativa na oferta de peças de reposição e na disponibilidade de serviços de manutenção na região, apontando esses fatores como barreiras para maximizar o potencial produtivo. Além disso, foram observados impactos diretos na economia local devido aos custos associados à indisponibilidade das máquinas, reforçando a importância de investimentos que aprimorem a estrutura de suporte técnico e logístico para

o setor. (EOS, 2024).

Um dos principais desafios identificados durante a pesquisa de campo, onde foi visitado algumas lojas de maquinários agrícolas e estabelecimentos do setor foi a falta de disponibilidade de peças de reposição específicas para alguns casos de maquinários agrícolas dentro da cidade. Essa dificuldade é agravada pelo tempo prolongado necessário para o envio de peças de outras localidades onde geralmente são pedidas na capital do estado ou até mesmo em outros estados, isso pode resultar em longos períodos de inatividade dos equipamentos trazendo prejuízo para o produtor/proprietário pelo tempo da máquina parada (NORMADIN, 2023)..

As peças onde mais se sente essa deficiência por não ter ou quando tem a peça na cidade são preços altíssimos, são peças localizadas na parte do motor das máquinas. De acordo com as entrevistas realizadas com vendedores de peças agrícolas da cidade, os motores que mais tem essa falta de peças na região são os motores das marcas MWM, CUMMINS, YANMAR, SISU. Peças como turbina, camisa, pistão do motor, bronze de mancal, biela e coxinho do motor.

Os principais estabelecimentos que necessitam desses tipos de peças são pequenas empresas de componentes hidráulicos, que vendem seus equipamentos para fazendas e mecânicas hidráulicas para realização dos seus serviços. Algumas dessas mecânicas que também necessitam desses produtos fazem pedidos de fora, porém demoram de quatro dias em diante para chegar às peças dependendo da localidade do fornecedor. No entanto, quatro dias já é um período considerável de prejuízo para o produtor que está com seu maquinário parado perdendo tempo e produtividade, principalmente quando é período de safra, que é o diz respeito ao período de plantio e colheita da lavoura.

Como outros atores no setor de mecanização, na cidade temos grandes empresas como Lavronorte, Gess, Valtra, Fendt, que são empresas concessionárias que vendem máquinas completas como tratores, colheitadeiras, pulverizadores, plantadeiras entre outros, assim também como peças de reposição de máquinas. Porém como são concessionários só atendem grupos seletos de consumidores pois tais empresas só vendem

apenas um tipo de marca em sua maioria, além de serem produtos que não são tão acessíveis para a maioria dos consumidores de peças agrícolas. Durante a pesquisa também foi mapeado que há os técnicos de manutenção desses tipos de máquinas pesadas, que trabalham de forma autônoma realizando manutenções domiciliares, assim como em suas próprias residências dependendo da máquina. Existem na região as empresas de irrigação que também se englobam no setor de mecanização por utilizarem tecnologias e equipamentos para aumentar a eficiência e produtividade na agricultura, embora não sejam empresas que tenham foco na venda de peças de motores agrícolas.

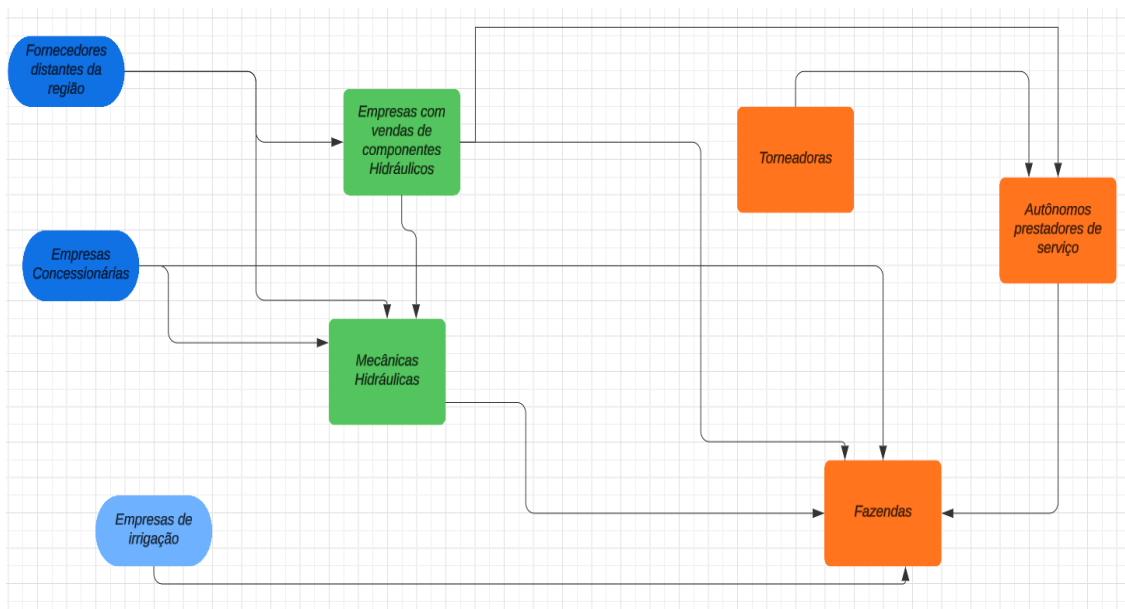


Figura 1 - Fluxograma autoral descrevendo os principais atores do setor mecanizado da região.

No fluxograma ilustrado acima foi demonstrado de forma ilustrativa quais os principais atores do setor mecanizado da região de Balsas e quais suas relações, mostrando um panorama geral de como são as suas conexões de acordo com as pesquisas feitas na região. O processo se inicia nas fazendas onde ficam situadas as máquinas pesadas na região, quando apresentam alguma falha as mecânicas hidráulicas são acionadas ou os autônomos que prestam esse tipo de serviço mecânico.

Na parte mecânica é averiguado qual o tipo de problema o maquinário apresenta, então é solicitado o tipo de peça necessitada primeiramente na região, nas empresas de venda de componentes hidráulicos caso não

encontrem dependendo da marca é requerido nas concessionárias da cidade, então se o preço estiver muito caro os fornecedores distantes da região são procurados para a compra das peças do maquinário, no entanto essa opção interfere na produtividade pelo período de conserto.

Nesse nicho de mercado as torneadoras também se encaixam, caso a peça do motor estragada possa ser reaproveitada tem a possibilidade de ser retificado, pois as torneadores em Balsas são responsáveis por realizar cortes, perfurações, roscas e outras operações que possam restaurar as peças outrora perdidas. As empresas de irrigação são um caso à parte, pois fornecem apenas produtos para os produtores e fazendas.

A lacuna na disponibilidade de peças de reposição representa uma oportunidade de investimento significativa. A criação de um centro de distribuição local de peças e serviços especializados poderia atender a uma demanda reprimida e oferecer uma solução prática para os problemas enfrentados pelos agricultores minimizando o tempo de concerto dos maquinários reduzindo os custos de operações pelo tempo da máquina parada, maximizando a produtividade da região (NORMADIN, 2023).

Ao final da análise se sugere que há a possibilidade de investimentos em infraestrutura para manutenção e fornecimento de peças agrícolas que poderiam gerar benefícios econômicos substanciais tanto para os investidores quanto para a comunidade agrícola local.

A implementação de soluções eficazes para a manutenção de maquinários e a garantia de disponibilidade de peças poderiam trazer diversos benefícios. A redução de custos operacionais, aumento da eficiência e prolongamento da durabilidade dos equipamentos são alguns dos principais benefícios que foram identificados. Além disso, a melhoria na segurança operacional e a redução dos riscos de acidentes contribuem para a criação de um ambiente de trabalho mais seguro e produtivo (MALUF; FLEXOR, 2018).

A manutenção preventiva e a disponibilidade de peças são componentes críticos para a eficiência e sustentabilidade do setor agrícola em Balsas. A resolução dos desafios atuais e a exploração das oportunidades de investimento identificadas podem proporcionar benefícios significativos para a produtividade agrícola e o desenvolvimento econômico da região. A abordagem

estratégica para abordar essas questões não só irá melhorar as operações locais, mas também contribuirá para a prosperidade contínua da cidade como um importante polo agrícola

#### 4 Considerações Finais

A manutenção preventiva dos maquinários agrícolas em Balsas-MA é fundamental para garantir a eficiência operacional e prolongar a vida útil dos equipamentos, evitando problemas mecânicos inesperados que podem prejudicar a produtividade. Contudo, a falta de peças de reposição, sobretudo de alguns motores em específicos, representa um desafio significativo, resultando em períodos de inatividade e impacto negativo nas operações agrícolas.

É visto que essa lacuna nesse segmento de mercado, oferece uma oportunidade valiosa para investimentos. Estabelecer um centro local de distribuição de peças novas e restauradas abrindo um leque de peças mais baratas, possibilitando a resolução de problemas de disponibilidade e impulsionar a economia local, trazendo benefícios como a redução de custos operacionais e a criação de empregos.

Para aproveitar essas oportunidades, é essencial realizar pesquisas de mercado sobre preços e negociações, formar parcerias com fábricas e outros fornecedores e investir na infraestrutura necessária. Com uma abordagem estratégica, é possível transformar os desafios atuais em oportunidades de crescimento e desenvolvimento sustentável para o setor agrícola em Balsas.

#### **Agradecimentos**

Agradeço a Universidade Federal do Maranhão pela genuína oportunidade de proporcionar campos para que se possa expressar as ideias para o desenvolvimento da região, assim como as empresas permitiram analisar como é o mercado de perto para ser realizado as pesquisas.

#### **Referências**

JARDIM, M. AGROBALSAS 2024: O Milagre do Cerrado e Contrapartidas para o Desenvolvimento em Balsas. Planeta Campo, 2024. Disponível em: <https://planetacampo.canalrural.com.br/sustentabilidade/agrobalsas-2024-o->

milagre- do-cerrado-e-contrapartidas-para-o-desenvolvimento-em-balsas/. Acesso em 14 de mai de 2024.

RIBEIRO, S. Balsas é a quarta cidade do país com o maior volume de exportação de soja. GloboPlay, 2024.

Disponível em:

<https://globoplay.globo.com/v/12759887/#:~:text=JMTV%20%C2%AA%20Edi%C3%A7%C3%A3o.->

,Balsas%20%C3%A9%20a%20quarta%20cidade%20do%20pa%C

3%ADs%20com,volume%20de%20exporta%C3%A7%C3%A3o%20de%20soja

.

Acesso em 15 jun de 2024.

EOS. Máquinas agrícolas: como são feitas e por que são importantes.

Disponível em: <https://eos.com/pt/blog/maquinas-agricolas/#ref-1>. Acesso em: 14 set. 2024.

CLIMATE FIELDVIEW. Manutenção preventiva em máquinas agrícolas. Climate FieldView, 2023. Disponível

em: [https://blog.climatefieldview.com.br/manutencao-](https://blog.climatefieldview.com.br/manutencao-preventiva-maquinas-agricolas)

preventiva-maquinas-agricolas.

Acesso em: 14 set. 2024.

NORMADIN. A importância de peças de alta qualidade e desempenho no mercado agrícola. Normadin, 27 abr. 2023.

Disponível em: <https://normadin.com.br/2023/04/27/a-importancia-de-pecas-de-alta-qualidade-e-des-empenho-no-mercado-agricola/>. Acesso em: 14 set. 2024.

MALUF, R.; FLEXOR, G. (orgs.). Questões agrárias e agrícolas: coletânea. Universidade Federal de Santa Catarina,

2018. Disponível em:

[https://lemate.paginas.ufsc.br/files/2018/04/MalufR-FlexorG-Quest%C3%B5es-agr%C3%A1rias-e-agr%C3%ADcolas\\_colet%C3%A2nea.pdf](https://lemate.paginas.ufsc.br/files/2018/04/MalufR-FlexorG-Quest%C3%B5es-agr%C3%A1rias-e-agr%C3%ADcolas_colet%C3%A2nea.pdf). Acesso em: 14 set. 2024. Cv

## **SEÇÃO 4: ENERGIAS RENOVÁVEIS E TECNOLOGIAS LIMPAS**

Esta seção traz pesquisas voltadas à transição energética e à adoção de tecnologias limpas como alternativas para o desenvolvimento sustentável. Os trabalhos destacam a busca por eficiência, inovação e redução de impactos ambientais, abordando desde a geração solar até o aproveitamento de resíduos e a criação de novos materiais ecológicos. Esses estudos demonstram que as energias renováveis são mais do que soluções técnicas — são caminhos para autonomia energética, justiça climática e inovação social no Matopiba. Os artigos que compõem os capítulos desta seção estão listados a seguir:

- Valorização de resíduos da serragem de madeira de pinus em químicos renováveis a partir da aplicação da pirólise
- Estudo teórico das propriedades estruturais e eletrônicas de nanofitas de polianilina 5BB com diferentes configurações de borda
- Investigação do efeito da sujidade na produtividade de uma usina fotovoltaica localizada no Distrito Federal

## CAPÍTULO 16: VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA SERRAGEM DE MADEIRA DE PINUS EM QUÍMICOS RENOVÁVEIS A PARTIR DA APLICAÇÃO DA PIRÓLISE

*Emily Chayane Costa dos Santos<sup>62</sup>; Gislane Pinho de Oliveira<sup>63</sup>, Maria Antônia Cavalcante de Oliveira<sup>64</sup>, Francisca Iara Araujo Franca<sup>65</sup>, José Luiz Francisco Alves<sup>66</sup> & Renata Martins Braga<sup>67</sup>*

### Resumo

Este estudo investiga o rendimento e as características dos produtos gerados pela pirólise de resíduos de *Pinus*, com foco na produção de bio-óleo, biocarvão e biogás. A biomassa utilizada passou por caracterização química e análise termogravimétrica (TG). Na pirólise realizada a 500°C, foi obtido um rendimento de biocarvão de 30%, superior ao rendimento de aproximadamente 19,46% verificado pela TG. Essa diferença é atribuída às condições experimentais distintas, já que, na TG, a biomassa moída favorece uma maior volatilização dos componentes, enquanto a pirólise em amostras inteiras mantém um maior rendimento de carbono fixo. Os resultados indicam que o bio-óleo obtido possui alto teor energético, embora exija pré-tratamentos para maior estabilidade. O biocarvão demonstrou potencial para aplicação agrícola, e o biogás gerado possui composição adequada para uso energético. A pesquisa reforça o uso da pirólise como uma rota viável para conversão de biomassa em produtos com aplicações energéticas e ambientais.

**Palavras-chave:** resíduo de pinus, pirólise, sustentabilidade, aproveitamento energético

### 1 Introdução

O uso do resíduo de Pinus como biomassa para geração de energia

<sup>62</sup> UFRN, DEQ, emily.santos.018@ufrn.edu.br

<sup>63</sup> UFMA, CCEAS/CCBL, gislaneoliveira@gmail.com.

<sup>64</sup> UFRN, DEQ, antonia.cavalcante.029@ufrn.edu.br.

<sup>65</sup> UFRN, DEQ, iaraaraujof20@gmail.com.

<sup>66</sup> UFPB, DEER, zeluz\_alves@hotmail.com

<sup>67</sup> EAJ/UFRN, renatabraga.r@gmail.com

renovável é uma aplicação viável devido à sua abundância e à composição química favorável para processos termoquímicos, como a pirólise. Esse processo, em especial a pirólise *flash*, converte a biomassa residual de Pinus em três produtos principais: bio-óleo, biocarvão (biochar) e biogás, cada um com aplicações distintas e desafios específicos, especialmente quando obtidos por meio da pirólise não catalítica.

O bio-óleo gerado pela pirólise do resíduo de Pinus é uma mistura complexa de compostos orgânicos que pode ser utilizada diretamente como combustível ou refinada para a produção de combustíveis líquidos de maior valor agregado. Estudos recentes demonstram que o bio-óleo derivado de Pinus possui elevado teor energético, sendo apropriado para a geração de calor e eletricidade em sistemas de cogeração, o que otimiza a eficiência energética. No entanto, o bio-óleo produzido pela pirólise não catalítica frequentemente apresenta limitações, como alta acidez, instabilidade química e elevado teor de água, fatores que dificultam seu armazenamento e utilização sem pré-tratamento adequado (Patel; Zhang; Kumar, 2021; Shamra; Kumar; Khan, 2021).

O biocarvão (biochar), outro produto gerado pela pirólise do resíduo de Pinus, apresenta grande potencial de aplicação na agricultura. O biocarvão pode ser empregado como emenda para solos, contribuindo para o sequestro de carbono e para a melhoria da retenção de água e nutrientes, o que pode aumentar a produtividade agrícola (Chen et al., 2022). Ademais, o uso do biocarvão alinha-se a práticas sustentáveis, ao promover a redução das emissões de gases de efeito estufa e fomentar a economia circular (Bridgwater, 2021). No entanto, o biocarvão obtido pela pirólise não catalítica pode apresentar variações estruturais que afetam sua eficiência como emenda agrícola, exigindo, em alguns casos, tratamentos adicionais para otimizar seus benefícios. (Chen et al., 2022).

O terceiro produto gerado pela pirólise do resíduo de Pinus é o biogás, composto por gases como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ). Esse gás pode ser aproveitado como combustível para a geração de energia térmica ou elétrica, potencializando o uso energético de resíduos (Sarker et al., 2023). No entanto, a composição e o rendimento do biogás variam de acordo com as condições do processo de pirólise, como temperatura e tipo de biomassa utilizada (Sharma; Kumar; Kahn, 2021). Em processos não

catalíticos, o biogás pode conter menores quantidades de componentes desejáveis, o que reduz sua eficiência energética sem uma purificação prévia (Patel; Zhang; Kumar, 2021). Embora a pirólise não catalítica do resíduo de Pinus seja um método eficiente de conversão de biomassa em produtos energéticos, há desafios relacionados à qualidade desses produtos. O bio-óleo, por exemplo, requer tratamentos adicionais para melhorar sua estabilidade e usabilidade, enquanto o biocarvão pode demandar ajustes para maximizar sua eficiência na agricultura (Chen et al., 2022). O biogás, por sua vez, pode necessitar de purificação para ser utilizado de forma mais eficiente como fonte de energia (Sarker et al., 2023). Nesse contexto, a conversão do Pinus em energia por meio da pirólise contribui não apenas para a otimização de recursos florestais, como serragem, cavacos e cascas, mas também se apresenta como uma alternativa sustentável para a geração de bioenergia. Essa tecnologia ajuda a reduzir as emissões de carbono e a mitigar as mudanças climáticas, uma vez que o CO<sub>2</sub> liberado no processo faz parte de um ciclo de carbono fechado, capturado durante o crescimento das plantas. (Sarker et al., 2023).

## 2 Metodologia

### 1.1 Materiais

O resíduo de pinus foi fornecido por uma empresa, localizada em Pamplona, Espanha e possui tamanho de partícula entre -10+35# (1,25 mm). A análise termogravimétrica foi realizada com o material moído, que possuía tamanho de partícula menor que 100 micrômetros.

### 1.2 Caracterização da biomassa

A análise química imediata foi determinada baseando-se nos procedimentos propostos pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM) para determinar o teor de umidade (ASTM E871-82), teor de cinzas (ASTM E1755-01) e teor de voláteis (ASTM E897 e E872). O teor de carbono fixo foi calculado por diferença. O poder calorífico superior (PCS) foi determinado utilizando uma bomba calorimétrica modelo C 200 da IKA baseando-se na NBR 11956/90. A análise elementar foi realizada no Analisador CHNS/O da série II PerkinElmer 2400, utilizando o método de combustão para converter os elementos em gases individuais (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e N<sub>2</sub>). O

teor de oxigênio foi calculado por diferença. As análises de caracterização das biomassas foram conduzidas em triplicata. O teor de lipídios foi determinado pelo método adaptado de Scmid-Bondzynski-Ratzlaff usando tubos Falcon de 50 mL e 0,5 g de biomassa.

### 1.3 Análise termogravimétrica

A análise termogravimétrica (TG/DTG) foi realizada utilizando cerca de 6 mg da biomassa em uma balança Shimadzu Q500 TGA, partindo da temperatura ambiente até 1000 °C a uma taxa de aquecimento de 10 °C min<sup>-1</sup> em fluxo de 50 mL min<sup>-1</sup> de N<sub>2</sub> (99,999%).

### 1.4 Pirólise analítica

A pirólise analítica das biomassas foi conduzida em um analisador Py-5200 HPR da CDS Analytical (Oxford-PA), conforme ilustrado na Figura 1, com o objetivo de avaliar os produtos pirolíticos condensáveis gerados durante a atmosfera térmica controlada em atmosfera inerte. O experimento foi realizado a 500 °C, empregando uma taxa de aquecimento de 10 °C ms<sup>-1</sup> e um tempo de residência de 20 segundos, promovendo uma aquecimentorápido e eficiente da biomassa.



Figura 1 – Sistema de pirólise analítica conectada a cromatografia a gás com detecção por espectrometria de massas (Py-GC/MS): 1 – pirolisador e 2 – GC/MS.

Como gás de retenção e purga, utilizou-se nitrogênio de alta pureza (99,999%), garantindo um ambiente rigorosamente inerte e prevenindo reações secundárias, como a oxidação, que poderiam interferir na análise dos produtos

pirolíticos, além de comprometer a condução do experimento de pirólise. Um miligrama da amostra de biomassa foi depositado na região central de um tubo de quartzo (25,38 mm de comprimento × 1,75 mm de diâmetro interno), sustentado por lã de quartzo nas extremidades. Essa configuração garante a distribuição adequada da amostra e sua estabilidade durante o aquecimento.

O aquecimento do tubo foi realizado através de um filamento resistivo de platina circundando o tubo de quartzo, permitindo um controle e distribuição precisos da temperatura ao longo do processo. Essa solução é fundamental para garantir uma experiência com distribuição de calor uniforme ao longo da amostra, garantindo a reprodutibilidade dos resultados.

Os vapores liberados durante a pirólise foram transportados por um fluxo de 50 mL min<sup>-1</sup> de N<sub>2</sub> (99,999%) e coletados em uma armadilha de Tenax, material amplamente utilizado pela sua alta eficiência na captura de compostos orgânicos voláteis. Em seguida, os compostos adsorvidos foram desorvidos mediante aquecimento da armadilha de 30 a 300 °C por um período de 4 minutos, permitindo a liberação controlada dos produtos condensáveis.

Os vapores desorvidos foram transferidos através de uma linha aquecida a 300 °C, evitando a condensação antes da injeção no sistema de análise. A injeção foi realizada em modo split 1:50 em um cromatógrafo a gás VARIAN 3900, acoplado a um espectrômetro de massa VARIAN 3800, permitindo um controle adequado da quantidade de amostra afetada. A separação dos compostos foi realizada em uma coluna cromatográfica ZB-5 MS (60 m × 0,25 mm × 0,25 µm), sendo utilizado hélio (99,999%) como gás de atração a uma vazão de 1 mL min<sup>-1</sup>.

O programa de temperatura do GC/MS foi ajustado para maximizar a resolução dos compostos pirolíticos. A temperatura inicial da coluna foi mantida a 40 °C por 4 minutos, seguida de um aquecimento de 10 °C min<sup>-1</sup> até atingir 280 °C, permanecendo nesta temperatura por 14 minutos, a fim de garantir a eluição completa dos compostos, inclusive daqueles de maior ponto de ebulição.

A identificação dos compostos pirolíticos foi realizada por comparação com os espectros de massa obtidos com a biblioteca comercial NIST, sendo consideradas aquelas cuja similaridade espectral foi superior a 85%. Essa abordagem garante a precisão e a confiabilidade na identificação dos produtos de segurança, garantindo a robustez dos dados analíticos obtidos.

## 2 Resultados e discussão

### 2.1 Caracterização

Os resultados de caracterização energética do resíduo de Pinus, apresentado na Tabela 1, indicam que o valor do poder calorífico superior está coerente com os reportados na literatura (Kim et al., 2017). O resíduo de pinus apresentou alto poder calorífico e alta razão O/C.

Tabela 1 – Caracterização energética do resíduo de pinus

<b>Umidade</b>	6,9%	<b>Análise elementar</b>
<b>Teor de cinzas</b>	1,6%	CH <sub>1,40</sub> N <sub>0,005</sub> S <sub>0,008</sub> O <sub>0</sub> ,
<b>Teor de Voláteis</b>	73,5%	77 C: 47,5%
<b>Teor de carbono fixo</b>	17,9%	H: 5,6%
<b>Poder calorífico Superior</b>	18,3 MJ/kg	N: 0,3%
<b>H/C</b>	1,4 g/g	S: <0,1%
<b>O/C</b>	0,77 g/g	O: 38,0%

O resíduo do Pinus apresentou umidade de cerca de 7%. O teor de umidade influencia no poder comburentes da biomassa e no volume de gases produzidos. Além da baixa umidade, um baixo teor de cinzas associado a um alto teor de voláteis, para essa biomassa, contribui para seu alto poder calorífico (Manin et al., 2014).

Biomassas com altas razões H/C apresentam maior capacidade térmica devido à energia liberada por esses elementos na reação de combustão (Khiari et al., 2019). Por sua vez, aquelas que possuem altas razões O/C produzem maior quantidade de gases (CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, etc), voláteis e líquidos provenientes da condensação de voláteis, o que reduz a eficiência global de conversão energética (Zhao et al, 2017). Combustíveis com razões H/C altas apresentam maior calor de combustão, enquanto altas razões O/C levam a maiores emissões de CO<sub>2</sub> por quantidade de energia liberada (Mckendry, 2002).

Além disso, a razão H/C e O/C está diretamente associada à composição das biomassas, de maneira que menores valores de H/C são reflexos da presença de moléculas com estruturas cíclicas, aromáticas e insaturadas. Uma baixa razão H/C é reflexo de uma estrutura poliaromática e/ou condensada, que no caso do pinus, é reflexo da sua composição, sendo formado por polissacarídeos além de

também apresentar lignina em sua composição.

O enxofre está presente em baixas quantidades, (<0,1%) o que é favorável, uma vez que se trata de um composto indesejável, pois pode causar corrosão em equipamentos e emissão de SO<sub>x</sub> na atmosfera durante sua degradação térmica.

## 2.2 Análise termogravimétrica

A decomposição térmica do resíduo do Pinus ocorre gradualmente em uma ampla faixa de temperatura (180 - 800 °C), conforme ilustra a Figura 2. Cerca de 9% da perda de massa observada inicialmente (até 150 °C) está associada à eliminação da umidade do material, corroborado com o valor determinado pela análise imediata (Tabela 1).

Na faixa de 150 - 500 °C, ocorre um segundo evento significativo de decomposição térmica da amostra, responsável por aproximadamente 63% de perda de massa. Nesta etapa, os principais componentes do resíduo do Pinus, que incluem celulose, hemicelulose e lignina, passam por diferentes mecanismos de decomposição térmica. Esses processos envolvem reações primárias, como despolimerização, fragmentação e formação de carvão, que variam de acordo com a estrutura química de cada componente da biomassa lignocelulósica.

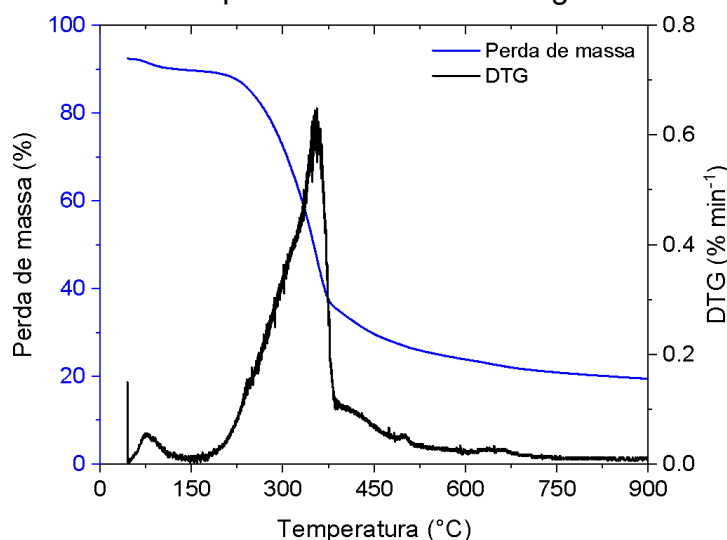


Figura 2- Curvas termogravimétricas (TG/DTG) do resíduo de pinus.

A hemicelulose se decompõe principalmente entre 200 e 350 °C, resultando em um início de liberação de voláteis. Embora o pico associado à hemicelulose não possa ser claramente observado na curva DTG, sua presença provoca uma inclinação na curva DTG, por volta de 300 °C. O pico observado a 350 °C é atribuído predominantemente à concentração da celulose que se decompõe entre 300 e 390

°C, resultando em um pico acentuado de perda de massa, característico de sua rápida despolimerização e formação de compostos voláteis. Já a lignina, que é estruturalmente mais complexa e resistente à degradação térmica, se decompõe em uma faixa mais ampla (200 - 450 °C), contribuindo tanto para a sobreposição do pico da celulose quanto para a formação de um ombro próximo a 390 °C.

Um terceiro evento ocorre em temperaturas mais elevadas, acima de 400 °C, e é caracterizado por uma manipulação térmica lenta, envolvendo a degradação da lignina residual, resultando em uma perda adicional de aproximadamente 8% da massa. Ao final da análise, a 900 °C, permanece uma massa residual de cerca de 19%, atribuída ao teor de cinzas e ao carbono fixo, que são os componentes não voláteis da biomassa.

A partir da deconvolução gaussiana da curva DTG, foi possível inferir a composição do resíduo de Pinus, que contém aproximadamente 4% de umidade, 32% de hemicelulose, 38% de celulose e 25% de lignina, com um ajuste de  $R^2 = 0,96$ , apresentando valores coerentes com a literatura. Esses percentuais podem variar em função da espécie de Pinus e das condições climáticas locais, que influenciam diretamente a proporção dos componentes da biomassa lignocelulósica.

A diferença observada entre o rendimento de biocarvão obtido na pirólise a 500°C (30%) e aquele determinado pela análise termogravimétrica (TG), de aproximadamente 19,5% para carvão e cinzas, pode ser atribuída a variações nas condições experimentais e no preparo das amostras. É de se esperar que o rendimento de carvão em pirólise flash seja menor que o rendimento em pirólise lenta (TG). Durante a análise TG, a biomassa é geralmente moída, o que aumenta a área superficial exposta e facilita as trocas térmicas e a liberação dos voláteis a temperaturas relativamente mais baixas. Esse aumento na exposição e a volatilização precoce dos componentes reduzem o rendimento final de carbono fixo, resultando em cerca de 17,9% de carvão após a subtração do teor de cinzas de 1,6%.

### 2.3 Pirólise

O cromatograma da pirólise flash da exclusão de Pinus a 500 °C é apresentado na Figura 3, indentificando os principais compostos orgânicos voláteis identificados. Entre os produtos pirolíticos identificados, destacam-se cetonas,

álcoois, aldeídos, fenóis e compostos metoxilados.

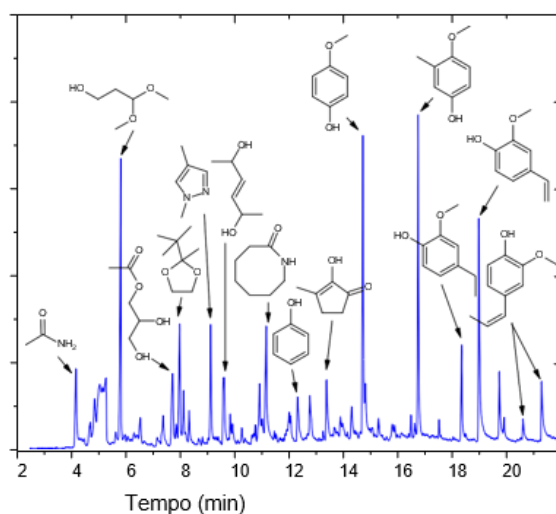


Figura 3 - Cromatograma dos produtos pirolíticos condensáveis do resíduo de pinus a 500°C

Esses compostos são gerados a partir da degradação térmica dos principais constituintes da biomassa lignocelulósica: celulose, hemicelulose e lignina, cada um contribuindo de forma distinta para o perfil dos produtos formados.

Os resultados indicam que a pirólise da celulose e hemicelulose, componentes polissacarídicos ricos em oxigênio, leva à formação de produtos voláteis como álcoois, aldeídos e cetonas. Esses compostos são caracterizados por possuírem grupos funcionais oxigenados, que são liberados em maior quantidade durante a pirólise a 500 °C. A pirólise da lignina, por sua vez, que é um polímero fenólico mais complexo e estruturalmente resistente, resulta principalmente em compostos aromáticos, como fenóis e compostos metoxilados. Esses produtos possuem estrutura aromática e, frequentemente, um ou mais grupos oxigenados incorporados, como grupos metoxila. O resíduo Pinus, sendo uma biomassa lignocelulósica do tipo *madeira macia*, apresenta uma lignina predominantemente composta por unidades de guaiacila (G), com menor presença de unidades de p-hidroxifenila (H). Os resultados sugerem que os produtos metoxilados identificados possuem apenas um radical metoxila, o que indica que as unidades de guaiacila sofreram reações de desmetoxilação, resultando na formação de unidades de p-hidroxifenila. Estas, por sua vez, passam por reações adicionais de desmetoxilação, gerando produtos fenólicos simples.

A análise apresentada na Figura 4 mostra que, a 500 °C, a biomassa pinus

exibiu um alto teor de produtos voláteis oxigenados. Essa temperatura não é suficiente para quebrar completamente as ligações químicas dos biopolímeros da biomassa e promover a remoção do oxigênio dos voláteis por meio de reações de desoxigenação. Por este motivo, o resíduo de Pinus apresentou alto percentual relativo de compostos oxigenados, reflexo direto de seu elevado teor de oxigênio, e nenhum teor de hidrocarbonetos. Esse elevado teor de compostos oxigenados, embora característico da pirólise de biomassas, têm implicações sobre o potencial energético dos bio-óleo.

A presença de altos níveis de oxigênio nos produtos voláteis condensáveis reduz o poder calorífico deles, limitando a quantidade de energia que pode ser liberada durante a combustão. Além disso, uma biomassa com alto teor de oxigênio e elevado conteúdo de matéria orgânica volátil apresenta um potencial acentuado para a formação de vapores inorgânicos durante a combustão, conforme evidenciado por Jenkins et al. (1998). Isso pode influenciar negativamente o desempenho da biomassa em aplicações energéticas, devido à menor densidade energética dos produtos resultantes.

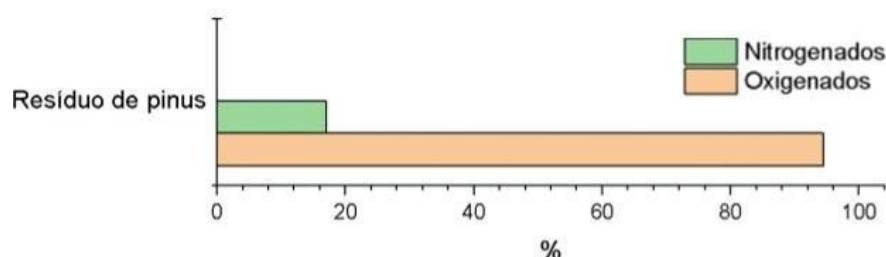


Figura 4 – Classificação dos produtos voláteis condensáveis da pirólise das biomassas

Outro aspecto relevante dos resultados é a baixa concentração de compostos nitrogenados e a ausência de compostos sulfurados nos voláteis do resíduo de Pinus. A ausência de produtos pirolíticos contendo enxofre e o baixo teor dos produtos pirolíticos contendo nitrogênio contribui para minimizar a formação de substâncias atmosféricas como óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e enxofre ( $\text{SO}_x$ ), que são regulamentados devido ao seu impacto negativo na qualidade do ar. Assim, a composição dos voláteis da exaustão de Pinus, com baixos teores de compostos ambientais formadores de  $\text{NO}_x$  e  $\text{SO}_x$ , reforça sua aplicação em processos de combustão mais limpos e com menor impacto ambiental.

### 3 Considerações finais

A pirólise de resíduos de *Pinus* revelou-se uma via promissora para a geração de produtos energéticos e de valor agregado, incluindo bio-óleo, biocarvão e biogás. A comparação entre a pirólise a 500°C e a análise termogravimétrica (TG) destacou uma diferença significativa no rendimento de biocarvão, com 30% na pirólise e aproximadamente 19,46% na TG, atribuída às variações no preparo das amostras e condições operacionais. O bio-óleo obtido possui elevado potencial energético, embora apresente desafios como alta acidez e instabilidade, exigindo pré-tratamentos para aplicação direta como combustível. O biocarvão produzido é uma opção adequada para uso agrícola, contribuindo para o sequestro de carbono e melhorias na retenção de nutrientes e água nos solos. O biogás, por sua vez, apresentou-se viável para uso como combustível após purificação, ampliando as possibilidades de aproveitamento energético dos resíduos. Assim, este estudo reforça a relevância da pirólise de *Pinus* como uma solução sustentável, com benefícios energéticos e ambientais, contribuindo para uma abordagem integrada de economia circular e mitigação das mudanças climáticas.

### Referências

- BRIDGWATER, A. V. **Biomass Fast Pyrolysis. Bioenergy Handbook:** Woodhead Publishing, 2021
- CHEN, Y., LIAO, Y., WANG, Q., & ZHANG, R. Biochar application in agriculture: A review of its potential and challenges. **Agronomy for Sustainable Development**, 42(4), 28-45, 2022.
- KIM, Daegi, Park, K. Y. & YOSHIKAWA, K. Conversion of Municipal Solid Wastes into Biochar through Hydrothermal Carbonization. **Engineering Applications of Biochar**. [S.l.]: InTech, 2017.
- KHIARI, Besma e colab. Biomass derived chars for energy applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 108, p. 253–273, 2019. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032119301972>>.
- MANIN, Julien et al. Effects of Oxygenated Fuels on Combustion and Soot Formation/Oxidation Processes. **SAE International Journal of Fuels and Lubricants**, v. 7, n. 3, p. 2014- 01–2657, 2014. Disponível em: <<https://www.sae.org/content/2014-01-2657/>>.
- MCKENDRY, Peter. Energy production from biomass (part 1): Overview of biomass. **Bioresource Technology**, v. 83, n. 1, p. 37–46, 2002.
- PATEL, A. K., ZHANG, Y., & KUMAR, P. Challenges and opportunities in bio-oil production from biomass. **Renewable Energy**, 163, 1151-1163, 2021.

SARKER, M. N. I., LI, J., & BASHIR, M. Biogas production from biomass: Current challenges and future perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 169, 112865, 2023.

SHARMA, S., KUMAR, A., & KHAN, S. Recent advancements in biomass pyrolysis: A review. **Energy Reports**, 7, 1625-1642, 2021

ZHAO, Xiao et al. Biomass-based chemical looping technologies: the good, the bad and the future. **Energy & Environmental Science**, v. 10, n. 9, p. 1885–1910, 2017. Disponível em: <<https://xlink.rsc.org/?DOI=C6EE03718F>>.

## CAPÍTULO 17: ESTUDO TEÓRICO DAS PROPRIEDADES ESTRUTURAIS E ELETRÔNICAS DE NANOFITAS DE POLIANILINA 5BB COM DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE BORDA

*Madson Marques de Paula*<sup>68</sup>; *Jean Carlos Reis de Araujo*<sup>69</sup> & *Edson Nunes Costa Paura*<sup>70</sup>

### Resumo

Este trabalho apresenta um estudo teórico das propriedades estruturais e eletrônicas de nanofitas de polianilina com diferentes terminações de borda. Utilizando simulações computacionais baseadas na Teoria do Funcional da Densidade (DFT) e no formalismo de Kohn-Sham, foram analisadas a estabilidade, a estrutura de bandas e a densidade de estados das nanofitas 5BB de polianilina, com diferentes elementos dopantes como Boro, Flúor, Hidrogênio e Oxigênio. Os resultados indicam que as propriedades eletrônicas das nanofitas podem ser significativamente ajustadas através da dopagem e das configurações de borda, sendo encontradas nanofitas com comportamento metálico, meio-metálico e semicondutor, além da perda do comportamento magnético, para alguns casos de dopagem. A análise comparativa dos resultados revelou variações nas propriedades eletrônicas, destacando a importância do controle preciso dessas variáveis para otimizar o desempenho dos materiais. Este estudo contribui para o entendimento fundamental das nanofitas de polianilina e abre caminho para futuras pesquisas e desenvolvimentos na área de nanomateriais.

**Palavras-chave:** Nanofita, Polianilina, DFT e dopagem.

### 1 Introdução

O aperfeiçoamento da nanotecnologia destaca-se como um dos principais responsáveis pelo recente avanço tecnológico. O estudo e manipulação de átomos e moléculas resulta na criação de novos materiais com propriedades superiores às já existentes (Borschiver et al., 2005). Nesse cenário, a busca por novos nanomateriais se tornou um ramo emergente de pesquisa, buscando assim um aperfeiçoamento tecnológico ainda maior.

Neste sentido, os materiais nanométricos bidimensionais (2D) representam hoje uma plataforma muito promissora para a criação de novos dispositivos com aplicações que, até então, eram consideradas inviáveis (Lu; Lieber, 2007; Lee; Zhong, 2014 e Akinwande; Petrone; Hone, 2014). A descoberta do grafeno

<sup>68</sup> Curso de Ciência e Tecnologia, CCBL- UFMA, (99) 98410-8213, madson.marques@discente.ufma.br

<sup>69</sup> Curso de Ciência e Tecnologia, CCBL- UFMA, (99) 98404-5901, jean.reis@discente.ufma.br

<sup>70</sup> Curso de Ciência e Tecnologia, CCBL- UFMA, (99) 98175-3547, edson.nunes@ufma.br

(Novoselov et al, 2004), através do processo de esfoliação mecânica, é considerado um marco de todo este processo de desenvolvimento tecnológico, uma vez que suas propriedades mecânicas e eletrônicas únicas mostrou que essa nova classe de materiais pode ser uma excelente candidata para o estudo e aplicação de fenômenos físicos inteiramente novos (Novoselov et al, 2004).

Essa descoberta também foi essencial para impulsionar a busca por novos materiais bidimensionais, resultando rapidamente no isolamento de outra monocamada importante, o Dissulfeto de Molibdênio ( $\text{MoS}_2$ ), pertencente à classe dos dicalcogenetos de metais de transição (DMT) (Novoselov et al, 2005). Em seguida, muitos outros, como o nitreto de boro (Novoselov et al, 2005), o silicene (Lalmi et al, 2010) e o fosforeno (Liu et al, 2014), foram sintetizados com sucesso.

Entretanto, o número de materiais cristalinos em camadas está limitado a um grupo reduzido de espécies, de tal forma que os materiais nanométricos bidimensionais que podem ser extraídos são muito limitados. Para resolver esse problema, uma nova geração desses materiais, chamados cristais 2D sintéticos, está sendo pesquisada e fabricada. O processo de fabricação destes cristais sintéticos não requer a existência de um sólido cristalino natural, sendo possível obter funcionalidades e características complementares por meio do projeto e ajuste do método de fabricação (Mannix et al, 2017 e Vogt et al, 2012).

Recentemente, Mahmood et al. (2016) sintetizaram pela primeira vez uma monocamada de polianilina bidimensional ( $\text{C}_3\text{N}$ ) através da pirólise direta de monocristais de tricloridrato de hexaaminobenzeno (HAB) a  $500\text{ }^\circ\text{C}$ . Após caracterização por microscopia e espectroscopia de tunelamento de varredura, observou-se que este novo material possui potencial para oferecer bom desempenho em uma variedade de aplicações, como interfaces de solução-membrana (Blinova et al, 2007), dispositivos de células solares (Chang et al, 2008), e ativação e dopagem de eletrólitos de transistores (Alam et al, 2005), como consequência de sua fórmula estequiométrica e estrutura semelhante ao grafeno na qual o nitrogênio é distribuído uniformemente ao longo da rede (Ciric-Marjanovic, 2013).

Outra forma eficiente de alterar as propriedades intrínsecas das monocamadas é através de um corte ao longo de uma direção específica, de tal forma que a monocamada fique com uma largura finita. A estrutura resultante deste

procedimento é chamada de nanofita (Tagani; Vishkayi, 2018). Uma nanofita de polianilina, a depender da direção do corte na monocamada, pode ser classificada como zig-zag ou armchair, podendo apresentar bordas compostas apenas por átomos de carbono (como no grafeno) ou bordas com igual número de átomos de carbono e nitrogênio (Figura 1).

Tagani e Vishkayi (2018) descobriram, através de métodos de simulação, como as propriedades eletrônicas de nanofitas de  $C_3N$  são influenciadas pela composição e direção do corte. Os autores relatam que nanofitas em formato zigzag com apenas átomos de carbono em uma borda se comportam como metais, enquanto as mesmas fitas com átomos de nitrogênio nas duas bordas se comportam como semicondutores. Este mesmo estudo ainda destaca que as nanofitas armchair com átomos de nitrogênio nas duas bordas apresentam um comportamento magnético, ao contrário das nanofitas com apenas carbono em suas bordas.

Considerando as propriedades únicas e potenciais aplicações relatadas em relação a monocamadas e de forma mais específica das nanofitas de polianilina, o presente trabalho busca avaliar por meio de simulações computacionais as propriedades estruturais e eletrônicas das nanofitas de  $C_3N$  com diferentes terminações de borda para possíveis aplicações, buscando sugerir aplicabilidades no campo tecnológico, principalmente na área da spintrônica.

## 2 Metodologia

Para realização deste estudo fizemos uso de simulações computacionais baseadas na Teoria do Funcional da Densidade (Kohn; Sham, 1965), que se baseia de forma geral em dois teoremas que afirmam que para qualquer sistema de partículas interagentes, o potencial é determinado unicamente pela densidade do estado fundamental e que a densidade que minimiza o funcional da energia é justamente a densidade exata do estado fundamental. Esta teoria pressupõe que a densidade eletrônica, tratada como uma variável fundamental em vez da função de onda, é capaz de descrever as propriedades eletrônicas de um sistema de maneira mais simples e eficiente, reduzindo assim o número de variáveis envolvidas (Reis, 2015).

Visando facilitar ainda mais as simulações computacionais, utiliza-se o

formalismo de Kohn-Sham, cuja ideia central é substituir o problema original de muitos corpos interagindo por um sistema auxiliar de corpos não interagentes, que reproduz, no entanto, a densidade do estado fundamental do problema original (Reis, 2015).

Estes processos foram implementados através do software de código aberto SIESTA (Spanish Initiative for Electronic Simulations with Thousands of Atoms) (Soler et al, 2002). Esse programa fornece as propriedades eletrônicas do estado fundamental de sólidos e moléculas de modo autoconsistente.

O funcional de troca e correlação foi descrito pelo método de Perdew-Burke-Ernzerhof (PBE) e pela aproximação do gradiente generalizado (GGA) (Perdew; Burke; Ernzerhof, 1996). Todos os cálculos foram realizados com pseudopotenciais de Troullier-Martins, conjuntos de bases duplo- $\zeta$  polarizado (DZP), corte de energia cinética (*mesh cut-off*) de 400 Ry e critério de convergência para a energia total de  $10^{-6}$  eV. As nanofitas foram projetadas com periodicidade no eixo y e vácuo de 50 Å nas direções x e z para evitar interações entre fitas adjacentes. Todas as nanofitas foram relaxadas até que as forças em cada átomo fossem inferiores a 0,005 eV/Å. Para os cálculos das energias no estado fundamental, a zona de Brillouin foi integrada com uma malha de pontos k Monkhorst-Pack  $1 \times 20 \times 1$ .

Neste trabalho, utilizou-se apenas nanofitas armchair 5BB (5 átomos de largura e ambas as bordas com carbono e nitrogênio), uma vez que, estas nanofitas possuem potencial para se comportarem como meio-metais intrínsecos a depender de sua espessura, o que as torna muito especiais no mundo dos materiais bidimensionais. Além do mais, considerando a pequena espessura desta nanofita, o custo computacional para realizar as otimizações computacionais são menores.

O processo de dopagem das bordas de qualquer nanofita (processo também conhecido como passivação) é uma questão importante, tendo em vista que tal processo pode alterar as propriedades eletrônicas da nanofita, revelando efeitos inesperados e interessantes. Sendo assim, iremos adotar a notação 5BB@X para indicar que todos os átomos da borda da nanofita foram dopados com um átomo X, que em nosso caso pode ser Hidrogênio (H), Boro (B), Flúor (F) ou Oxigênio (O). A notação 5BBC@X, por outro lado, indica que apenas os átomos de carbono na borda da nanofita foram dopados e a notação 5BBN@X indica dopagem apenas nos átomos de nitrogênio.

A energia de coesão da nanofitas 5BB foi calculada utilizando a Equação 1, onde  $E_T[C_3N]$  é a energia total da nanofita,  $n_C$  e  $n_N$  são os números de átomos de C e N na célula unitária, e  $E_C$  e  $E_N$  são as energias totais dos átomos de C e N isolados, respectivamente.

$$E_C = \frac{E_T[C_3N] - n_C E_C - n_N E_N}{n_C + n_N} \quad (1)$$

Para o caso das nanofitas dopadas utilizou-se a Equação 2, onde  $E_P$  representa a energia total da nanofita dopada,  $E_{NP}$  é a energia total da nanofita pura (não dopada),

$n$  é o número de átomos dopantes na célula unitária e  $E_X$  é a energia total do átomo dopante isolado.

$$E_b = \frac{E_P - E_{NP} - n E_X}{n} \quad (2)$$

### 3 Resultados e Discussão

Iniciamos nossas simulações testando a correta aplicação dos métodos e ferramentas computacionais utilizados nesta pesquisa, através do cálculo da constante de rede (um parâmetro estrutural bem conhecido) para a monocamada de polianilina. O valor encontrado para este parâmetro foi de 4,85 Å, que se encontra em ótima concordância com outros trabalhos teóricos e experimentais disponíveis na literatura (Tagani e Vishkayi, 2018, Mahmood et al., 2016). O valor correto para este parâmetro é um importante indicador da correta aplicação dos métodos utilizados, o que fornece credibilidade para os resultados apresentados a seguir.

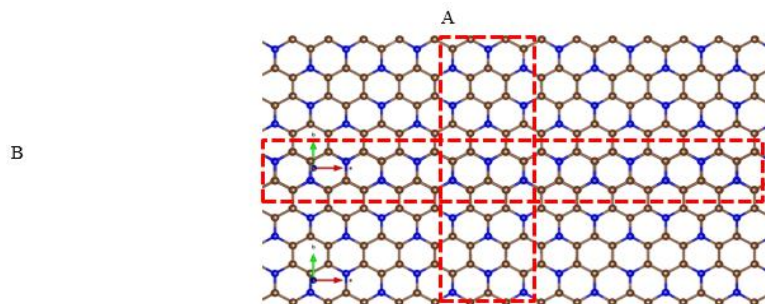
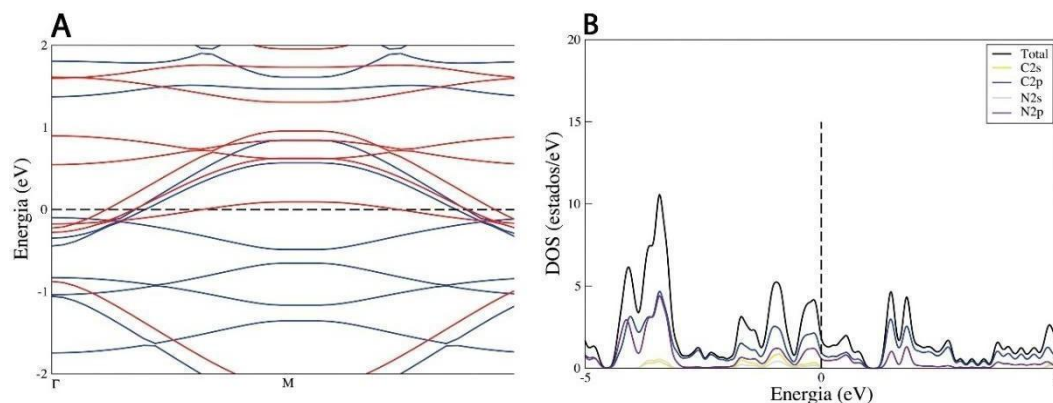


Figura 1 – Cortes na monocamada de polianilina, que originam (A) nanofitas armchair e (B) nanofitas zigzag

Para a nanofita 5BB a energia de coesão calculada foi de -4,5 eV, além de ter sido encontrado um momento magnético de 3,49  $\mu$ B, demonstrando que esta nanofita é magnética. Atribui-se este magnetismo ao fato das bordas dessa nanofita possuírem átomos de nitrogênio, que possui um elétron extra, derivado de uma ligação pendente.

A estrutura de bandas da nanofita 5BB é apresentada na figura 2A e a PDOS



na figura 2B. Da figura 2A percebemos uma quebra da degenerescência para os canais de spins up (linhas vermelhas) e down (linhas azuis), sendo observado que a nanofita é metálica para ambos os canais de spin, uma vez que ambos cruzam o nível de Fermi. A PDOS demonstra que o Máximo da Banda de Valência (MBV) recebe contribuição predominante dos orbitais p dos átomos de carbono, enquanto o Mínimo da Banda de Condução (MBC) recebe uma contribuição dividida dos orbitais p do carbono e nitrogênio.

Figura 2 – Estrutura de Bandas (A) e PDOS (B) da Nanofita 5BB

Para as nanofitas dopadas, cujas possíveis configurações são observadas na Figura 3, analisamos primeiro a dopagem com o boro. A adição deste dopante convergiu apenas nas nanofitas 5BB@B e 5BBC@B, para o qual, em ambos os casos, houve a formação de moléculas B<sub>2</sub> alheias às nanofitas. Para o primeiro caso, a energia de coesão encontrada foi de -2,24 eV, com um comportamento metálico e momento magnético desprezível.

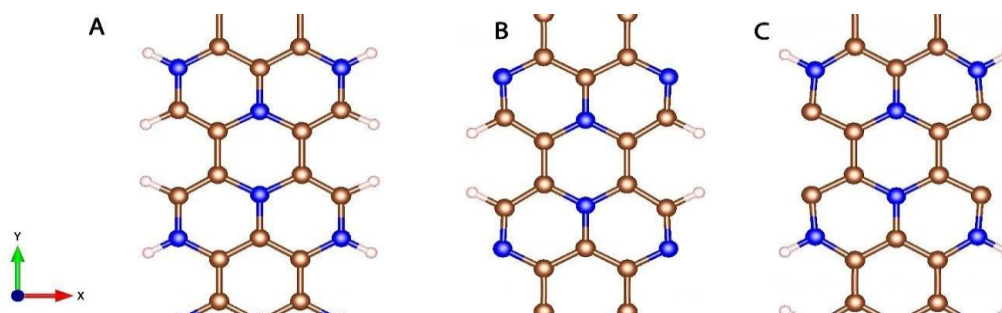


Figura 3 – Configurações de dopagem de possíveis nanofitas 5BB@X (A), 5BBC@X (B) e 5BBN@X (C)

O segundo sistema, entretanto, apresentou maior energia de coesão,  $-2,63$  eV, e um comportamento meio-metálico, visto que para os spins up temos um gap igual a zero, enquanto para os spins down observamos um gap de  $0,29$  eV, como observado na Figura 4A. Para esta situação ainda foi observado um momento magnético de  $2,12 \mu\text{B}$ . A PDOS (Figura 4B) demonstra uma majoritária influência dos orbitais p dos átomos de B no MBV, enquanto no MBC a contribuição é devida aos orbitais p dos átomos de N e C.

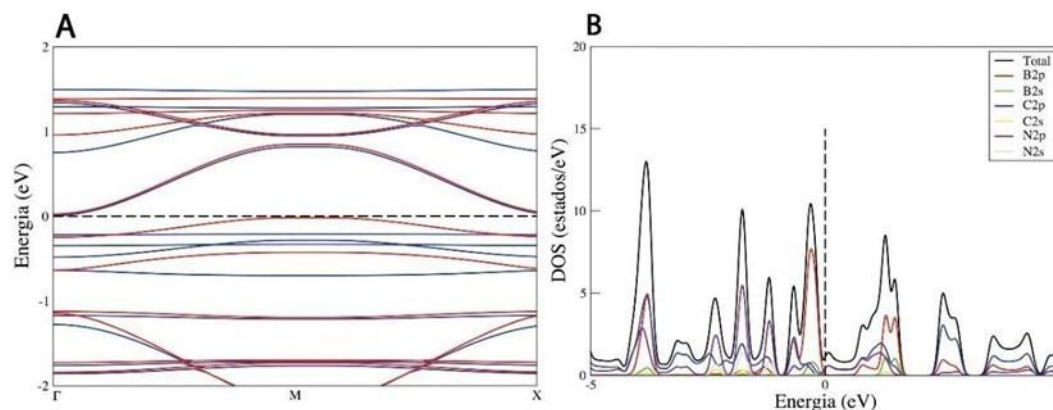


Figura 4 – Estrutura de Bandas (A) e PDOS (B) da Nanofita 5BBC@B

Em relação a dopagem com Flúor, a única configuração a convergir foi a 5BBC@F, apresentando um comportamento metálico não magnético, com energia de coesão calculada de  $-9,24$  eV, sendo o maior valor obtido entre todos os sistemas estudados neste trabalho. Além de que os níveis energéticos próximos ao MBV e MBC são oriundos dos orbitais 2p do carbono e 2p do nitrogênio

Na dopagem com Hidrogênio observou-se que as três configurações possíveis convergiram, sendo observado um comportamento diferente para cada uma. A nanofita 5BB@H teve uma energia de coesão de  $-1,95$  eV, indicando uma

estabilidade energética relativamente baixa para este sistema, e um gap de 0,14 eV caracterizando a nanofita como semicondutora não magnética. A nanofita 5BBC@H, apresentou uma energia de coesão de -3,26 eV, a maior dentre todas as nanofitas dopadas com hidrogênio, e se comporta como um metal não magnético.

No sistema 5BBN@H, a energia de coesão foi de -1,53 eV, a menor dentre todas as nanofitas analisadas neste estudo. Entretanto, esta configuração foi a única para o qual a dopagem de hidrogênio manteve comportamento magnético, ainda que com uma considerável diminuição em relação à nanofita não dopada, apresentando um momento magnético de 0,48  $\mu_B$ .

Esse efeito é perceptível na estrutura de bandas da nanofita 5BBN@H (Figura 5A), uma vez que se observa a quebra da degenerescência para os canais de spins up e down. É observado que ambos os canais de spin cruzam o nível de Fermi, caracterizando a nanofita como um metal magnético. O gráfico da PDOS (Figura 5B) revela, mais uma vez, que a contribuição dos níveis energéticos próximos ao MBV e MBC são provenientes dos orbitais 2p do carbono e 2p do hidrogênio.

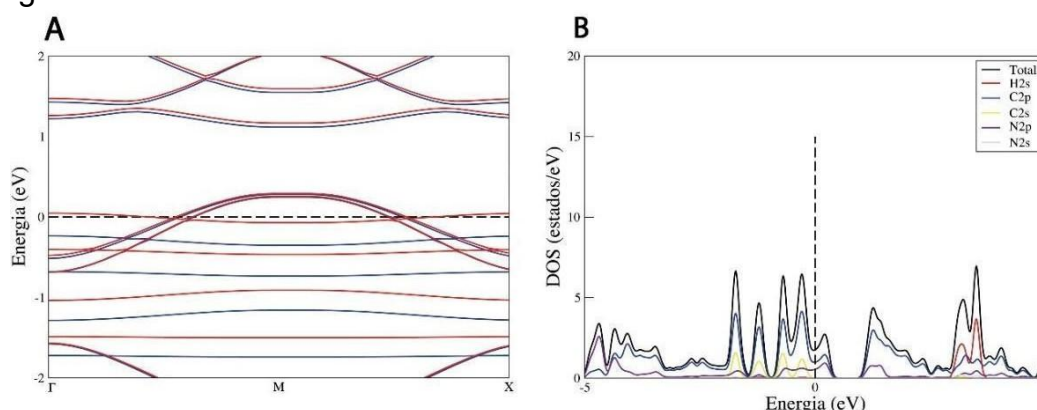


Figura 5 – Estrutura de Bandas (A) e PDOS (B) da Nanofita 5BBN@H

Para a dopagem com oxigênio, também se mostraram viáveis as três configurações possíveis, gerando desta vez três estruturas com comportamento metálico e não magnético.

A nanofita 5BB@O apresentou uma energia de coesão de -4,87 eV, tornando esse sistema mais estável energeticamente que a nanofita 5BB. No segundo sistema, composto pela nanofita 5BBC@O, a energia de coesão calculada foi de -3,17 eV, valor este menor que a configuração anterior. Já na nanofita 5BBN@O observou-se um comportamento peculiar. Para este sistema os átomos de oxigênio além de se ligarem aos átomos de nitrogênio também formam ligações entre si,

permanecendo ligados a nanofita, diferentemente do que aconteceu com o boro nas nanofitas 5BB@C e 5BBC@B. A energia de coesão encontrada foi de -3,17 eV, mesmo valor obtido na nanofita 5BBC@O.

#### 4 Considerações Finais

Neste trabalho, foram investigadas as propriedades estruturais e eletrônicas das nanofitas 5BB de polianilina após o processo de dopagem das bordas com átomos não metálicos (B, F, H e O), utilizando a Teoria Do Funcional da Densidade através do software SIESTA. A partir da análise das estruturas de bandas e PDOS foi possível observar o efeito de cada átomo dopante no comportamento da nanofita, sendo a dopagem realizada considerando todos os átomos, apenas os átomos de carbono ou apenas os átomos de nitrogênio da borda da nanofita.

Dentre os resultados encontrados destacam-se as nanofitas, 5BBC@B e 5BBN@H, sendo estas as únicas a manterem o comportamento magnético, presente na nanofita 5BB pura, e comportando-se como um meio metal e um metal, respectivamente.

Esta capacidade de quebrar a degenerescência dos estados de spin se mostra de extrema utilidade para uma área tecnológica conhecida como spintrônica. Esta área de pesquisa busca utilizar o estado de spin do elétron como forma de transmitir informações, se apresentando assim como alternativa à tão utilizada eletrônica usual baseada apenas na carga do elétron.

Acredita-se que dispositivos spintrônicos podem operar com um processamento de dados mais rápido, um menor consumo de energia, além de serem implementados em menores escalas, permitindo assim uma maior quantidade destes em microchips. Para a total implementação dessa tecnologia alguns obstáculos precisam ser superados, dentre eles o desenvolvimento de materiais que consigam realizar este tipo de trabalho, sendo necessário uma facilidade para manipular e detectar os estados de spin, característica essa encontrada neste estudo.

A pesquisa de materiais com o potencial apresentado nesta pesquisa se mostra de fundamental importância para que seja possível o progresso e aplicação da spintrônica em um futuro próximo e, conseqüentemente, o desenvolvimento de melhores ferramentas que auxiliem o desenvolvimento tecnológico e melhorem

ainda mais a qualidade de vida humana.

## Referências

- BORSCHIVER, Suzana et al. Patenteamento em nanotecnologia: estudo do setor de materiais poliméricos nanoestruturados. **Polímeros**, v. 15, p. 245-248, 2005.
- LU, Wei; LIEBER, Charles M. Nanoelectronics from the bottom up. **Nature materials**, v. 6, n. 11, p. 841-850, 2007.
- LEE, Seunghyun; ZHONG, Zhaohui. Nanoelectronic circuits based on two-dimensional atomic layer crystals. **Nanoscale**, v. 6, n. 22, p. 13283-13300, 2014.
- AKINWANDE, Deji; PETRONE, Nicholas; HONE, James. Two-dimensional flexible nanoelectronics. **Nature communications**, v. 5, n. 1, p. 5678, 2014.
- NOVOSELOV, Kostya S. et al. Electric field effect in atomically thin carbon films. **science**, v. 306, n. 5696, p. 666-669, 2004.
- NOVOSELOV, Kostya S. et al. Two-dimensional atomic crystals. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 102, n. 30, p. 10451-10453, 2005.
- LALMI, Boubekeur et al. Epitaxial growth of a silicene sheet. **Applied Physics Letters**, v. 97, n. 22, 2010.
- LIU, Han et al. Phosphorene: an unexplored 2D semiconductor with a high hole mobility. **ACS nano**, v. 8, n. 4, p. 4033-4041, 2014.
- VOGT, Patrick et al. Silicene: compelling experimental evidence for graphenelike two-dimensional silicon. **Physical review letters**, v. 108, n. 15, p. 155501, 2012.
- MANNIX, Andrew J. et al. Synthesis and chemistry of elemental 2D materials. **Nature Reviews Chemistry**, v. 1, n. 2, p. 0014, 2017.
- MAHMOOD, Javeed et al. Two-dimensional polyaniline (C<sub>3</sub>N) from carbonized organic single crystals in solid state. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 27, p. 7414-7419, 2016.
- BLINOVA, Natalia V. et al. Polymerization of aniline on polyaniline membranes. **The Journal of Physical Chemistry B**, v. 111, n. 10, p. 2440-2448, 2007.
- CHANG, Mei-Ying et al. Polymer solar cells incorporating one-dimensional polyaniline nanotubes. **Organic Electronics**, v. 9, n. 6, p. 1136-1139, 2008.
- ALAM, Maksudul M. et al. Electrolyte-gated transistors based on conducting polymer nanowire junction arrays. **The Journal of Physical Chemistry B**, v. 109, n. 26, p. 12777-12784, 2005.
- ĆIRIĆ-MARJANOVIĆ, Gordana. Recent advances in polyaniline research: Polymerization mechanisms, structural aspects, properties and

applications. **Synthetic metals**, v. 177, p. 1-47, 2013.

TAGANI, Meysam Bagheri; VISHKAYI, Sahar Izadi. Polyaniline (C<sub>3</sub>N) nanoribbons: Magnetic metal, semiconductor, and half-metal. **Journal of Applied Physics**, v. 124, n. 8, 2018.

KOHN, Walter; SHAM, Lu Jeu. Self-consistent equations including exchange and correlation effects. **Physical review**, v. 140, n. 4A, p. A1133, 1965.

SOLER, José M. et al. The SIESTA method for ab initio order-N materials simulation. **Journal of Physics: Condensed Matter**, v. 14, n. 11, p. 2745, 2002.

PERDEW, John P.; BURKE, Kieron; ERNZERHOF, Matthias. Generalized gradient approximation made simple. **Physical review letters**, v. 77, n. 18, p. 3865, 1996.

MAKAREMI, Meysam; MORTAZAVI, Bohayra; SINGH, Chandra Veer. Adsorption of metallic, metalloidalic, and nonmetallic adatoms on two-dimensional C<sub>3</sub>N. **The Journal of Physical Chemistry C**, v. 121, n. 34, p. 18575-18583, 2017.

## CAPÍTULO 18: INVESTIGAÇÃO DO EFEITO DA SUJIDADE NA PRODUTIVIDADE DE UMA USINA FOTOVOLTAICA LOCALIZADA NO DISTRITO FEDERAL

*Gilson Debastiani<sup>71</sup>; Heron Alves dos Santos<sup>72</sup>& Tatiane Carlyne Carneiro<sup>73</sup>*

### Resumo

A preocupação com o desempenho de uma usina fotovoltaica deve ser constante e requer atenção. Principalmente em regiões de chuvas irregulares, a perda de produção pode ser significativa no período seco. O presente trabalho buscou quantificar o percentual da perda de produção em uma usina fotovoltaica instalada na cidade de Brasília/DF, devido à sujeira acumulada nos módulos. A usina possui 6.086 módulos fotovoltaicos, 23 inversores e está em operação desde março de 2022. Sua última limpeza, antes das medições, ocorreu em maio de 2023. Após 90 dias da limpeza da usina e sem ocorrência de chuvas, foram limpos 738 módulos, na região central da usina, mantendo sujos os 5.348 módulos restantes. As perdas de produção dos módulos variaram entre 8,4%, em regiões da usina com pouca incidência de poeira, e 20,3%, em áreas onde o acúmulo de poeira foi mais significativo. A perda média de produção observada foi de 12,1%.

**Palavras-chave:** Energia Solar Fotovoltaica, Limpeza, Perda de Produção, Eficiência.

### 1 Introdução

A geração elétrica por meio de fontes renováveis tem se apresentado como uma alternativa relevante para os países substituírem o uso de combustíveis fósseis que, além de contaminar o meio ambiente, possuem prazo de validade, por serem um recurso não renovável (Carneiro et al., 2021). A fonte solar tem atraído considerável atenção de pesquisadores, devido à sua abundância em diferentes regiões do mundo e à sustentabilidade associada (Zendejboudi et al., 2018).

A matriz elétrica brasileira é predominantemente composta por fontes renováveis de energia, especialmente as hidrelétricas, complementada pelas termelétricas, em períodos em que os reservatórios hídricos estejam com baixos níveis. O incremento no uso da geração solar fotovoltaica, atualmente com cerca de 34.228 MW de potência instalada, observado nos últimos anos (ABSOLAR,

<sup>71</sup> Diretoria de Obras Militares, SMU, Brasília, (61) 3415-4178, e-mail: debastiani.gilson@eb.mil.br

<sup>72</sup> Diretoria de Obras Militares, SMU, Brasília, (61) 3415-4495, e-mail: heron@dec.eb.mil.br

<sup>73</sup> Universidade Federal do Maranhão, Centro de Ciências de Balsas - Curso de Engenharia Ambiental, email: tatiane.carolyne@ufma.br

2023), complementa a geração hídrica e diversifica a matriz, propiciando maior confiabilidade ao sistema elétrico. Desse total, 23.842 MW contemplam os sistemas fotovoltaicos distribuídos, ou seja, aqueles que não estão centralizados em grades plantas fotovoltaicas, exemplificada na Figura 1.

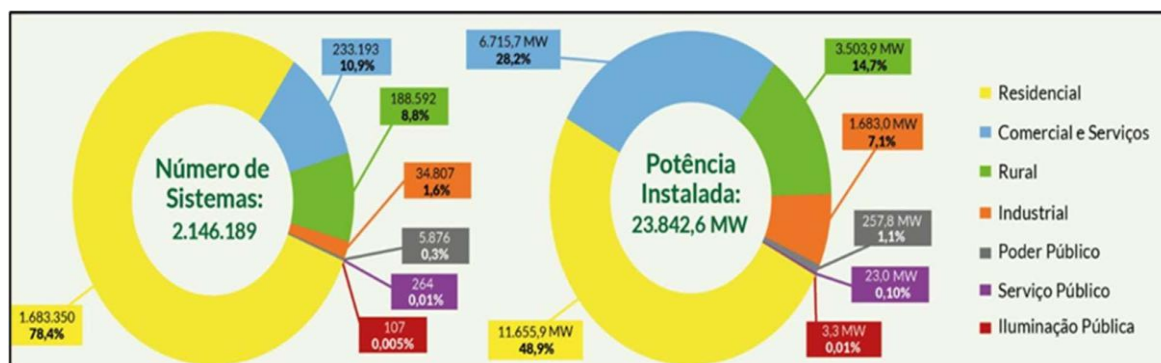


Figura 1 - Geração Distribuída Solar Fotovoltaica, por classe de consumo.

Fonte: INFOGRÁFICO da ABSOLAR (2023).

O incremento da geração solar fotovoltaica, seja ela centralizada ou distribuída, requer estudos que analisem como diferentes fatores (sombreamento, sujidade e temperatura, por exemplo) afetam o rendimento dos módulos utilizados (Khazaal et al., 2020). As usinas fotovoltaicas podem ser afetadas por diferentes fatores, desde o ambiente em que estão instaladas até os parâmetros meteorológicos como: níveis de radiação solar incidente, temperatura, velocidade e direção do vento, umidade e sujidade (Ovrum et al., 2021; Souza et al., 2023). Para Laarabi et al. (2020), a sujidade afeta diretamente a produtividade de plantas solares fotovoltaicas, perdendo apenas para a irradiância solar e a temperatura.

Mesmo considerando que a manutenção exigida por uma usina fotovoltaica é mínima, principalmente em regiões com normalidade no regime de chuvas, o acompanhamento de performance e produção deve permitir avaliar a periodicidade ideal de limpeza, evitando perdas significativas na geração de energia. Regiões que apresentem prolongados períodos secos, elevado índice de poluição atmosférica ou com usinas instaladas em solo descoberto, requerem maior preocupação com a tempestividade de limpeza dos módulos.

Apesar da grande disponibilidade de estudos científicos que demonstram a capacidade produtiva de usinas fotovoltaicas em praticamente todo o planeta, ainda existem muitos locais carentes de avaliações técnicas quanto às perdas por sujidade. Há a necessidade de mapeamento do período ideal de intervenção na usina, bem como os impactos dos custos para limpeza e perda de produção, em

função das características locais, na avaliação financeira. O objetivo deste artigo é quantificar o percentual de perda de produção em uma usina fotovoltaica instalada no Distrito Federal, na cidade de Brasília, em função da sujidade acumulada sobre os módulos.

## **2 Características e efeitos da acumulação natural de sujidades em sistemas fotovoltaicos**

A deposição de sujeira está relacionada à inclinação dos módulos, ao clima local, à velocidade e direção do vento e ao tipo e característica das partículas (Guan et al., 2017). A sujidade, por vezes, tem o seu efeito negligenciado, embora possa impactar a produtividade de usinas fotovoltaicas (Ovrum et al., 2021). Diferentes estudos são encontrados na literatura sobre as características e os impactos da sujidade no desempenho da geração fotovoltaica.

Em Souza et al. (2023), em que um estudo teórico foi desenvolvido, as principais conclusões foram as seguintes: a) considerando a limpeza dos módulos fotovoltaicos, o modo mais utilizado é a limpeza manual com o uso de água; b) em alguns locais, a limpeza é natural (pelas precipitações ao longo do tempo); c) especialmente em locais áridos ou semiáridos, a limpeza a seco e o uso de água reutilizada são encontrados; d) a composição mineral das amostras de sujeira apresentou, com mais frequência, quartzo, calcita, hematita e gesso; e e) os parâmetros mais afetados pela sujidade são corrente de curto circuito ( $I_{sc}$ ) e potência, tendo baixo impacto sobre a tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ).

Zitouni et al. (2019) analisou o efeito da sujidade no desempenho de sistemas fotovoltaicos monocristalinos. O período analisado foi de 6 meses, em uma planta fotovoltaica de 16,56 kWp, localizada no Marrocos. Os autores observaram uma queda de potência diária de 2,7 kWh/dia (no período seco) e de 0,07 kWh/dia (no período chuvoso).

Uma modelagem da taxa de sujidade, em função de dados ambientais e por meio de diferentes métodos (incluindo Redes Neurais Artificiais), pode ser encontrado em Zitouni et al. (2021). Os resultados mostraram que a redução de geração elétrica diária atinge 0,61 kWh no período seco e 0,03 kWh no período chuvoso (a energia produzida esperada é de 5,59 kWh/dia).

Em Azouzoute et al. (2021), é realizada uma investigação dos efeitos da poeira em um módulo fotovoltaico de cobertura de vidro, com sistema fixo e de rastreamento. O desempenho elétrico diminuiu 27% após 8 meses de exposição à poeira e sem a realização de limpeza do módulo. Além disso, observando a transmitância óptica, ela foi reduzida em mais de 28% após 30 dias de exposição a sujidade (redução da geração elétrica em 4,4%).

Tripathi et al. (2017) desenvolveu testes de performance em módulos fotovoltaicos em Chitradurga (Índia). Em regiões próximas a minas, a performance dos módulos foi reduzida em 22,45% após um dia e em 43,18% em cinco dias. A análise revelou partículas no formato de discos aglomerados, compostos por Oxigênio (O) (51,8%), Carbono (C) (25,9%) Ferro (Fe) (17,51%), Silício (Si) (2,7%) e Alumínio (Al) (2,09%).

Ehsan et al. (2021) estudaram os efeitos prejudiciais das perdas por sujidade em módulos fotovoltaicos em um ambiente industrial. Foram utilizados módulos fotovoltaicos de silício monocristalino básico e com revestimento anti-sujeira, em que se observou um ganho de 10,82% na geração do módulo que continha o revestimento em relação ao básico. Com relação à sujidade, os elementos encontrados foram O (50%–55%), Si (22%–26%) e Al (12%–13%) e outros em menor quantidade, como manganês (Mn).

Os efeitos da sujidade em módulos monocristalinos e policristalinos podem ser encontrados em Majeed et al. (2020). A produção diária dos módulos fotovoltaicos limpos se mantém a mesma por 30 dias. No entanto, a produção de energia dos módulos fotovoltaicos monocristalinos e policristalinos sujos diminuiu 16,16% e 11,54%, respectivamente. As partículas de poeira apresentam em sua composição: O (48,36%), C (25,26%), Cálcio (Ca) (10,46%) e Si (8,56%).

Na Tabela 1 são apresentadas informações sobre os artigos que compõem a revisão teórica.

Tabela 1 - Informações sobre os trabalhos que compõem a revisão teórica (incluindo a presente pesquisa).

Referências	Localidade	Perda em termos de produtividade elétrica / tempo de acúmulo de sujidade	Tipo de módulo
Autores	Brasília, Brasil	12,1% / 90 dias	Módulos de Silício - monocristalino
Zitouni et al. (2019)	Benguerir, Marrocos	16% (período seco) e 2% (período chuvoso) / 6 meses	Módulos de Silício - monocristalino
Zitouni et al. (2021).	Benguerir, Marrocos	10,9% / 6 meses	Módulos de Silício Amorfo
Azouzoute et al., (2021)	Benguerir, Marrocos	27% / 8 meses	Módulo fotovoltaico de cobertura de vidro
Tripathi et al., (2017)	Chitradurga, Índia	43,18% / 5 dias (próximo a minas)	-
hsan et al., (2021)	Tiruchirappalli, Índia	9,76% / 2 meses (perda do módulo sem revestimento antisujeira em relação ao que possui o revestimento)	Módulos de Silício – monocristalino tradicionais e com revestimento anti-sujeira
ajeed et al. (2020)	Slamabad, Paquistão	16,16% e 11,54%, para monocristalinos e policristalinos, respectivamente / 30 dias	Módulos de Silício - monocristalinos e policristalinos

### 3 Metodologia

O presente trabalho norteou-se em avaliar o impacto que a falta de limpeza dos módulos fotovoltaicos provoca em uma usina de 2.769 kWp, instalada em Brasília/DF, durante o período seco do corrente ano. De forma quantitativa, a usina possui instalado 2 transformadores isolados a seco de 1500 kVA, 23 inversores trifásicos de 100 kW e 6.086 módulos fotovoltaicos de 455 Wp, distribuídos conforme diagrama unifilar do sistema simplificado, representado na Figura 2.

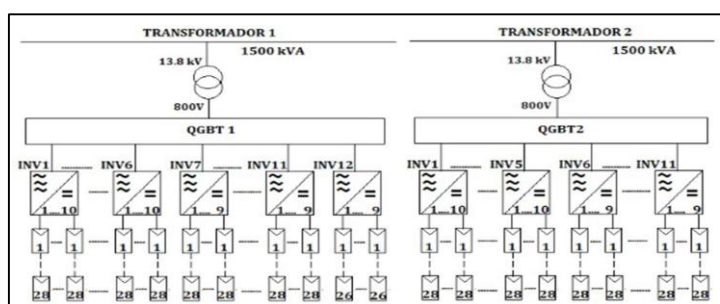


Figura 2 - Geração Distribuída Solar Fotovoltaica, por classe de consumo.

Fonte: Autores, 2024.

Em função das características da área de 28.000m<sup>2</sup>, ocupada pela usina, com todo o solo coberto por brita, identificou-se visualmente que os módulos instalados mais ao norte, apresentavam maior índice de sujeidade. Já ao final da usina, na porção sul, a densidade acumulada de poeira era reduzida.

Neste sentido, realizou-se a limpeza manual de 738 módulos fotovoltaicos, que se encontram conectados nos inversores 11 e 12 do transformador 1 e no inversor 11 do transformador 2, todos localizados na região central da usina, mantendo-se os demais 5.348 módulos sujos. Na Figura 3 destaca-se a realização da limpeza manual dos módulos fotovoltaicos utilizados para a avaliação. Já a Figura 4 destaca uma vista aérea da usina, ressaltando a região central, após a realização da limpeza.



Figura 3 - Limpeza manual dos módulos

Fonte: Autores, 2024



Figura 4 - Vista aérea da usina

Fonte: Autores, 2024

Como a topologia adotada, conforme *layout* do sistema já apresentado (Figura 2), onde cada inversor possui uma média de 9 a 10 arranjos fotovoltaicos, cada uma com 26 ou 28 módulos fotovoltaicos para cada série, houve a necessidade de quantificar a produção individual de cada módulo, e não apenas levantar a produção total de cada inversor. Foi realizada a média individual de produção de todos os 738 módulos limpos, que serviram como referência para avaliar a performance dos demais.

#### 4 Resultados e Discussão

A preocupação dos gestores da usina com a eficiência na geração fotovoltaica, quando confrontado o acúmulo natural de sujeidade sobre os módulos com o manual técnico de manutenção da usina, que prevê uma limpeza anual (realizada em meados de maio), fez com que o presente estudo fosse conduzido

durante o período seco. Desta forma, buscou-se avaliar a tempestividade ideal para uma intervenção na limpeza, e o impacto que sua ausência poderá ocasionar na produção de energia elétrica.

Com a utilização de aplicativo de gerenciamento da usina, foi levantado a produção total ocorrida no dia de referência para a presente avaliação (13/08/2023), conforme representa a Figura 5, enquanto na Tabela 2 estão apresentados, além dos transformadores, a produção total de cada um dos inversores e individualizada para cada um dos módulos, bem como o percentual de eficiência e de perda de produção destes em relação aos módulos limpos.



Figura 5 - Produção da usina no dia de referência – 13/08/23.

Fonte: Autores, 2024.

Tabela 2 - Produção e percentual de performance de cada módulo

Transf.	nv. Nº	Nr de módulos	Produção (kWh)		% em relação aos painéis limpos	% de perda de produção
			Diária 13/08/23	Por módulo		
1	1	280	545,1	1,95	80,6%	19,4%
1	2	280	613,6	2,19	90,7%	9,3%
1	3	280	608,1	2,17	89,9%	10,1%
1	4	280	605,9	2,16	89,6%	10,4%
1	5	280	619,3	2,21	91,6%	8,4%
1	6	280	615,0	2,20	90,9%	9,1%
1	7	252	486,7	1,93	80,0%	20,0%
1	8	252	542,7	2,15	89,2%	10,8%
1	9	252	527,5	2,09	86,7%	13,3%
1	10	252	541,5	2,15	89,0%	11,0%
1	limpo	252	635,5	2,52	-	-
2	1	252	547,4	2,17	89,9%	10,1%
2	2	280	611,4	2,18	90,4%	9,6%

2	3	280	612,1	2,19	90,5%	9,5%
2	4	280	552,4	1,97	81,7%	18,3%
2	5	280	539,3	1,93	79,7%	20,3%
2	6	252	550,5	2,18	90,4%	9,6%
2	7	280	609,3	2,18	90,1%	9,9%
2	8	252	545,4	2,16	89,6%	10,4%
2	9	252	541,6	2,15	89,0%	11,0%
2	10	252	540,3	2,14	88,8%	11,2%
2	limpo	252	650,1	2,58	-	-
2	limpo	234	519,3	2,22	-	-
<b>Total / média</b>		<b>6.086</b>	<b>13.159,7</b>	<b>2,16</b>	<b>87,9%</b>	<b>12,1%</b>

Da avaliação realizada, verificou-se que a maior perda de performance, por acúmulo de sujidade, ocorreu no Inversor nº 5, do transformador nº 2, apresentando índice de 20,3%. Já a menor perda de produção ocorreu no Inversor nº 5, do transformador nº 1, com registro de 8,4% (Figura 6). A perda média observada em todos os módulos fotovoltaicos sujos foi de 12,1%.

Inversor			
AB	783,9	A	4,405
BC	785,0	B	4,592
CA	787,1	C	4,503
Estado do inversor		Ligação à rede	
Rendimento hoje		619,27 kWh	

Inversor			
AB	787,6	A	3,817
BC	783,5	B	3,864
CA	782,5	C	3,974
Estado do inversor		Ligação à rede	
Rendimento hoje		539,27 kWh	

Figura 6 - Produção dos inversores de menor e de maior perda de produção, ambos com 280 módulos

Fonte: Autores, 2024.

Essa amplitude de perdas foi ocasionada em função das características de solo descoberto, próximo dos inversores localizados no limite norte da usina, onde a densidade de poeira sobre os módulos foi significativa, impactando de forma relevante a perda de produção.

## 5 Considerações Finais

Tão importante quanto o correto dimensionamento e emprego de equipamentos certificados de boa qualidade, aliados a técnicas construtivas eficientes, uma usina fotovoltaica depende de práticas constantes de observação, manutenção e conservação, para garantir eficiência na geração fotovoltaica idealizada no projeto.

Conforme apresentado, não existe um tempo ideal padronizado para realizar a intervenção e limpeza em uma usina, pois cada caso depende de inúmeros fatores. O que deve ser padronizado é a perda de produção de energia, em função da disponibilidade solar existente. Neste contexto, cresce de importância a caracterização climática regional, padrões de regimes das chuvas, principalmente em regiões que apresentem chuvas irregulares, e o impacto que este fornece no desempenho e acúmulo de sujeira sobre os módulos fotovoltaicos.

No presente trabalho foi possível observar que, em usinas de médio e grande porte, as características de desempenho dos módulos fotovoltaicos não possuem comportamento homogêneo, pois ficam sujeitos às condições de cobertura de solo ou atividades exercidas nas regiões circunvizinhas. Foram registradas perdas por sujeira que variaram entre 8,4% e 20,3%, somente em função do acúmulo natural desigual da poeira, com média de perdas da usina alcançando 12,1%.

Neste contexto, conclui-se que, em muitos casos, a falta de limpeza dos módulos fotovoltaicos poderá comprometer toda a viabilidade financeira da usina definida em projeto, convertendo-se em perdas financeiras significativas para os gestores. Necessário também é buscar levantar todo o custo financeiro para uma intervenção de limpeza na usina, contabilizando-se desde a mão-de-obra e produtos de limpeza, como o valor e quantidade de água a ser empregada. Somente assim poderá ser definido o momento ideal que conjugará o investimento a ser aportado na limpeza com o acréscimo de geração a ser alcançado, podendo-se estabelecer que a limpeza ocorra de forma setorizada, nos locais com maior criticidade no acúmulo natural de sujeira.

Com os resultados ora apresentados, observa-se que a tempestividade de intervenção em usinas fotovoltaicas localizadas em regiões sob a incidência de longos períodos de estiagem, não poderá ultrapassar o prazo de 3 meses, pois do contrário, as perdas de geração serão significativas.

## Agradecimentos

*Aos gestores da usina fotovoltaica localizada em Brasília/DF, com potência instalada de 2.769 kWp, por oportunizar a utilização dos dados de produção e acompanhamento de desempenho da usina fotovoltaica, em busca do aperfeiçoamento de práticas que permitirão maior eficiência na geração fotovoltaica em áreas afetadas por longos períodos de estiagem.*

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA – ABSOLAR: Disponível em:

<https://www.absolar.org.br>. Acesso em: 15 out. 2023.

Azouzoute, A., Hajjaj, C., Zitouni, H., El Ydrissi, M., Mertah, O., Garoum, M. Ghennioui, A., 2021. Modeling and experimental investigation of dust effect on glass cover PV module with fixed and tracking system under semi-arid climate. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 230, 111219.

Carneiro, T. C., Carvalho, P. C. M., Santos, H.A., Lima, M. A. F. B., Braga, A. P. D. S., 2021. Review on Photovoltaic Power and Solar Resource Forecasting: Current Status and Trends. *Journal of Solar Energy Engineering*, 144(1), 010801. <https://doi.org/10.1115/1.4051652>.

Ehsan, R. M., Simon, S. P., Sundareswaran, K., Kumar, K. A., and Sriharsha, T., 2021, Effect of Soiling on Photovoltaic Modules and Its Mitigation Using Hydrophobic Nanocoatings, *IEEE J. Photovoltaics*, 11(3), pp. 742–749.

Guan, Y., Zhang, H., Xiao, B., Zhou, Z., and Yan, X., 2017, In-Situ Investigation of the Effect of Dust Deposition on the Performance of Polycrystalline Silicon Photovoltaic Modules, *Renewable Energy*, 101(1), pp. 1273–1284.

Khazaal, H. F., Kadhim, H. M., Farhan, M. S., Sh Baqer, I., and Salih, S. R., 2020. Evaluation the Influences of Temperature, Dust and Shading on Photovoltaic System Performance, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 765(1), p. 012015.

Laarabi, B., Baqqal, Y. E., Dahrouch, A., and Barhdadi, A., 2020, Deep Analysis of Soiling Effect on Glass Transmittance of PV Modules in Seven Sites in Morocco, *Energy*, 213(1), p. 118811.

Majeed, R., Waqas, A., Sami, H., Ali, M., and Shahzad, N., 2020, Experimental Investigation of Soiling Losses and a Novel Cost-Effective Cleaning System for PV Modules, *Sol. Energy*, 201(1), pp. 298–306.

Ovrum, O., Marchetti, J. M., Kelesoglu, S., and Marstein, E. S., 2021, Comparative Analysis of Site-Specific Soiling Losses on PV Power Production, *IEEE J. Photovoltaics*, 11(1), pp. 158–163.

Souza, J. J. S., Carvalho, P. C. M., Barroso, G. C., 2023. Analysis of the Characteristics and Effects of Soiling Natural Accumulation on Photovoltaic Systems: A Systematic Review of the Literature. *Journal of Solar Energy Engineering*, 145(4), 040801.

Tripathi, A. K., Aruna, M., Murthy, C. S. N., 2017, Performance Evaluation of PV Panel Under Dusty Condition, *Int. J. Renew. Energy Dev.*, 6(3), pp. 225–233.

Zendeboudi A., Baseer M.A., 2018. Saidur R. Application of support vector machine models for forecasting solar and wind energy resources: A review. *Journal*

of Cleaner Production 2018. 199:272e285.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.164>.

Zitouni, H., Azouzoute, A., Hajjaj, C., Ydrissi, M. E., Regragui, M., Polo, J., Oufadel, A., Bouaichi, A., and Ghennioui, A., 2021, Experimental Investigation and Modeling of Photovoltaic Soiling Loss as a Function of Environmental Variables: A Case Study of Semi-Arid Climate, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 221(1), p. 110874.

Zitouni, H., Merrouni, A. A., Regragui, M., Bouaichi, A., Hajjaj, C., Ghennioui, A., and Ikken, B., 2019, Experimental Investigation of the Soiling Effect on the Performance of Monocrystalline Photovoltaic Systems, *Energy Procedia*, 157(1), pp. 1011–1021.

## SEÇÃO 5: INOVAÇÃO, GESTÃO E EMPREENDEDORISMO

A última seção celebra a criatividade e o espírito inovador que movem a transformação institucional, econômica e social da região. Os artigos exploram a gestão de recursos públicos, o empreendedorismo indígena e a modernização das universidades federais do Matopiba, evidenciando que o conhecimento científico pode e deve dialogar com a gestão, a cultura e o desenvolvimento regional. As reflexões aqui apresentadas inspiram novas formas de pensar a inovação, não apenas como avanço tecnológico, mas como compromisso com a inclusão e a sustentabilidade. Os artigos que compõem os capítulos desta seção estão listados a seguir:

- Análise da gestão e execução orçamentária nas universidades federais do Matopiba (UFBA, UFPI, UFMA e UFT);
- Empreendedorismo indígena: principais constructos observados na literatura;
- Motivos que levam o consumidor a buscar a feira da agricultura familiar em Balsas-MA.

## CAPÍTULO 19: ANÁLISE DA GESTÃO E EXECUÇÃO ORÇAMENTÁRIA NAS UNIVERSIDADES FEDERAIS DO MATOPIBA: (UFBA, UFPI, UFMA e UFT)

Wener M. T. dos Santo<sup>74</sup>, Danilo M. T. dos Santos<sup>75</sup>

Universidade Federal do Maranhão, Coordenação Bacharelado Interdisciplinar Ciência e Tecnologia

### Resumo

A análise da gestão e execução orçamentária das Universidades Federais do MATOPIBA (UFBA, UFPI, UFMA e UFT) revelou que o principal foco de investimento é no apoio técnico e administrativo, refletindo a importância do suporte operacional eficiente. A gestão de bens móveis e imóveis é um destaque na UFMA e UFT, mostrando um foco na manutenção da infraestrutura física. A vigilância e energia elétrica também recebem atenção significativa. No entanto, áreas essenciais para a permanência estudantil, como alimentação e auxílios, bolsas e estágios, recebem menos investimento, especialmente na UFMA, onde a alocação é a mais baixa. A UFBA se destaca pela distribuição equilibrada de recursos, refletindo sua posição de liderança nos rankings. Já a UFPI e UFT mostraram avanços, enquanto a UFMA enfrenta desafios relacionados à gestão de infraestrutura e permanência estudantil. A UFMA pode reavaliar seus altos investimentos em infraestrutura e aumentar os recursos para alimentação e auxílios estudantis, seguindo o exemplo de instituições de destaque no Nordeste, como UFPE, UFC, UFRN e UFS.

**Palavras-chave:** MATOPIBA, gestão, investimento e custeio.

### 1 Introdução

A análise das gestões em universidades públicas é fundamental para avaliar tanto a eficiência administrativa quanto a qualidade educacional. O MATOPIBA é um acrônimo que denomina a região que se estende por territórios de quatro estados do Brasil, formado com as primeiras sílabas dos nomes dessas unidades federativas Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, onde se avalia como é o desempenho gerencial das Universidades Federais do Maranhão (UFMA), Tocantins (UFT), Piauí (UFPI) e Bahia (UFBA).

Com base no Ranking Universitário Folha (RUF) de 2019 e 2023 e nos dados do Índice Integrado de Governança e Gestão Públicas (iGG-TCU) do

<sup>74</sup> Universidade Federal do Maranhão, Coordenação Bacharelado Interdisciplinar Ciência e Tecnologia, wener.santos@ufma.br

<sup>75</sup> Universidade Federal do Maranhão, Coordenação Bacharelado Interdisciplinar Ciência e Tecnologia, danilo.miranda@discente.ufma.br, danilo.miranda@discente.ufma.br

Tribunal de Contas da União (TCU), será realizada uma avaliação da governança nas universidades públicas. A análise da execução orçamentária das Universidades Federais da região MATOPIBA será conduzida por meio do painel da Associação Nacional dos Dirigentes das Instituições Federais de Ensino Superior (ANDIFES), que oferece uma visão detalhada da gestão financeira. Esse painel permite verificar como as Universidades Federais do Maranhão (UFMA), Tocantins (UFT), Piauí (UFPI) e Bahia (UFBA) administram seus recursos, promovendo eficiência administrativa e qualidade educacional.

O Ranking Universitário Folha (RUF) é uma avaliação anual do ensino superior do Brasil feita pela Folha de S.Paulo desde 2012 publicada sempre no mês de setembro, nas universidades brasileiras, públicas e privadas, a partir de cinco indicadores: pesquisa, internacionalização, inovação, ensino e mercado. Os dados que compõem os indicadores de avaliação do Ranking Universitário Folha são coletados por uma equipe da Folha em bases de patentes brasileiras (Inpi), em bases de periódicos científicos (Web of Science e SciELO), em bases do Ministério da Educação (MEC), em agências de fomento à ciência federais e estaduais e em pesquisas nacionais de opinião feitas pelo Datafolha. A metodologia tem inspiração em rankings internacionais de universidades e segue uma revisão de literatura de avaliação de ensino superior com cerca de 400 referências (Righetti,2021; RUF 21029).

Além do Ranking Universitário Folha (RUF), o Tribunal de Contas da União (TCU) desenvolveu o Índice Integrado de Governança e Gestão Públicas (iGG-TCU) para avaliar a governança no setor público e incentivar boas práticas. Desde 2017, quatro áreas são monitoradas anualmente: governança de pessoas, TI, contratações e orçamento. Isso permite reduzir custos de coleta de dados e facilita análises comparativas (benchmarking). O iGG-TCU classifica as organizações de 0 a 1 (0% a 100%) e inclui perfis como iGovPub (governança organizacional), iGestPessoas, iGestTI, iGestContrat, e iGestOrçament. O iGovPub avalia liderança, estratégia e controle. O iGestPessoas alinha políticas de gestão de pessoas com os objetivos organizacionais. O iGestTI promove a digitalização e segurança das informações. O iGestContrat supervisiona contratações, e o iGestOrçament garante o cumprimento das prioridades orçamentárias (Brasil, 2020) .

O painel Associação Nacional dos Dirigentes das Instituições Federais de Ensino Superior (ANDIFES) de informações orçamentárias, desenvolvido pelo FORPLAD, oferece dados detalhados sobre a execução orçamentária das Instituições Federais de Ensino Superior (IFES), incluindo séries históricas, despesas de custeio, receitas e indicadores diversos, utilizando tecnologia de Business Intelligence. As informações são extraídas do SIAFI, SIOP e IBGE, com ajustes pelo IPCA até dezembro de 2022. O painel visa à transparência e à promoção de uma educação pública inclusiva e de qualidade (Andisfes, 2020).

Este estudo de caso tem como objetivo avaliar a relação entre a gestão e a situação enfrentada pelas universidades públicas federais diante da falta de estratégias e direcionamento claros, comprometendo a busca por melhorias contínuas.

## 2 Materiais E Métodos

O material utilizado foi um computador conectado à internet. A metodologia adotada incluiu a consulta aos resultados do Índice Integrado de Governança e Gestão (iGG) de 2021, aos rankings universitários do RUF (Ranking Universitário Folha) de 2019 e 2023, além do acompanhamento da execução orçamentária das Universidades Federais do Maranhão (UFMA), Tocantins (UFT), Piauí (UFPI) e Bahia (UFBA) por meio do painel ANDIFES.

## 3 Resultados E Discursões

### 3.1 Rankings das Universidades Federais em 2019 e 2023.

As Tabelas 1 e 2 mostram os rankings das Universidades Federais.

Tabela 1 - RUF (Ranking Universitário Folha) de 2019

Universidade	Estado	Ranking	Posição Ensino	Posição Pesquisa	Posição Mercado	Posição Inovação	Posição Internacionalização
Universidade Federal da Bahia	BA	14	19	24	12	15	21
Universidade Federal do Maranhão	MA	51	65	58	56	54	89
Universidade Federal do Piauí	PI	52	73	63	33	87	117
Fundação Universidade Federal do Tocantins	TO	115	150	90	88	72	110

Fonte: Ranking Universitário Folha de 2019

Tabela 2 - RUF (Ranking Universitário Folha) de 2023

Universidade	Estado	Ranking	Posição Ensino	Posição Pesquisa	Posição Mercado	Posição Inovação	Posição Internacionalização
Universidade Federal da Bahia	BA	16	29	22	9	16	33
Universidade Federal do Piauí	PI	34	35	47	40	76	65
Universidade Federal do Maranhão	MA	54	62	62	50	84	102
Fundação Universidade Federal do Tocantins	TO	102	117	89	104	80	157

Fonte: Ranking Universitário Folha de 2023

Comparando os rankings do RUF de 2019 e 2023 para as universidades federais da região MATOPIBA mostra avanços e variações em diferentes áreas, conforme Tabela 3.

#### a) Universidade Federal da Bahia (UFBA)

No ranking geral, caiu da 14<sup>a</sup> posição em 2019 para a 16<sup>a</sup> posição em 2023. A melhora mais expressiva foi na posição de mercado, subindo da 12<sup>a</sup> para a 9<sup>a</sup> colocação, e na pesquisa também apresentou uma leve melhoria, passando da 24<sup>a</sup> para a 22<sup>a</sup> posição. A posição de ensino saiu da 19<sup>a</sup> colocação para 29<sup>a</sup>.

#### b) Universidade Federal do Piauí (UFPI)

No ranking geral, saiu da 52<sup>a</sup> colocação em 2019 para 34<sup>a</sup> em 2023, um avanço expressivo no ranking geral. A melhoria no ensino, onde a instituição passou da 73<sup>a</sup> posição em 2019 para a 35<sup>a</sup> posição em 2023. Também houve melhoras no item mercado, subindo da 33<sup>a</sup> para a 40<sup>a</sup> posição. A inovação e internacionalização ainda são pontos fracos, apesar de algumas melhoras saindo de 87<sup>a</sup> para 76<sup>a</sup> e 117<sup>a</sup> para 65<sup>a</sup>, respectivamente.

#### c) Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

No ranking geral a UFMA apresentou uma queda, saindo da 51<sup>a</sup> posição em 2019 para a 54<sup>a</sup> em 2023. O maior avanço foi em mercado, onde a Universidade saiu da 56<sup>a</sup> para a 50<sup>a</sup> posição. Na pesquisa teve uma queda, onde em 2019 ocupava a 58<sup>a</sup> e em 2023 está na 62<sup>a</sup> colocação). Na internacionalização, passou da 89<sup>a</sup> posição em 2019 para a 102<sup>a</sup> em 2023.

**d) Fundação Universidade Federal do Tocantins (UFT)**

O ranking geral a UFT subiu de 115<sup>a</sup> em 2019 para 102<sup>a</sup> em 2023, um avanço favorável no ranking geral. Houve melhorias no item ensino onde estava na 150<sup>a</sup> colocação em 2019 e em 2023 ficou na 117<sup>a</sup> posição.

Tabela 3 - Avaliação geral das Universidades.

Universidade	Ranking Geral 2019	Ranking Geral 2023	Ensino 2019	Ensino 2023	Pesquisa 2019	Pesquisa 2023	Mercado 2019	Mercado 2023	Inovação 2019	Inovação 2023	Internacionalização 2019	Internacionalização 2023
<b>UFBA (Bahia)</b>	14	16 (↓)	19	29 (↓)	24	22 (↑)	12	9 (↑)	15	16 (↓)	21	33 (↓)
<b>UFPI (Piauí)</b>	52	34 (↑)	73	35 (↑)	63	47 (↑)	33	40 (↓)	87	76 (↑)	117	65 (↑)
<b>UFMA (Maranhão)</b>	51	54 (↓)	65	62 (↑)	58	62 (↓)	56	50 (↑)	54	84 (↓)	89	102 (↓)
<b>UFT (Tocantins)</b>	115	102 (↑)	150	117 (↑)	90	89 (↑)	88	104 (↓)	72	80 (↓)	110	157 (↓)

Fonte: <https://ruf.folha.uol.com.br/2019-e-2023/ranking-de-universidades/principal/>

## 1.2 Execução orçamentarias das Universidades Federais do Maranhão, Piauí e Rio Grande do Norte via painel ANDIFES.

Nesta avaliação pegamos a média do período de 2019 a 2023 de cada orçamento, conforme Tabela 4 a 8.

### a) Universidade Federal da Bahia (UFBA)

Tabela 4 - Resultados do custeio da UFBA

Unidade Básica de Custeio	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	MEDIA
Água e Esgoto	1,52%	3,05%	7,01%	5,98%	4,73%	4,11%	3,27%	4,11%	4,46%	2,96%	0,76%	1,10%	1,86%	3,57%	3,07%	2,07%
Apoio Técnico e Administrativo	9,05%	19,34%	9,37%	20,43%	26,65%	25,27%	25,62%	28,53%	30,64%	28,63%	29,88%	29,76%	35,32%	27,92%	27,85%	30,15%
Auxílios, Bolsas e Estágios	0,01%			3,92%	8,50%	11,04%	5,91%	6,22%	7,11%	6,80%	4,95%	3,44%	5,39%	7,70%	9,61%	6,22%
Despesas de Exercícios Anteriores		1,26%	1,37%	0,83%	0,10%	0,71%	13,15%	3,44%	1,72%	13,62%	29,10%	27,44%	10,16%	1,81%	7,81%	15,26%
Diárias, Passagens e Locomoção		0,30%	0,46%	2,42%	3,56%	3,87%	1,40%	2,10%	2,31%	2,36%	1,35%	0,05%	0,18%	1,12%	2,91%	1,12%
Energia Elétrica	5,86%	12,77%	5,74%	9,25%	7,25%	6,92%	6,98%	8,54%	7,92%	6,98%	5,53%	6,96%	1,83%	7,91%	8,11%	6,07%
Fornecimento de Alimentação	0,11%	0,05%	0,01%	0,38%	0,59%	2,00%	0,18%	0,36%	0,68%	0,91%	1,05%	0,01%	0,15%	0,19%	2,80%	0,84%
Gestão de Bens Móveis e Imóveis	63,34%	41,68%	50,09%	17,90%	13,10%	9,68%	9,36%	9,24%	8,62%	9,42%	7,94%	10,12%	13,31%	17,95%	12,60%	12,38%
Limpeza e Conservação	0,89%	8,93%	9,38%	11,44%	7,98%	10,63%	12,66%	14,12%	13,32%	10,26%	6,40%	5,34%	8,90%	8,22%	7,18%	7,21%
TI e Comunicação Geral	2,92%	1,42%	2,05%	7,14%	4,75%	4,39%	3,40%	5,05%	4,60%	4,68%	3,99%	4,12%	5,66%	5,17%	3,27%	4,44%

Tributos, Encargos e Outros Custeios	1,83%	1,80%	1,59%	8,62%	9,84%	7,06%	3,84%	4,77%	7,55%	4,94%	4,32%	2,68%	3,51%	6,10%	4,89%	4,30%
Vigilância	14,47%	9,41%	12,95%	11,69%	12,96%	14,32%	14,24%	13,52%	11,08%	8,44%	4,72%	8,98%	13,74%	12,33%	9,91%	9,94%

Fonte: Autor

## b) Universidade Federal do Piauí (UFPI)

Tabela 5 - Resultados do custeio da UFPI

Unidade Básica de Custeio	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Média
Água e Esgoto				0,13%	0,15%	0,15%	0,13%	0,08%	0,12%	0,49%	2,47%	2,40%	2,27%	4,57%	1,79%	2,70%
Apoio Técnico e Administrativo			1,14%	5,64%	5,70%	12,56%	18,08%	16,73%	20,24%	22,22%	18,21%	17,28%	19,79%	21,43%	17,74%	18,89%
Auxílios, Bolsas e Estágios		5,10%	7,67%	3,18%	2,44%	2,15%	3,01%	4,19%	5,72%	5,96%	6,44%	6,87%	4,95%	5,07%	5,51%	5,77%
Despesas de Exercícios Anteriores				0,76%	0,41%	1,18%	1,32%	2,86%	0,43%	3,04%	0,19%	0,70%	0,51%	0,82%	1,24%	0,69%
Diárias, Passagens e Locomoção	0,36%			4,32%	4,88%	4,89%	4,07%	3,61%	2,83%	2,92%	2,94%	1,92%	1,94%	2,71%	2,92%	2,49%
Energia Elétrica	30,61%	30,31%	26,86%	12,72%	9,03%	6,75%	10,47%	9,33%	8,13%	12,72%	12,46%	6,33%	13,99%	7,99%	16,64%	11,48%
Fornecimento de Alimentação				0,15%	2,14%	0,32%	0,09%	0,11%	0,25%	0,14%	0,20%	0,01%	0,18%	0,68%	1,94%	0,60%
Gestão de Bens Móveis e Imóveis	21,92%	25,67%	22,10%	23,24%	17,28%	17,35%	11,99%	10,36%	8,22%	5,93%	9,33%	9,44%	8,87%	9,00%	11,25%	9,58%
Limpeza e Conservação	37,57%	34,46%	34,09%	24,66%	26,70%	25,69%	20,04%	21,19%	22,50%	23,11%	20,60%	22,10%	19,79%	19,89%	17,07%	19,89%

Tl e Comunicação Geral	6,64%	3,73%	1,22%	5,86%	6,50%	5,62%	6,66%	5,28%	5,23%	5,28%	4,53%	4,81%	2,52%	2,47%	1,61%	3,19%
Tributos, Encargos e Outros Custeios	2,89%	0,72%	3,67%	10,91%	14,50%	11,75%	9,49%	11,08%	12,36%	9,13%	11,80%	12,66%	9,67%	11,03%	9,73%	10,98%
Vigilância			3,25%	8,44%	10,27%	11,57%	14,64%	15,18%	13,97%	9,06%	10,84%	15,47%	15,50%	14,33%	12,57%	13,74%

Fonte: Autor

### c) Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

TABELA 6 - Resultados do custeio da UFMA

Unidade Básica de Custeio	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Média
Água e Esgoto				0,56%	0,80%	1,17%	1,07%	1,62%	1,49%	1,14%	1,66%	1,82%	1,38%	1,37%	1,11%	1,47%
Apoio Técnico e Administrativo	31,88%	8,30%	7,33%	26,32%	20,54%	18,78%	22,03%	18,15%	17,81%	17,81%	18,68%	23,11%	24,69%	28,89%	33,05%	25,68%
Auxílios, Bolsas e Estágios	55,22%	5,79%		3,91%	4,12%	3,42%	4,34%	4,36%	5,29%	4,27%	4,30%	3,26%	3,72%	3,45%	3,68%	3,68%
Despesas de Exercícios Anteriores				0,09%	0,92%	1,81%	0,33%	3,39%	6,99%	9,69%	8,28%	3,48%	1,40%	1,65%	5,43%	4,05%
Diárias, Passagens e Locomoção	11,28%	3,70%	0,21%	4,90%	6,42%	6,17%	1,76%	1,68%	1,40%	1,24%	1,36%	0,44%	0,42%	0,74%	1,31%	0,85%
Energia Elétrica				4,83%	8,44%	6,88%	8,20%	12,55%	12,63%	15,08%	15,25%	10,42%	10,05%	10,27%	10,34%	11,27%
Fornecimento de Alimentação			0,46%	0,13%	0,54%	0,09%	0,24%	0,06%	0,09%		0,02%	0,01%		0,02%	0,15%	0,05%
Gestão de Bens Móveis e Imóveis	0,92%	74,40%	87,88%	20,37%	25,41%	18,15%	16,97%	16,74%	14,70%	11,55%	13,02%	19,87%	13,05%	16,86%	16,68%	15,90%

Limpeza e Conservação		7,61%	1,26%	11,13%	11,03%	13,93%	17,73%	14,63%	17,22%	15,93%	12,87%	12,13%	14,82%	1,60%		10,36%
TI e Comunicação Geral			0,08%	5,45%	5,81%	7,70%	5,48%	4,64%	2,27%	2,58%	2,40%	1,07%	4,70%	8,14%	6,13%	4,49%
Tributos, Encargos e Outros Custeios	0,70%	0,20%	2,78%	16,05%	11,16%	12,95%	12,19%	11,29%	7,73%	8,68%	10,23%	9,51%	10,94%	12,07%	10,29%	10,61%
Vigilância				6,26%	4,81%	8,96%	9,65%	10,88%	12,39%	12,02%	11,95%	14,88%	14,83%	14,94%	11,84%	13,69%

Fonte: Autor

#### d) Fundação Universidade Federal do Tocantins (UFT)

Tabela 7 - Resultados do custeio da UFT

Unidade Básica de Custeio	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Média
Água e Esgoto				0,29%	0,23%	0,19%	0,04%	0,19%	0,27%	0,53%	1,29%	1,45%	1,23%	1,56%	1,54%	1,41%
Apoio Técnico e Administrativo				21,23%	21,95%	25,48%	22,53%	24,47%	20,12%	18,18%	18,35%	24,23%	22,25%	22,19%	21,10%	21,62%
Auxílios, Bolsas e Estágios				8,29%	12,41%	8,39%	6,66%	5,66%	5,24%	5,90%	5,98%	12,35%	8,95%	7,24%	6,45%	8,19%
Despesas de Exercícios Anteriores						0,01%	0,08%	0,03%	0,07%	0,20%	0,05%	0,01%		0,03%	0,03%	0,03%
Diárias, Passagens e Locomoção				6,16%	7,55%	4,73%	2,34%	2,33%	2,25%	2,95%	1,81%	0,31%	0,50%	1,55%	3,31%	1,50%
Energia Elétrica	100,00%	70,02%		6,29%	8,25%	7,36%	10,81%	16,69%	17,74%	11,53%	18,07%	9,14%	6,46%	11,22%	9,34%	10,85%
Fornecimento de Alimentação				0,09%	0,09%	0,24%	0,26%	0,19%	0,28%	0,37%	0,39%	0,01%	0,29%	0,20%	0,22%	0,22%

Gestão de Bens Móveis e Imóveis			1,13%	10,50%	10,16%	10,76%	8,73%	8,43%	13,57%	19,57%	15,63%	14,34%	18,88%	17,43%	16,09%	16,47%
Limpeza e Conservação			47,90%	10,27%	7,62%	9,06%	6,88%	8,44%	9,57%	10,74%	11,65%	15,79%	14,18%	14,04%	15,74%	14,28%
TI e Comunicação Geral			3,59%	7,90%	6,00%	5,95%	7,96%	3,06%	3,22%	5,63%	3,58%	2,52%	4,20%	3,39%	6,90%	4,12%
Tributos, Encargos e Outros Custeios			12,11%	15,45%	12,15%	13,26%	11,68%	11,97%	14,32%	14,63%	11,95%	10,23%	14,74%	13,25%	11,61%	12,36%
Vigilância		29,98%		13,52%	13,60%	14,57%	22,03%	18,55%	13,35%	9,78%	11,26%	9,60%	8,34%	7,90%	7,66%	8,95%

Fonte: Autor

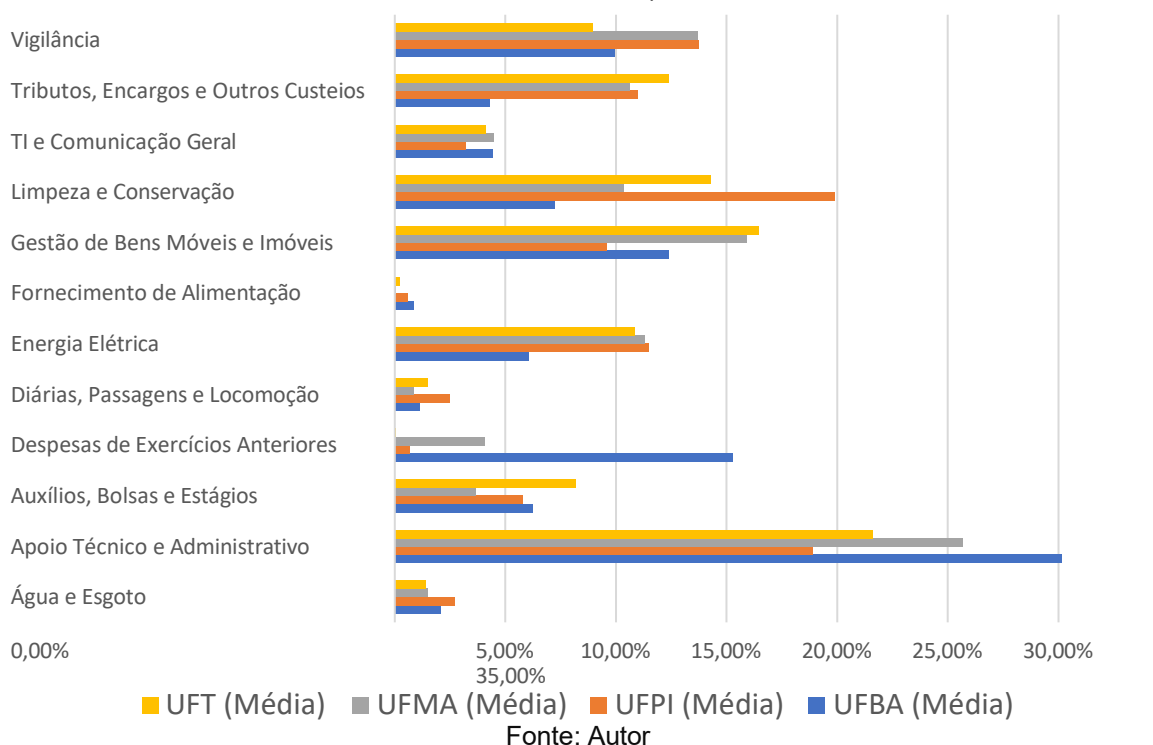
Com a média do período de 2019 a 2023, conforme Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados da média do período de 2019 a 2023

Unidade Básica de Custeio	UFBA (Média)	UFPI (Média)	UFMA (Média)	UFT (Média)
Água e Esgoto	2,07%	2,70%	1,47%	1,41%
Apoio Técnico e Administrativo	30,15%	18,89%	25,68%	21,62%
Auxílios, Bolsas e Estágios	6,22%	5,77%	3,68%	8,19%
Despesas de Exercícios Anteriores	15,26%	0,69%	4,05%	0,03%
Diárias, Passagens e Locomoção	1,12%	2,49%	0,85%	1,50%
Energia Elétrica	6,07%	11,48%	11,27%	10,85%
Fornecimento de Alimentação	0,84%	0,60%	0,05%	0,22%
Gestão de Bens Móveis e Imóveis	12,38%	9,58%	15,90%	16,47%
Limpeza e Conservação	7,21%	19,89%	10,36%	14,28%
TI e Comunicação Geral	4,44%	3,19%	4,49%	4,12%
Tributos, Encargos e Outros Custeios	4,30%	10,98%	10,61%	12,36%
Vigilância	9,94%	13,74%	13,69%	8,95%

Fonte: Autor

Gráfico 1 - Unidade Básica de Custeio média período 2019 a 2023  
Unidade Básica de Custeio média período 2019 a 2023



Avaliando os quatro maiores investimentos temos da Tabela 9.

Tabela 9 - Custeio das Universidades do MATOPIBA.

Unidade Básica de Custeio	UFBA (Média)	Acumul %	Unidade Básica de Custeio	UFPI (Média)	Acumul %	Unidade Básica de Custeio	UFMA (Média)	Acumul %	Unidade Básica de Custeio	UFT (Média)	Acumul %
Apoio Técnico e Administrativo	30,15%	30,15%	Limpeza e Conservação	19,89%	19,89%	Apoio Técnico e Administrativo	25,68%	25,68%	Apoio Técnico e Administrativo	21,62%	21,62%
Despesas de Exercícios Anteriores	15,26%	45,41%	Apoio Técnico e Administrativo	18,89%	38,78%	Gestão de Bens Móveis e Imóveis	15,90%	41,58%	Gestão de Bens Móveis e Imóveis	16,47%	38,09%
Gestão de Bens Móveis e Imóveis	12,38%	57,79%	Vigilância	13,74%	52,52%	Vigilância	13,69%	55,27%	Limpeza e Conservação	14,28%	52,37%
Vigilância	9,94%	67,73%	Energia Elétrica	11,48%	64,00%	Energia Elétrica	11,27%	66,54%	Tributos, Encargos e Outros Custeios	12,36%	64,73%
Limpeza e Conservação	7,21%	74,94%	Tributos, Encargos e Outros Custeios	10,98%	74,98%	Tributos, Encargos e Outros Custeios	10,61%	77,15%	Energia Elétrica	10,85%	75,58%
Auxílios, Bolsas e Estágios	6,22%	81,16%	Gestão de Bens Móveis e Imóveis	9,58%	84,56%	Limpeza e Conservação	10,36%	87,51%	Vigilância	8,95%	84,53%
Energia Elétrica	6,07%	87,23%	Auxílios, Bolsas e Estágios	5,77%	90,33%	TI e Comunicação Geral	4,49%	92,00%	Auxílios, Bolsas e Estágios	8,19%	92,72%
Comunicação Geral	4,44%	91,67%	Comunicação Geral	3,19%	93,52%	Despesas de Exercícios Anteriores	4,05%	96,05%	Comunicação Geral	4,12%	96,84%
Tributos, Encargos e Outros Custeios	4,30%	95,97%	Água e Esgoto	2,70%	96,22%	Auxílios, Bolsas e Estágios	3,68%	99,73%	Diárias, Passagens e Locomoção	1,50%	98,34%
Água e Esgoto	2,07%	98,04%	Diárias, Passagens e Locomoção	2,49%	98,71%	Água e Esgoto	1,47%	101,20%	Água e Esgoto	1,41%	99,75%
Diárias, Passagens e Locomoção	1,12%	99,16%	Despesas de Exercícios Anteriores	0,69%	99,40%	Diárias, Passagens e Locomoção	0,85%	102,05%	Ornecimento de Alimentação	0,22%	99,97%
Ornecimento de Alimentação	0,84%	100,00%	Ornecimento de Alimentação	0,60%	100,00%	Ornecimento de Alimentação	0,05%	102,10%	Despesas de Exercícios Anteriores	0,03%	100,00%

Fonte: Autor

O Apoio Técnico e Administrativo lidera os investimentos em todas as universidades, variando de 21,62% (UFT) a 30,15% (UFBA). Gestão de Bens Móveis e Imóveis é destaque na UFPI, UFMA e UFT, com foco na UFMA (15,90%) e UFT (16,47%). Vigilância tem investimentos importantes na UFPI (13,74%) e UFMA (13,69%), enquanto Limpeza e Conservação é mais prioritária na UFPI (19,89%) e UFT (14,28%). O Fornecimento de Alimentação recebe poucos recursos, de 0,05% (UFMA) a 0,84% (UFBA). Já os Auxílios, Bolsas e Estágios variam entre 3,68% (UFMA) e 8,19% (UFT), evidenciando apoio estudantil consistente.

Tendo a UFBA como referência devido à sua posição de destaque no ranking geral das universidades, observa-se que há um maior investimento em áreas como apoio técnico e administrativo, auxílios, bolsas e estágios, e fornecimento de alimentação, com um equilíbrio nos demais setores. Esses investimentos favorecem sua colocação entre as melhores do país. Por outro lado, a UFPI, que avançou significativamente no ranking, subindo da 52<sup>a</sup> para a 34<sup>a</sup> posição, apresentou melhorias em ensino, pesquisa, inovação e, principalmente, na internacionalização, com destaque para os investimentos em fornecimento de alimentação, auxílios, bolsas e estágios, além de limpeza e conservação.

A UFT se destaca no ensino e na pesquisa, com foco em investimentos em fornecimento de alimentação, auxílios, bolsas e estágios. Já a UFMA, apesar de ter melhorado no ensino e mercado, apresenta o menor investimento em fornecimento de alimentação e auxílios, bolsas e estágios. Embora tenha realizado um investimento elevado em apoio técnico e administrativo, isso teve pouco impacto na sua colocação no ranking. Além disso, é importante observar o elevado investimento da UFMA na gestão de bens móveis e imóveis, que precisa ser reavaliado para uma aplicação mais eficiente.

### 1.3 Índice Integrado de Governança e Gestão (iGG)

O Índice Integrado de Governança e Gestão (iGG) avaliado foi do ano de 2021, que fornece uma avaliação abrangente das práticas de governança e gestão, identificando áreas de melhoria e a promover boas práticas na administração pública, conforme Tabela 10.

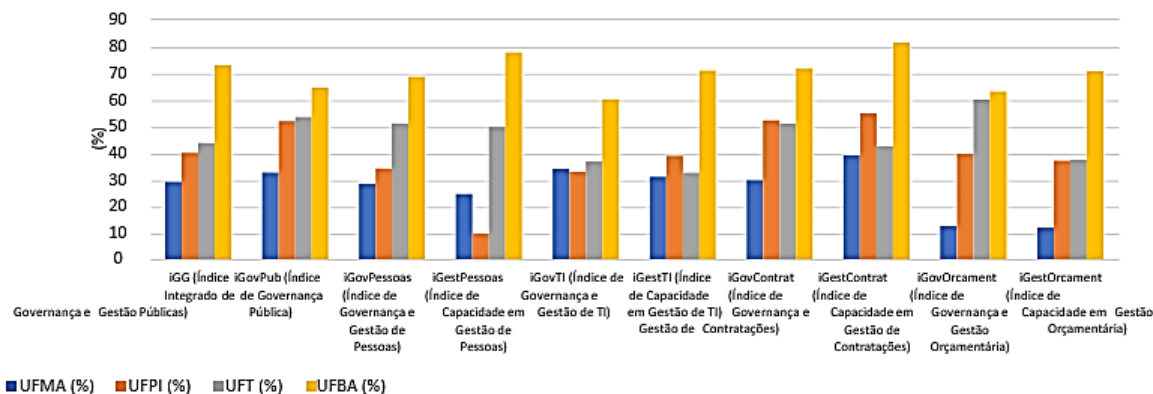
Tabela 10 - Índice Integrado de Governança e Gestão das Universidades 2021

Índice	UFMA (%)	UFPI (%)	UFT (%)	UFBA (%)
iGG (Índice Integrado de Governança e Gestão Públicas)	29,2	40,2	44,1	73,2
iGovPub (Índice de Governança Pública)	32,7	52	53,9	64,7
iGovPessoas (Índice de Governança e Gestão de Pessoas)	28,5	34,3	51,5	68,8
iGestPessoas (Índice de Capacidade em Gestão de Pessoas)	24,7	10	50,1	77,9
iGovTI (Índice de Governança e Gestão de TI)	34	33,1	37,2	60,3
iGestTI (Índice de Capacidade em Gestão de TI)	31,1	39	33	71,1
iGovContrat (Índice de Governança e Gestão de Contratações)	29,9	52,3	51,4	71,8
iGestContrat (Índice de Capacidade em Gestão de Contratações)	39	54,9	43	81,5
iGovOrcament (Índice de Governança e Gestão Orçamentária)	12,8	39,9	60,3	63,3
iGestOrcament (Índice de Capacidade em Gestão Orçamentária)	12,2	37,3	37,9	70,9

Fonte: TCU – Resultados de Autoavaliação de Governança e Gestão Públicas (2021)

A UFBA apresenta os melhores índices em todas as áreas, especialmente em governança e gestão de pessoas, TI, contratações e orçamento, com destaque para o iGG de 73,2%. A UFPI e UFT têm índices intermediários, com a UFPI destacando-se em gestão de contratações (iGovContrat e iGestContrat). A UFMA possui os menores índices em quase todos os aspectos, sendo crítica a situação de gestão orçamentária e governança pública, indicando que há espaço para melhorias nessas áreas, conforme Gráfico 2.

Gráfico 2 - Autoavaliação de Governança e Gestão Públicas (2021)



Comparando o Gráfico 3 a 6 radar do Índice integrado de governança e gestão públicas, temos uma comparação visual da situação dessas Universidades avaliadas.

**a) Universidade Federal da Bahia (UFBA)**

Gráfico 3 - Auto avaliação de iGG UFBA (2021)


**b) Universidade Federal do Maranhão (UFMA)**

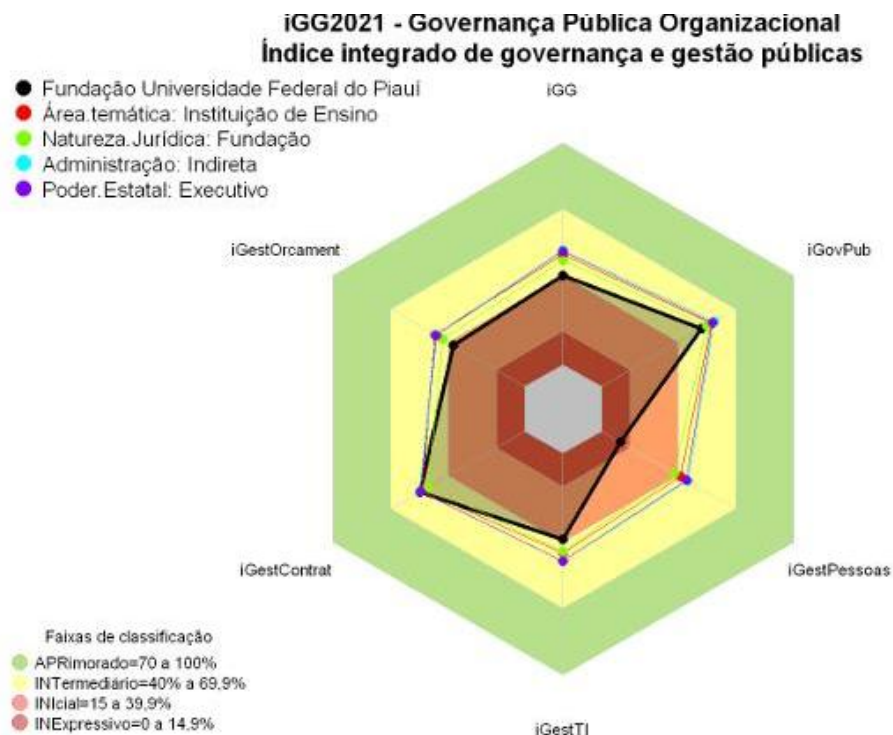
Gráfico 4 - Auto avaliação de iGG UFMA (2021)



*Legenda:* • *iGG* - Índice integrado de governança e gestão públicas • *iGovPub* - Índice de governança pública • *iGestPessoas* - Índice de Gestão de Pessoas • *GestTI* - Índice de Gestão de TI • *iGestContrat* - Índice de Gestão de Contratações • *iGestOrcament* - Índice de gestão orçamentária

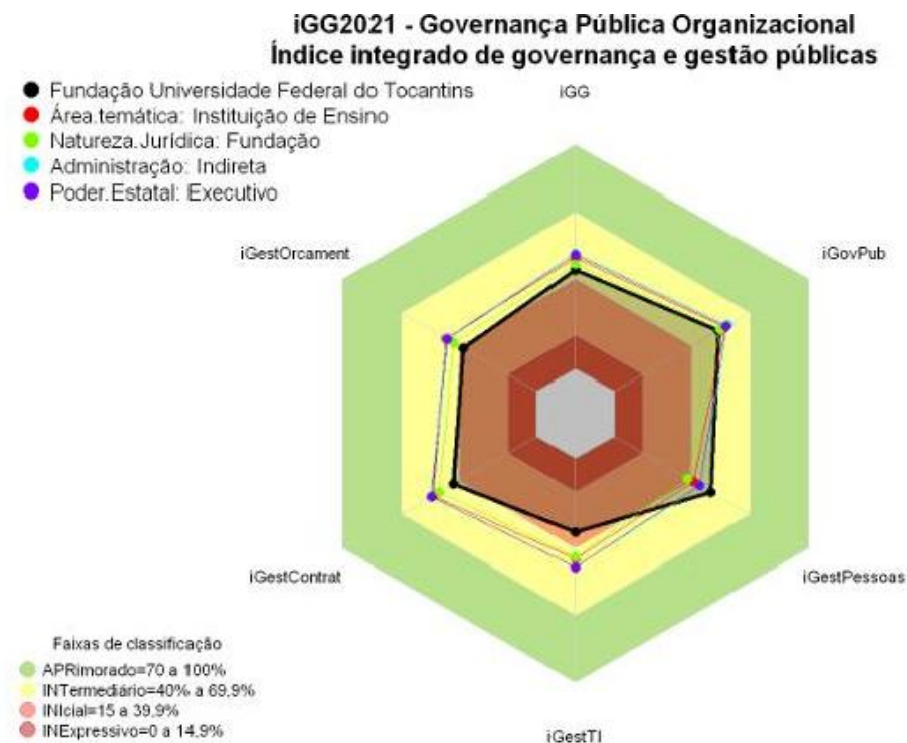
### c) Universidade Federal da Piauí (UFPI)

Gráfico 5: Auto avalia o de iGG UFPI (2021)



### d) Universidade Federal do Tocantins (UFT)

Gráfico 6: Auto avalia o de iGG UFT (2021)



Legenda: • iGG -  ndice integrado de governança e gestão públicas • iGovPub -  ndice de governança pública • iGestPessoas -  ndice de Gestão de Pessoas • iGestTI -  ndice de Gestão de TI • iGestContrat -  ndice de Gestão de Contrata es • iGestOrcament -  ndice de gestão orçamentária.

#### 4 Conclusão

A análise da execução orçamentária e dos índices de governança nas universidades federais da região MATOPIBA (UFBA, UFPI, UFMA e UFT) revela diferentes prioridades e desafios na alocação de recursos. O apoio técnico e administrativo se destaca como o maior investimento em todas as instituições, refletindo a ênfase no suporte administrativo eficiente. A gestão de bens móveis e imóveis, com maior destaque na UFMA e UFT, aponta o foco na manutenção da infraestrutura física. Vigilância e energia elétrica também são áreas de grande investimento, mostrando preocupação com segurança e continuidade operacional.

Por outro lado, áreas essenciais para a permanência estudantil, como fornecimento de alimentação e auxílios, bolsas e estágios, recebem menos atenção. Esses investimentos, que variam entre 0,05% (UFMA) e 8,19% (UFT), são fundamentais para apoiar os estudantes e incentivar a participação em programas de estágio e iniciação científica. A UFBA, referência na região, mantém uma distribuição equilibrada de recursos, o que contribui para sua posição de destaque nos rankings. Enquanto a UFPI e a UFT mostram avanços, a UFMA enfrenta desafios relacionados ao baixo investimento em alimentação e auxílios, além da necessidade de reavaliar a gestão de sua infraestrutura.

A UFMA pode se beneficiar ao reavaliar seus investimentos em gestão de bens móveis e imóveis e ao aumentar os recursos destinados à alimentação e aos auxílios estudantis. Seguir o modelo de universidades de destaque no Nordeste, como UFPE, UFC, UFRN e UFS, pode ser uma estratégia eficaz. Além disso, aprimorar a governança e a gestão pública, adotando práticas de monitoramento orçamentário mais rigorosas, contribuirá para um uso mais eficiente dos recursos.

Com essas propostas, as universidades da região MATOPIBA poderão melhorar sua eficiência administrativa, qualidade do ensino e suas posições nos rankings nacionais, promovendo um desenvolvimento mais sustentável para suas comunidades acadêmicas.

## Referências

RIGHETTI, Sabine (3 de maio de 2021). «Sob risco de apagão, dados do Inep são espinha dorsal do RUF». Folha de S.Paulo. Consultado em 20 de abril de 2024.

RANKING DE UNIVERSIDADES - RUF 2019 | Folha». RUF: Ranking

Universitário Folha. Consultado em 19 de dezembro de 2022

BRASIL. Tribunal de Contas da União. Referencial básico de governança aplicável a organizações públicas e outros entes jurisdicionados ao TCU / Tribunal de Contas da União. Edição 3 - Brasília: TCU, Secretaria de Controle Externo da Administração do Estado – SecexAdministração, 2020. 242p. 1.Governança. 2.Prestação de contas. 3.Transparência. I. Título <https://www.andifes.org.br/2020/08/30/execucao-orcamentaria/>. Acessado agosto 2024.

BRASIL. Instrução Normativa Conjunta n. 24, de 28 de julho de 2023. Estabelece orientações a serem observadas pelos órgãos e entidades integrantes do Sistema de Pessoal Civil da Administração Federal - Sipec e do Sistema de Organização e Inovação Institucional do Governo Federal - Siorg, relativas à implementação e execução do Programa de Gestão e Desempenho - PGD. Diário Oficial da União, Brasília, 2023a. Disponível em:

<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-conjuntaseges-sgprt-mgi-n-24-de-28-de-julho-de-2023-499593248>. Acesso em: 01 ago. 2024.

ALVES, A. C. Teletrabalho na administração pública: estudo de caso na Controladoria Geral da União. 2020. 158 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Pública)

— Universidade de Brasília, Brasília, 2020. Disponível em: [https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/38637/1/2020\\_AlissonCardosoAlves.pdf](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/38637/1/2020_AlissonCardosoAlves.pdf). Acesso em: 11 jul. 2023.

RANKING DE UNIVERSIDADES - RUF 2019 | Folha». RUF: Ranking

Universitário Folha. Consultado em 19 de agosto de 2024

RANKING DE UNIVERSIDADES - RUF 2023 | Folha». RUF: Ranking

Universitário Folha. Consultado em 20 de agosto de 2024

## CAPÍTULO 20: EMPREENDEDORISMO INDÍGENA: PRINCIPAIS CONSTRUCTOS OBSERVADOS NA LITERATURA

*Helma de Souza Pinto<sup>76</sup>; Lucas Cruz Pereira<sup>77</sup>*

### Resumo

O objetivo desse estudo é apresentar os principais constructos utilizados nas pesquisas sobre Empreendedorismo Indígena e, a partir dessas informações, construir um *framework* que pode nortear futuras pesquisas sobre essa temática. Foi realizada uma pesquisa bibliográfica e verificou-se que o Empreendedorismo Indígena pode se desenvolver no contexto urbano, rural e também de modo remoto. Os resultados indicam que os principais construtos utilizados na pesquisa sobre o tema são, economia de base comunitária, capacitação, empoderamento econômico, sustentabilidade, justiça social e direitos humanos, inovação, parcerias, conhecimento cultural e cultura indígena.

**Palavras-chave:** Empreendedorismo Indígena, Pesquisa Bibliográfica, Constructos.

### 1 Introdução

O estudo teve por finalidade construir um quadro de referência com os principais constructos sobre o tema Empreendedorismo Indígena. Para tanto foi realizada uma pesquisa bibliográfica em duas bases de dados, Google Acadêmico e Scopus.

Dados da Organização das Nações Unidas – ONU estimam que no mundo existem cerca de 370 a 500 milhões de indígenas, localizados por 90 países, espalhados em diversas regiões geográficas, representando culturas, línguas e tradições diferentes (ONU, 2022) e em alguns casos esses indígenas são empreendedores que buscam a geração de renda e a manutenção de suas tradições, por meio do empreendedorismo.

Discutir sobre o empreendedorismo indígena e analisar como a literatura o aborda é fundamental, para compreender a importância desse nicho e sua influência social, uma vez que o povo indígena é rico em cultura, tradição e crenças, que influenciam sua forma de conviver na sociedade. Cada povo tem

---

<sup>76</sup> Universidade Federal do Maranhão, MA-140 km 4 – Balsas, helma@ufma.br

<sup>77</sup> Universidade Federal do Maranhão, MA-140 km 4 – Balsas, lucas.cruz@discente.ufma.br

sua característica, que muitas vezes pode impactar no meio em que vive. A arte exercida pelos povos indígenas, ora são conservadas para manter a tradição, ora para gerar renda para aquela determinada região (SILVA, GOMES, 2022).

Além dessa introdução, o artigo conta com uma seção de metodologia onde são apresentados os procedimentos metodológicos da pesquisa, uma seção para apresentação e discussão dos resultados e encerra com as considerações finais e as referências.

## 2 Metodologia

Este estudo adotou a pesquisa bibliográfica para o compreender o tema Empreendedorismo Indígena a partir da análise de artigos científicos, documentos e publicações relevantes. A pesquisa bibliográfica permite a identificação e compreensão das contribuições teóricas e metodológicas, situando o pesquisador no campo do saber sobre um determinado tema (SEVERINO, 2007).

Gil (2008) ressalta que a pesquisa bibliográfica fornece uma base teórica sólida ao estudo, ao mesmo tempo em que identifica lacunas e busca o aprofundamento de conhecimentos proporcionando uma visão panorâmica do tema. (GIL, 2008).

Além disto, Cervo e Bervian (2002) enfatizam que a pesquisa bibliográfica oferece um mapeamento das ideias centrais e das abordagens mais relevantes, essencial para fundamentar um estudo.

A busca foi inicialmente realizada no Google Acadêmico a partir do termo “empreendedorismo indígena”, entre aspas, resultando na identificação de 75 trabalhos no idioma português. Complementarmente foi realizada uma busca na base de dados Scopus com os termos “*indigenous entrepreneurship*”, entre aspas, onde 156 artigos em inglês foram localizados.

Como critério de seleção foram selecionados apenas os artigos e que já haviam se dedicado a fazer algum tipo de revisão da literatura. Desse modo, foi selecionado um artigo da busca realizada no Google Acadêmico e quatro artigos da busca realizada na base Scopus. Na próxima seção estão apresentados os resultados das análises dos artigos identificados.

### 3 Resultados e Discussão

Os cinco artigos selecionados para compor a amostra desse estudo estão dispostos no Quadro 1 abaixo.

Quadro 1 - Trabalhos identificados na literatura

<b>Autores</b>	<b>Título</b>	<b>Fonte</b>	<b>Ano</b>
Croce F.	Contextualized indigenous entrepreneurial models: A systematic review of indigenous entrepreneurship literature	Journal of Management & Organization	2017
Jongwe A.I.; Moroz P.W.; Gordon M.; Anderson R.B.	Strategic alliances in firm-centric and collective contexts: Implications for indigenous entrepreneurship	Economies	2020
Olumekor M., Khan M.S., Oppioli M., Calandra D., Polbitsyn S.N.	Policy-making for Indigenous entrepreneurship: towards an inclusive approach	Canadian Journal of Development Studies	2024
AlMehrz A.A., Tipu S.A., Sarker A.E.	Determinants, processes, and impacts of indigenous entrepreneurship: a systematic literature review	Journal of Enterprising Communities	2024
Silva, M. N. C., Gomes F. E.	Empreendedorismo Indígena: uma revisão de literatura	Revista de Empreendedorismo, Negócios E Inovação,	2022

A primeira análise indica que os trabalhos dedicados à revisão da literatura sobre Empreendedorismo Indígena são recentes, sendo o mais antigo publicado em 2017. Após a leitura completa dos artigos foi possível identificar os principais constructos utilizados nos estudos sobre Empreendedorismo Indígena. Os constructos estão apresentados na Figura 1 e descritos logo em seguida.

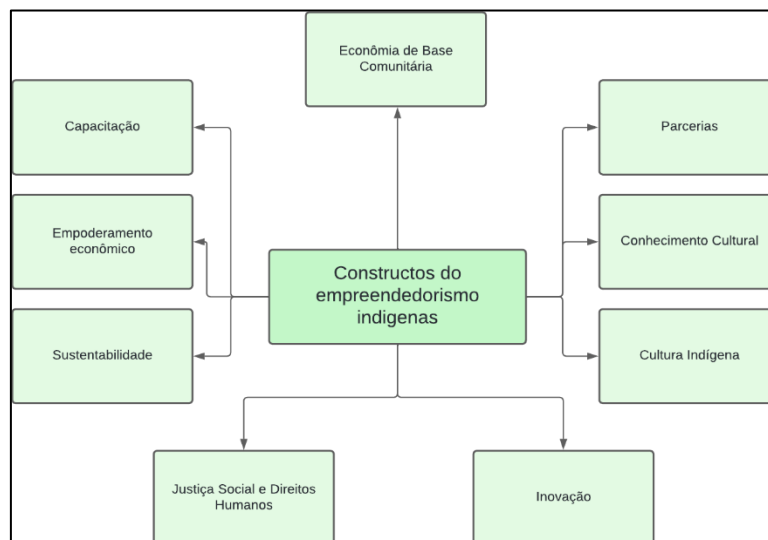


Figura 1 - Principais constructos sobre Empreendedorismo Indígena

Vale ressaltar que o artigo “Contextualized indigenous entrepreneurial

models: A systematic review of indigenous entrepreneurship literature” (Croce, 2017), teve como principal resultado o desenvolvimento de três amplos modelos de empreendedorismo indígena:

- a) empreendedorismo indígena urbano;
- b) empreendedorismo indígena remoto;
- c) empreendedorismo indígena rural.

Portanto, além dos constructos que originalmente são os principais elementos para nortear novas pesquisas sobre o tema, acrescenta-se o contexto como elemento importante para o entendimento do empreendedorismo indígena. A seguir estão as descrições dos constructo identificados na literatura.

### **3.1 Economia de base comunitária**

A economia de base comunitária é um modelo econômico voltado para o desenvolvimento local e sustentável, em que a própria comunidade é protagonista e beneficiária dos processos produtivos e da distribuição dos recursos. Nesse modelo, as atividades econômicas são planejadas e organizadas para atender diretamente às necessidades da comunidade, promovendo a geração de renda, a inclusão social e o uso sustentável dos recursos locais (ESTEVES, CALDAS Jr, 2016).

Essa economia se baseia em valores de cooperação, solidariedade e autonomia, em contraste com modelos de desenvolvimento que priorizam grandes corporações ou mercados externos. Em uma economia de base comunitária, a riqueza gerada tende a permanecer na própria comunidade, fortalecendo pequenos produtores, cooperativas e microempresas locais. Esse modelo é bastante comum em contextos de desenvolvimento regional e em projetos que visam à economia solidária e à valorização das culturas e saberes locais (ESTEVES, CALDAS Jr, 2016).

### **3.2 Capacitação**

A capacitação é fundamental no contexto do empreendedorismo indígena, pois fortalece a autonomia das comunidades, incentiva a preservação de suas culturas e conhecimentos tradicionais e contribui para o desenvolvimento econômico sustentável. O treinamento e a formação técnica e empresarial

oferecem aos empreendedores indígenas as ferramentas necessárias para administrar negócios, acessar mercados e gerenciar recursos de forma eficiente e respeitosa com os valores culturais. Capacitar empreendedores indígenas também significa criar oportunidades para que eles adaptem as práticas empresariais ao seu contexto sociocultural, incorporando práticas de sustentabilidade e fortalecendo suas identidades (SILVA, GOMES, 2022).

### 3.3 Empoderamento Econômico

O empoderamento econômico é essencial no contexto do empreendedorismo indígena, pois promove a autonomia das comunidades, garantindo que possam gerenciar e se beneficiar dos recursos naturais e culturais de forma sustentável. Com maior controle sobre suas atividades econômicas, os povos indígenas fortalecem sua capacidade de gerar renda e melhorar as condições de vida, ao mesmo tempo em que preservam sua identidade e saberes tradicionais. Além disso, o fortalecimento econômico cria oportunidades para que esses grupos ampliem sua participação em mercados mais amplos, diversifiquem suas fontes de renda e estabeleçam parcerias com outros setores (ISA, 2018).

### 3.4 Sustentabilidade

A sustentabilidade é um princípio essencial no contexto do empreendedorismo indígena, pois está profundamente alinhada aos modos de vida e valores tradicionais das comunidades indígenas, que historicamente cultivam uma relação de respeito e equilíbrio com a natureza. Para o empreendedorismo indígena, adotar práticas sustentáveis significa não apenas preservar o meio ambiente, mas também proteger o patrimônio cultural e garantir a continuidade das práticas e conhecimentos tradicionais. Empreendimentos sustentáveis permitem que as comunidades indígenas utilizem os recursos naturais de maneira consciente, extraindo deles valor econômico sem comprometer sua renovação para as futuras gerações (LITTLE, 2002).

### 3.4 Justiça Social e Direitos Humanos

O reconhecimento dos direitos humanos — como o direito à autodeterminação, ao território e à cultura — é essencial para que essas comunidades possam desenvolver seus negócios de maneira segura e justa. A

justiça social assegura que políticas públicas e iniciativas de apoio respeitem as particularidades culturais e sociais dos povos indígenas, promovendo equidade em acesso a financiamento, formação e mercados. Além disso, o respeito aos direitos humanos no empreendedorismo indígena impede a exploração e favorece o desenvolvimento ético e inclusivo. Ao fortalecer o empreendedorismo indígena dentro de um marco de justiça social e direitos humanos, a sociedade também promove um desenvolvimento sustentável e plural, onde a diversidade cultural é valorizada e protegida. Dessa forma, o empreendedorismo indígena se torna uma ferramenta de resistência e emancipação, beneficiando tanto as comunidades quanto o contexto socioeconômico mais amplo (ISA, 2018).

### 3.5 Inovação

A inovação é um elemento crucial no contexto do empreendedorismo indígena, pois permite que as comunidades adaptem conhecimentos tradicionais às demandas contemporâneas, fortalecendo tanto suas economias quanto suas identidades culturais. Ao incorporar novas tecnologias e práticas inovadoras, os empreendedores indígenas podem agregar valor aos produtos e serviços que oferecem — como o artesanato, o turismo ecológico e a agricultura sustentável —, tornando-os mais competitivos e atraentes no mercado (SILVA, BARBOSA, 2017).

A inovação também facilita o desenvolvimento de novos canais de comercialização, como plataformas digitais e redes de comércio justo, que ampliam o alcance dos produtos indígenas sem comprometer os valores e os modos de vida tradicionais. Além disso, práticas inovadoras podem contribuir para a sustentabilidade ambiental e econômica, promovendo o uso responsável dos recursos naturais e garantindo que o desenvolvimento econômico seja compatível com a preservação do meio ambiente e dos territórios indígenas (OLIVEIRA, BICALHO, 2014).

### 3.6 Parcerias

As parcerias desempenham um papel vital no fortalecimento do empreendedorismo indígena, pois ampliam o acesso a recursos, conhecimentos e redes de apoio essenciais para o desenvolvimento sustentável das comunidades. Com o apoio de organizações governamentais, ONGs,

universidades e empresas, os empreendedores indígenas conseguem superar desafios como o acesso ao mercado, o financiamento e a capacitação técnica, ao mesmo tempo em que mantêm sua autonomia cultural e social (ISA, 2018).

As parcerias permitem a troca de conhecimentos e o desenvolvimento de tecnologias apropriadas que respeitam o contexto cultural das comunidades, adaptando as práticas empreendedoras às necessidades e valores locais. Além disso, parcerias com redes de comércio justo, por exemplo, possibilitam que produtos indígenas alcancem mercados diferenciados, valorizando a produção sustentável e garantindo uma remuneração justa para os produtores (PIMENTEL, RAMOS, 2014).

### **3.7 Conhecimento Cultural**

O conhecimento é um recurso fundamental no contexto do empreendedorismo indígena, pois permite que as comunidades articulem saberes tradicionais e novas habilidades para fortalecer seus negócios e manter sua identidade cultural. O conhecimento tradicional, transmitido de geração em geração, engloba práticas sustentáveis de manejo dos recursos naturais, saberes medicinais, técnicas artesanais e rituais culturais que conferem autenticidade e valor aos produtos indígenas. Essa base de saberes é uma vantagem única no mercado, pois gera interesse em consumidores que buscam produtos sustentáveis e socialmente responsáveis. Por meio do fortalecimento do conhecimento, o empreendedorismo indígena se torna uma ponte entre tradição e inovação, proporcionando desenvolvimento econômico, valorização cultural e respeito à sustentabilidade (LITTLE, 2002).

Ao mesmo tempo, o acesso ao conhecimento técnico, como gestão financeira, marketing e inovação, é essencial para que os empreendedores indígenas ampliem seu alcance, diversifiquem suas atividades e se adaptem às exigências do mercado contemporâneo. A integração entre o conhecimento tradicional e o técnico fortalece o empreendedorismo indígena, permitindo que os empreendedores se adaptem a novos desafios e explorem novas oportunidades de forma autônoma (PIMENTEL, RAMOS, 2014).

### **3.8 Cultura Indígena**

A cultura indígena é o coração do empreendedorismo indígena, pois define e diferencia os produtos e serviços oferecidos por essas comunidades,

conferindo-lhes um valor único e autêntico. Através da cultura, os empreendedores indígenas mantêm vivas suas tradições e saberes ancestrais, incorporando-os a iniciativas econômicas que respeitam suas cosmologias, modos de vida e relações com o meio ambiente. Produtos como artesanatos, alimentos tradicionais e práticas de turismo cultural ganham força no mercado ao expressarem essa identidade rica e diferenciada, atraindo consumidores interessados em sustentabilidade e autenticidade (ISA, 2018).

Além disso, a valorização da cultura indígena no empreendedorismo contribui para a preservação do patrimônio cultural e para a autoestima das comunidades, pois mostra que suas tradições possuem relevância e demanda no cenário econômico atual. A cultura torna-se, assim, uma poderosa ferramenta para a autonomia e a resistência, ao permitir que os povos indígenas sejam protagonistas de seu próprio desenvolvimento, promovendo a economia de maneira que respeite e fortaleça sua identidade. Em suma, a cultura é tanto um recurso quanto um propósito, tornando o empreendedorismo indígena uma expressão de continuidade e inovação cultural (PIMENTEL, RAMOS, 2014).

#### **4 Considerações Finais**

O presente trabalho apresentou os principais constructos utilizados na literatura mundial sobre o tema empreendedorismo indígena.

Verificou-se que cinco trabalhos em específico dedicaram-se à revisão de literatura sobre o tema e como critério de seleção para realização desse estudo, estes cinco artigos serviram de base para o estudo, sendo essa a principal limitação do trabalho.

Embora as revisões de literatura tragam excelente material de pesquisa sobre um tema em específico, é possível que seus critérios de exclusão deixem de fora estudos importantes para o entendimento do tema central.

Como sugestão de estudos futuros sugere-se a análise de todas os trabalhos dedicados ao estudo do tema Empreendedorismo Indígena.

## Referências

CERVIO, A. L.; BERVIAN, P. A. *Metodologia científica*. 5. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

CROCE, F. Contextualized indigenous entrepreneurial models: A systematic review of indigenous entrepreneurship literature. *Journal of Management & Organization*, v. 23, n. 6, p. 886-906, 2017.

ESTEVES, L.; CALDAS JÚNIOR, E. *Economia de base comunitária: desafios e perspectivas para o desenvolvimento local*. Brasília: IPEA, 2016.

GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL (ISA). *Empreendedorismo indígena e desenvolvimento sustentável: Relatório técnico*. São Paulo: ISA, 2018.

JONGWE, A. I.; MOROZ, P. W.; GORDON, M.; ANDERSON, R. B. Strategic alliances in firm-centric and collective contexts: Implications for indigenous entrepreneurship. *Economies*, v. 8, p. 31, 2020.

LITTLE, P. E. *Ecologia política e desenvolvimento sustentável*. Campinas: Editora da UNICAMP, 2002.

OLIVEIRA, M. F.; BICALHO, A. M. S. Inovações sustentáveis e o fortalecimento do empreendedorismo em comunidades tradicionais no Brasil. *Ambiente & Sociedade*, v. 17, n. 3, p. 45-64, 2014.

OLUMEKOR, M.; KHAN, M. S.; OPPIOLI, M.; CALANDRA, D.; POLBITSYN, S. N.

Policy-making for indigenous entrepreneurship: towards an inclusive approach. *Canadian Journal of Development Studies / Revue Canadienne d'études du Développement*, v. 45, n. 3, p. 447–474, 2024.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). 10 curiosidades sobre povos indígenas. Disponível em: <https://news.un.org/pt/gallery/16899>. Acesso em: 03 nov. 2024.

PIMENTEL, L.; RAMOS, P. Parcerias estratégicas e o empreendedorismo

indígena: um estudo de caso no Brasil. *Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos*, v. 8, n. 2, p. 53-74, 2014.

SEVERINO, A. J. *Metodologia do trabalho científico*. 23. ed. São Paulo: Cortez, 2007.

SILVA, C. A. da; BARBOSA, A. Empreendedorismo indígena e inovação: caminhos para a sustentabilidade e inclusão econômica. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 41, p. 115-132, 2017.

SILVA, M. N. C. da; GOMES, F. E. Empreendedorismo indígena: uma revisão de literatura. *Revista de Empreendedorismo, Negócios e Inovação*, v. 7, n. 1, p. 04–25, 2022.

## CAPÍTULO 21: MOTIVOS QUE LEVAM O CONSUMIDOR A BUSCAR A FEIRA DA AGRICULTURA FAMILIAR EM BALSAS-MA

Priscila Maylana Modesto de Jesus<sup>78</sup>; Ynayanna Nariza Medeiros Silva<sup>79</sup>; Erick de Moraes Costa<sup>80</sup>; Ana Francielly Lima Mesquita<sup>81</sup>; Rafael Pereira da Silva<sup>82</sup>; Gustavo Moreira de Souza<sup>83</sup>

### Resumo

Buscando conhecer os fatores decisórios que levam o consumidor a realizar compras em feiras, este trabalho teve como objetivo a percepção dos consumidores sobre a feira da agricultura familiar no mercado público municipal de Balsas, Maranhão. O estudo foi realizado no mercado público municipal Eduardo Feitosa, Balsas-MA. Fundamentado em uma abordagem qualitativa validada pela aplicação de questionários, com perguntas distribuídas entre socioeconomia, infraestrutura e preferências. Os resultados obtidos demonstram que os consumidores entrevistados foram constituídos em 60% por homens e 40% por mulheres, eles possuem ensino médio completo, ganham de 1 a 2 salários mínimos, e comumente dispõem de até R\$50,00 para compras de hortaliças, além de frequentar a feira semanalmente, buscando alimentos saudáveis e frescos. Os resultados apresentados ajudaram a compreender os principais motivos que levam o consumidor a se direcionar a feira do mercado público municipal Eduardo Feitosa. Ressalta-se que o estudo gerou dados de insights iniciais que oportunizam futuras pesquisas na temática abordada.

**Palavras-chave:** perfil do consumidor, produção familiar, mercado.

### 1 Introdução

A agricultura familiar é fundamentada pela Lei nº 11.326/2006, considerando agricultores familiares aqueles que não possuem áreas maiores que 4 módulos fiscais; predominantemente, distribuem atividades entre os membros da família (mão de obra familiar); Grande parte da sua renda familiar seja oriunda das atividades relacionadas ao empreendimento rural; e a direção/administração do empreendimento realizada pelo núcleo familiar (Brasil, 2006).

A diversificação da produção é uma característica do setor, atendendo a diferentes públicos em vista da versatilidade de produtos e subprodutos, sendo

<sup>78</sup> Instituto de educação, ciência e tecnologia do Maranhão, Setor de recursos naturais, IEMA – Balsas, agro.priscilamodesto@gmail.com

<sup>79</sup> IEMA – Balsas, nayanna.ms24@hotmail.com

<sup>80</sup> IEMA – Balsas, moraiscostaerick40@gmail.com

<sup>81</sup> IEMA – Balsas, anafrancielly@icloud.com

<sup>82</sup> IEMA – Balsas, rp2343651@gmail.com

<sup>83</sup> IEMA – Balsas, gugumoreirasouza39@gmail.com

responsáveis por abastecer grandes centros urbanos (Palmeira; Carvalho; Caetano, 2021). Segundo o IBGE (2017), cerca de 77% dos estabelecimentos agrícolas pertencem a agricultura familiar, setor importante na produção de alimentos básicos, com destaque para mandioca (80%), abacaxi (69%) e feijão (42%).

Os meios diretos de comercialização de alimentos, como as feiras, são canais importantes para o agricultor familiar. As feiras são pontos de vendas frequentemente encontradas nas cidades do Brasil, que também podem ser reconhecidas por atividade cultural (Moreira, 2005; Souza et al., 2020). São importantes para escoamento das mercadorias agrícolas, onde se há predomínio das vendas sem intermediários ou atravessadores, favorecendo o desenvolvimento regional (Pereira et al., 2017).

As feiras atuam como ferramenta significativa que oportuniza o rápido retorno financeiro e acessibilidade para muitos produtores familiares (Vargas et al., 2022). Propiciam o fortalecimento e valorização dos agricultores familiares que contribuem para o abastecimento alimentício local, cooperando para o desenvolvimento econômico do município (Exime et al., 2021). Nas feiras também se consolidam grandes redes de sociabilidade pela difusão de saberes locais, que podem ser apontados como fatores influentes para fidelização dos consumidores (Padilha et. 2022).

O estudo da percepção dos consumidores da feira dos produtores familiares é de suma importância para entender as reais demandas da comunidade, podendo contribuir para o aperfeiçoamento na comercialização dos produtos. Contudo, há uma carência da temática abordada na cidade de Balsas, onde alguns estudos são voltados ao diagnóstico situacional dos produtores, como desenvolvidos por Brito et al. (2021) e Silva et al. (2021).

Desta forma, buscando conhecer os fatores decisórios que levam o consumidor a realizar as compras em feiras, este trabalho teve como objetivo o estudo da percepção dos consumidores da feira da agricultura familiar no mercado público municipal de Balsas, Maranhão.

## 2 Metodologia

### 2.1 Caracterização do local da pesquisa

O município de Balsas pertence à mesorregião sul do estado do Maranhão, distribuídos em uma área total de 13.141,162 km<sup>2</sup>, com população média estimada em 106.094 habitantes e densidade demográfica de 7,74 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2023). No setor econômico, ocupa a quinta posição entre os 217 municípios do Maranhão, sendo a pecuária, a extração vegetal, a lavoura temporária, as transferências governamentais, o ramo empresarial operante em 1.666 unidades e o trabalho informal são recursos que geram renda ao município (Correia Filho, 2011).

O mercado público municipal Eduardo Feitosa foi inaugurado no dia 18 de fevereiro de 2022. A praça de alimentação, restaurantes e 47 boxes constituem seu interior, disponibilizando também espaços externos para realização de eventos culturais e feira dos produtores familiares que ocorrem aos sábados, funcionando por volta das 6h às 12h.

### 2.2 Caracterização dos procedimentos de coleta e amostra dos participantes

O estudo foi realizado no período de 26/10 e 02/11/2024, no mercado público municipal Eduardo Feitosa. Fundamentado em uma abordagem qualitativa, mediada pelo contexto em que o objeto de estudo está incluído e pelas características da comunidade a que pertence (Sabino, 2022).

O levantamento dos dados foi realizado através da aplicação de questionários estruturados com 10 perguntas fechadas e 2 abertas, totalizando doze perguntas. As entrevistas foram realizadas como parte de um procedimento de coleta sobre percepções de 20 consumidores, quanto aos aspectos socioeconômicos, preferenciais e infraestrutura local. Os dados obtidos oferecem insights iniciais para nortear futuros estudos na temática abordada.

A seleção dos consumidores entrevistados ocorreu de forma aleatória, com pessoas que efetuavam compras no espaço, considerando a disponibilidade em responder às perguntas (Figura 1A e B). A abordagem ocorreu em diferentes pontos da feira a fim de assegurar a representatividade.



Figura 1 - Aplicação de questionários aos consumidores da feira do mercado público municipal Eduardo Feitosa.

Fonte: Autores, 2024.

## 2.2 Análise dos dados

Após a coleta dos dados os mesmos foram analisados utilizando a estatística descritiva, através da frequência e medidas de dispersão, usando o software Microsoft Excel 2010 e Word.

## 3 Resultados e discussão

A pesquisa apontou que a feira do mercado público municipal Eduardo Feitosa é frequentada 60% por homens na faixa etária de 30 a 72 anos e 40% por mulheres, na faixa etária de 28 a 70 anos (Figura 2). Demonstrando grande participação dos homens na compra dos produtos de base familiar. Apesar dos dados contrastarem com Padilha et al. (2022), que apontam a maior frequência das mulheres nas feiras, isto pode ser justificado devido muitas mulheres permanecem em casa fazendo atividades domésticas, enquanto os homens saem para as compras. Além disso, a faixa etária dos homens entrevistados, pode estar relacionada ao encaminhamento de possíveis processos de aposentadoria (Brandão et al., 2015).

Em geral, os consumidores compram nas redes de supermercados produtos não encontrados na feira, entretanto, o contato direto entre produtor e consumidor geram vínculos de amizade onde muitas vezes estão associados a fidelização dos clientes (Silva, 2017). Corroborando com falas expressas durante a abordagem dos entrevistados, que utilizam a feira como forma de distração e encontro com amigos.

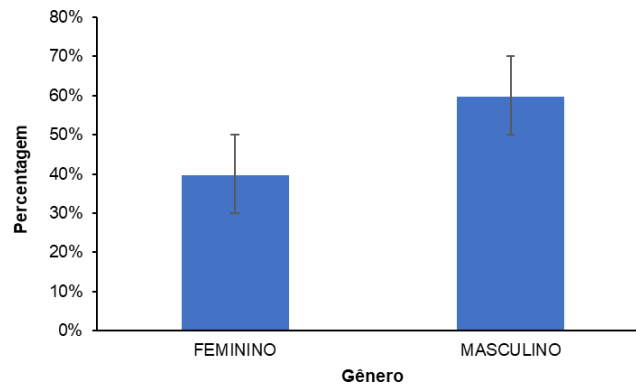


Figura 2 - Distribuição de frequência quanto ao gênero dos consumidores da feira do mercado público municipal Eduardo Feitosa.

Fonte: Autores, 2024.

Das pessoas entrevistadas na pesquisa 40% afirmaram que ganhavam de 1 a 2 salários mínimos, 55% tinham ensino médio completo e a maioria gasta em média até R\$50,00 na compra de produtos. Segundo Feyh et al. (2022), quanto maior a escolaridade, há uma tendência de maiores ganhos salariais, contudo, isso não implica em maiores gastos na compra dos gêneros alimentícios.

Ao observarmos a preferência de compra dos produtos, percebemos que as hortaliças (80%) são os alimentos mais demandados pelos consumidores (Tabela 1), fato que ajuda a entender quanto os consumidores estão dispostos a gastar na feira, uma vez que, esses produtos possuem valores baixos.

Ademais, o frescor dos alimentos demonstrados nas feiras são elementos decisórios para aquisição dos produtos, que, aliada a alta perecibilidade das hortaliças fazem com que os clientes retornem aos pontos de vendas semanalmente (Brandão et al., 2015). Como constatado em nossa pesquisa, na qual 50% dos consumidores afirmam frequentar a feira todos os sábados, e muitos vão em busca de alimentos saudáveis (55%).

Os consumidores valorizam os produtos encontrados nas feiras porque consideram de alta qualidade e saudáveis, acreditando que o uso reduzido de agrotóxicos ajuda a manter o frescor, além do cultivo baseado nos conhecimentos tradicionais (Pereira et al., 2017). Nesse contexto, os consumidores podem desencadear também uma forma de fidelização na feira, tendo em vista, a preocupação com aquisição de alimentos saudáveis.

Dos vinte entrevistados, 50% responderam que moram com 4 domiciliares, 7% de 1 a 3 pessoas domiciliares, e 3% de 5 a 6 pessoas domiciliares (perguntas abertas). Esse indicador por estar correlacionado com os dados de frequência dos

consumidores a feira, sugerindo que a demanda por alimentos de forma semanal é ocasionada pelo reabastecimento dos produtos alimentícios no núcleo familiar. No entanto, apesar da regularidade dos consumidores na feira, muitos relatam que a falta de variedade dos produtos (50%), pode impactar na menor procura.

Tabela 1. Distribuição da frequência dos entrevistados baseadas nas perguntas realizadas pelos entrevistadores

	Descrição do item	Entrevistados	(%)
Renda familiar	Até um salário mínimo	7	35
	1 a 2 salários	8	40
	3 a 5 salários	5	25
Escolaridade	Analfabeto	3	15
	Ensino fundamental completo	3	15
	Ensino fundamental incompleto	3	15
	Ensino médio completo	11	55
Frequência de aquisição dos produtos	Todos os sábados	10	50
	Eventualmente	6	30
	Mensalmente	3	15
	Quinzenalmente	1	5
Avaliação da infraestrutura	Satisfatória	17	85
	Insatisfatória	3	15
Gasto médio na compra de produtos na feira	Até R\$ 50,00	9	45
	R\$ 50 a 100	6	30
	R\$ 100 a 200	5	25
Ponto de melhoria na feira	Variedade de produtos	10	50
	Limpeza	5	25
	Organização	5	25
Motivos pela preferência de produtos da feira	Preço	7	35
	Produtos saudáveis	11	55
	Conhecimento da procedência	2	10

Fonte: Autores, 2024.

Com relação à infraestrutura, grande parte dos entrevistados (85%) confirmam estarem satisfeitos com a estrutura local. Dentre as perguntas abertas, alguns citaram a localização, organização e reforma do mercado público como pontos positivos para incentivar a ida a feira. Foi notório que as melhorias derivadas da reforma do mercado foi o aspecto mais citado durante a entrevista, como também mencionados por Souza et al (2020), que apontaram as boas condições locais fatores benéficos a movimentação e atração das pessoas nas feiras.

Nesse contexto, os resultados promoveram uma compreensão detalhada sobre a temática abordada, tecendo as percepções do consumidor mediado por perguntas norteadoras que podem auxiliar na difusão de medidas assertivas baseadas nas decisões do consumidor.

#### 4 Conclusão

Os resultados apresentados são fontes para o conhecimento dos fatores como gênero, idade, grau de instrução, entre outros, que ajudam a compreender os principais motivos que levam o consumidor a frequentar a feira do mercado no mercado público municipal Eduardo Feitosa.

O trabalho indicou que a participação dos consumidores no local de estudo, permitiu destacar que a procura por alimentos frescos e saudáveis, melhorias na infraestrutura local e relações de amizade viabilizam uma possível fidelização dos consumidores. Ressalta-se que o estudo gerou dados de insights iniciais que possibilitam oportunidades para futuras pesquisas.

#### Agradecimentos

*Ao Instituto de educação, ciência e tecnologia do Maranhão, IP Balsas, pela confiança e auxílio no decorrer da pesquisa.*

#### Referências

BRANDÃO, Antônio A. et al. Perfil socioeconômico dos consumidores de hortaliças em feiras livres na microrregião de Januária. **Horticultura Brasileira**, v. 33, p.119-124, 2015. 4. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620150000100019>. Acesso em 01 de

novembro de 2024.

BRASIL, Lei 11.326, de 24 de Julho de 2006. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. Diário Oficial da União. Acesso em 03 de Nov de 2024.

BRITO, M. de S. et al. Políticas públicas para a agricultura familiar: análise do PRONAF nas comunidades rurais de Balsas/MA. 2021. Disponível em <https://revista.unitins.br/index.php/humanidadeseinovacao/issue/view/128>. Acesso em 01 de novembro de 2024

CORREIA FILHO, Francisco Lages et al. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: estado do Maranhão: relatório diagnóstico do município de Balsas**. CPRM, 2011. Acesso em 01 de novembro de 2024.

EXIME, Ethol et al. Agricultura familiar e desenvolvimento sustentável: uma caracterização da feira do produtor rural do município de Marechal Cândido Rondon– Paraná, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, p. e20310111462- e20310111462, 2021. Disponível em <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11462>. Acesso em: 02 de nov de 2024

FEYH, MICHELE HARTMANN; LIZANA, GIOVANA RODRIGUES SOTO;

CARVALHO, ROBERTO LUÍS DA SILVA. Perfil do consumidor de produtos orgânicos e agroecológicos e sua relação com o consumo sustentável. **Revista Craibeiras de Agroecologia**, v. 7, n. 1, p. e13526-e13526, 2022. Disponível em <https://www.seer.ufal.br/index.php/era/article/view/13526/9831>. Acesso em: 02 de nov de 2024

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo**

**Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/balsas/panorama>. Acesso em: 02 de nov de 2024

IBGE. **Censo Agropecuário 2017:resultados definitivos**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma/balsas.html>. Acesso em: 03 de nov de 2024.

MOREIRA, R. Sociabilidade e espaço: as formas de organização geográfica das sociedades na era da terceira revolução industrial -um estudo de tendências. Agrária (São Paulo. Online), n. 2, p. 93-108, 17 jun. 2005. Disponível em <https://www.revistas.usp.br/agraria/article/view/82/81>. Acesso em: 03 de nov de 2024

PADILHA, Jailton César et al. Feira da produção familiar: perfil do consumidor do Empório Lago Oeste no Distrito Federal. **Interações (Campo Grande)**, v. 23, p. 741-757, 2022. Disponível em <http://dx.doi.org/10.20435/inter.v23i4.3604>. Acesso em: 03 de nov de 2024

PALMEIRA, Jonadable Alves; DE CARVALHO, Frederico Castro; DA COSTA CAETANO, Rodrigo. A feira-livre da agricultura familiar de Venda Nova do Imigrante/ES em tempos de covid-19: a percepção protagonista dos feirantes. **Holos**, v. 1, p. 1-17, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2021.1166>. Acesso em: 03 de nov de 2024

PEREIRA, Samanta Borges; BRITO, Tayrine Parreira; PEREIRA, Viviane Guimarães. Feira-livre como experiência de Bem Viver: uma expressão pulsante das resistências cotidianas. **PerCursos**, v. 23, n. 53, p. 180-210, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5965/1984724623532022180>. Acesso em: 03 de nov de 2024

PEREIRA, Viviane; BRITO, Tayrine; PEREIRA, Samanta. A feira-livre como importante mercado para a agricultura familiar em Conceição do Mato Dentro (MG). **Revista Ciências Humanas**, v. 10, n. 2, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.32813/rchv10n22017artigo6>. Acesso em: 03 de nov de 2024

SABINO, Naara Roberto Almintas et al. Perfil do consumidor de produtos agroecológico da feira de agricultura familiar e economia solidária do centro administrativo de Natal-RN. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, p. e30911830879-e30911830879, 2022. Disponível em <http://dx.doi.org/10.33448/rsd>. Acesso em: 03 de nov de 2024

SILVA, Leonardo França et al. Recursos naturais e agricultura: Um estudo no município de Balsas a partir dos. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.33348/rsd-v10i5.14784> Acesso em: 04 de nov de 2024.

SILVA, Monica Nardine et al. A agricultura familiar e os circuitos curtos de comercialização de alimentos: estudo de caso da feira livre do município de Jaguarão, RS, Brasil. **Revista Espacios**, v. 38, n. 47, p. 7, 2017. Disponível em: <http://w.revistaespacios.com/a17v38n47/a17v38n47p07.pdf>. Acesso em: 04 de nov de 2024

SOUZA, Bianca et al. Feira livre de Rio Largo/AL, Brasil: origem, tradição e rupturas. **Diversitas Journal**, v. 5, n. 2, p. 1007-1028, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v5i2-1168>. Acesso em: 04 de nov de 2024

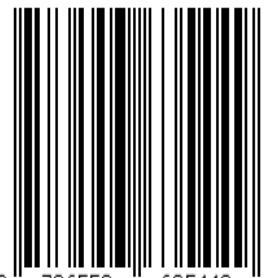
VARGAS, Letícia Paludo et al. a feira da agricultura familiar em Mafra-sc na

pandemia da COVID-19. **Revista Baru-Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos**, v. 8, p. 11, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.18224/baru.v8i1.9249>. Acesso em: 04 de nov de 2024.

Realizado o Depósito legal na Biblioteca Nacional conforme a Lei nº 10.994, de 14 de dezembro de 2004.

TÍTULO	CAMINHOS PARA O FUTURO: Inovação, Engenharia e Sustentabilidade no Matopiba
ORGANIZADORES	Carla Caroline Alves Carvalho Tatiane Carolyne Carneiro
SUORTE	Digital
PROJETO GRÁFICO E CAPA	Design
PÁGINAS	249
TIPOGRAFIA	Adobe Garamond Pro   CORPO Balham e Aquiline Two   TÍTULOS

ISBN: 978-65-5363-544-9



9 786553 635449